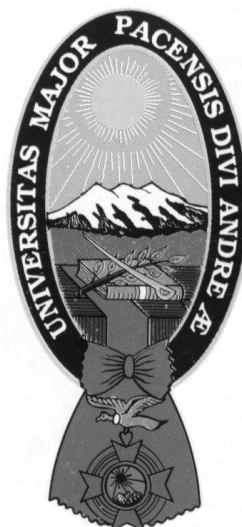


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA



PROYECTO DE GRADO

**DISEÑO DE UN BANCO DE CAPACITORES AUTOMATICO PARA LA
COMPENSACION DE ENERGIA REACTIVA EN LA PLANTA INDUSTRIAL
DE COFITEX LTDA.**

Postulante: JULIO CESAR GERMAN PATON RIVERO

Tutor: ING. EDGAR GONZALES LAURA

La Paz, Junio 2019



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

Dedicatoria.

*Dedicado a todos mis seres queridos,
quienes son mi motivación para seguir adelante,
y esforzarme cada día más.*

Agradecimientos.

A Dios, porque nada sería posible sin su ayuda.

*A mi familia, en especial a mi madre Ana María
quien siempre me ha dado su apoyo incondicional y
a todas las personas que en mi andar, me
brindaron su colaboración desinteresadamente.*

*A mi tutor, Ing. Edgar Gonzales L. por toda la
disponibilidad desmesurada que ha tenido para
llevar a cabo la tutela del proyecto quién además
de ser un buen profesional es una gran persona*

*Y como es invaluable toda su colaboración, les
extiendo un*

Muchas Gracias!

Resumen

Este proyecto se refiere al diseño específico de un banco de capacitores automático para la compensación de energía reactiva en la planta industrial de Cofitex Ltda, la misma tiene un bajo factor de potencia, para llevar a cabo el proyecto es necesario conocer toda la teoría sobre el tema y poder proyectarla para un diseño de implementación, el cual involucra conocer las características de la dinámica de consumo eléctrico de la planta para el dimensionamiento adecuado, y la tecnología existente para el diseño del tablero, esto también involucra que el diseño sea el más óptimo técnica y económicamente hablando.

Índice General

PARTE I. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO. 12

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN 13

1.1 ANTECEDENTES.	14
1.2 SITUACIÓN ACTUAL.	16
1.2.1 PROYECTOS ACADÉMICOS RELACIONADOS	16
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	17
1.4 OBJETIVO.	17
1.5 JUSTIFICACIÓN.	18
1.5.1 TÉCNICA.-	18
1.5.2 ACADÉMICA.-	18
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES.	18

PARTE II. ASPECTOS REFERENCIALES DEL PROYECTO 19

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO 20

2.1 ENERGÍA REACTIVA	20
2.1.1 NATURALEZA DE LA ENERGÍA REACTIVA	20
2.1.2 TIPOS CARGAS ELÉCTRICAS	20
2.1.3 IMPEDANCIA	25
2.1.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE POTENCIA	26
2.2 FACTOR DE POTENCIA	28
2.2.1 EFECTOS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA.	29
2.2.2 VENTAJAS TÉCNICAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	30
2.2.3 VENTAJAS ECONÓMICAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	33
2.3 MEDIOS DE PRODUCCIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA	34
2.3.1 BATERÍAS DE CONDENSADORES ESTÁTICOS	34
2.4 TIPOS DE CORRECCIÓN	36
2.4.1 CORRECCIÓN DISTRIBUIDA	37
2.4.2 CORRECCIÓN POR GRUPOS	38
2.4.3 CORRECCIÓN CENTRALIZADA	39
2.4.4 CORRECCIÓN MIXTA	40
2.4.5 CORRECCIÓN AUTOMÁTICA	40
2.5 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	41

2.6 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA NECESARIA	42
2.7 LOS ARMÓNICOS	43
2.7.1 ARMÓNICOS EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS	44
2.7.2 PRESCRIPCIONES DE LAS NORMATIVAS	46
2.7.3 LOS EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS	47
2.7.4 FILTROS PARA ARMÓNICOS	50
2.8 MAGNITUDES ELÉCTRICAS EN RÉGIMEN DEFORMADO.	52
2.9 SISTEMA TRIFÁSICO EN ESTRELLA.	53
2.9.1 MAGNITUDES DE FASE	54
2.9.2 CONEXIÓN ESTRELLA EQUILIBRADA	54

CAPÍTULO 3. MARCO REFERENCIAL **56**

3.1 NORMAS DEL RUBRO ELÉCTRICO.	56
3.1.1 NORMATIVAS Y REGLAMENTOS NACIONALES	56
3.1.2 NORMATIVAS INTERNACIONALES	57
3.2 PENALIZACIÓN POR BAJO FACTOR DE POTENCIA	58
3.2.1 CLASIFICACIÓN DE CLIENTES SEGÚN SU ACTIVIDAD	58
3.2.2 CLASIFICAR AL CONSUMIDOR EN UNA DE LAS SIGUIENTES CATEGORÍAS DE DEMANDAS:	59
3.2.3 CLASIFICAR AL CONSUMIDOR EN UNO DE LOS SIGUIENTES NIVELES DE TENSIÓN:	59
3.2.4 METODOLOGÍA ECONÓMICA PARA LA PENALIZACIÓN POR UN BAJO FACTOR DE POTENCIA	59
3.3 EMPRESA COFITEX LTDA.	59
3.3.1 FACTOR DE POTENCIA ACTUAL.	60
3.3.2 PENALIZACIÓN ECONÓMICA	60
3.3.3 BANCO DE CAPACITORES.	62
3.3.4 SOLICITUD DE REACONDICIONAMIENTO DEL BANCO DE CAPACITORES.	64
3.3.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	64

CAPITULO 4. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS. **66**

4.1 EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.	66
4.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MEDIDOR PARA PANEL TIPO "ANALIZADOR DE REDES"	67
4.2.1 EQUIPO FÍSICO	67
4.2.2 PANTALLA E INTERFAZ DE USUARIO	68
4.2.3 ALARMAS	68
4.2.4 MEDICIONES Y REGISTROS	68
4.3 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.	69
4.4 CONFIGURACIÓN DEL MEDIDOR.	71
4.4.1 NAVEGACIÓN POR EL MEDIDOR	71
4.4.2 SÍMBOLOS DE NAVEGACIÓN.	72
4.4.3 ÁRBOL DE MENÚS	73

4.4.4 CONFIGURACIÓN BÁSICA	75
4.5 MEDICIONES.	76
4.5.1 MEDICIONES INSTANTÁNEAS	76
4.6 REGISTRO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS.	77
CAPITULO 5. ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO	80
5.1 ANÁLISIS.	80
5.2 DIMENSIONAMIENTO.	83
5.3 ESTRATEGIA DE COMPENSACIÓN.	85
PARTE IV. DESARROLLO DEL PROYECTO: ESTRUCTURA Y DISEÑO	86
CAPITULO 6. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DE LA COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA	87
6.1 ESTRUCTURA DE LA COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA.	87
6.1.1 MEDICIÓN Y CONTROL:	89
6.1.2 PROTECCIÓN Y SECCIONAMIENTO:	92
6.1.3 DISPOSITIVO DE MANIOBRA:	95
6.1.4 BLOQUE DE COMPENSACIÓN:	97
CAPÍTULO 7. DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL	101
7.1 BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO.	101
7.1.1 VALOR EFECTIVO DE LOS CAPACITORES.	101
7.1.2 PASOS O ESCALONES DEL BANCO DE CAPACITORES.	103
7.1.3 MANIOBRA Y PROTECCIÓN	105
7.1.4 CONFIGURACIÓN DEL CONTROLADOR.	107
7.2 PLANO ELÉCTRICO	112
7.3 PLANO ESQUEMÁTICO	115
7.4 COTIZACIÓN.	117
PARTE V. CONCLUSIVA	119
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
8.1 CONCLUSIONES	120
8.2 RECOMENDACIONES	121
MATERIAL ANEXO Y COMPLEMENTARIO	123

BIBLIOGRAFÍA. **124**

ANEXO A: TABLA DEL FACTOR K	126
ANEXO B: EJEMPLO DE UNA INSTALACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA	127
ANEXO C: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MEDIDOR	128
ANEXO D: MEDICIONES Y CÁLCULOS	129
A) VALORES MEDIDOS EN LOS TRES DIAS	129
B) GRÁFICAS DE LA POTENCIA DEMANDADA Y VARIACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN LOS 3 DÍAS DE MEDICIÓN	131
C) CÁLCULO DE LAS POTENCIAS REACTIVAS NECESARIAS PARA LLEGAR A UN FACTOR DE POTENCIA DE 0.9 Ó 0.95	132
ANEXO E: FACTURA COFITEX LTDA.	135
ANEXO F: FICHAS TÉCNICAS	136
A) TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	136
B) REGULADOR DE PASOS NR-6	137
C) PROTECCIÓN TERMO MAGNÉTICA	139
D) FICHA TÉCNICA DEL CONTACTOR	142
E) FICHA TÉCNICA DEL CAPACITOR	144

Índice de Figuras

Figura 2.1 Respuesta en régimen alterno de una resistencia	22
Figura 2.2 Respuesta en régimen alterno de una bobina	23
Figura 2.3 Respuesta en régimen alterno de un condensador	24
Figura 2.4 Impedancia compleja y triángulo de impedancias	26
Figura 2.5 Triángulo de potencias	28
Figura 2.6 Ilustración de la inyección de energía reactiva de manera local	31
Figura 2.7 Elementos de un condensador	35
Figura 2.8 Esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.	38
Figura 2.9 Compensación grupal	38
Figura 2.10 Compensación centralizada	39
Figura 2.11 Triángulo de potencias inicial y final	42
Figura 2.12 Onda deformada y espectro de armónicos	46
Figura 2.13 Comportamiento de las reactancias con referencia al orden armónico	49
Figura 2.14 Conexión del inductor de línea	51
Figura 2.15 Anulación de armónicos utilizando un filtro activo	51
Figura 2.16 Sistema trifásico equilibrado a 4 hilos con los generadores y las cargas conectados en estrella	53
Figura 2.17 Impedancias conectadas en estrella con los voltajes y corrientes que intervienen	54
Figura 3.1 Detalle de facturación (sección de la factura)	61
Figura 3.2 general de distribución eléctrico	62
Figura 3.3 Banco de capacitores instalado con anterioridad	63
Figura 4.1 Medidor para panel "analizador de redes"	69
Figura 4.2 Esquema de conexión eléctrica del medidor	70
Figura 4.3 a) cableado de medidor b) mostrando el medidor: activo y funcionando	71
Figura 4.4 Funciones de los botones del medidor	72
Figura 4.5 Árbol de menús medidor	73
Figura 4.6 Continuación: árbol de menús medidor	74
Figura 4.7 Potencias demandadas en un día de trabajo	79
Figura 4.8 Factores de potencia en un día de trabajo	79
Figura 5.1 Potencia demandada en los tres días de medición	81
Figura 5.2 Variación del F.P. en los tres días de medición	82
Figura 6.1 Sistema de compensación automática (banco de capacitores)	88
Figura 6.2 Transformador de corriente común	90
Figura 6.3 Símbolos eléctricos del transformador de corriente	90
Figura 6.4 Regulador de pasos Schneider Electric NR-6	91
Figura 6.5 Interruptor automático termomagnético	95
Figura 6.6 Contactor para cargas capacitivas	96
Figura 6.7 Configuración de los bloques de compensación reactiva	98
Figura 6.8 Capacitores para la Corrección del Factor de Potencia	99
Figura 7.1 Características Técnicas Capacitor	102

<i>Figura 7.2 Configuración previa del banco de capacitores</i>	<u>107</u>
<i>Figura 7.3 Puesta en marcha</i>	<u>108</u>
<i>Figura 7.4 Conexiones del controlador</i>	<u>112</u>
<i>Figura 7.5 Conexiones de la etapa de potencia</i>	<u>112</u>
<i>Figura 7.6 Plano de conexiones eléctricas, Banco Automático de Capacitores</i>	<u>113</u>
<i>Figura 7.7 Presentación del plano eléctrico completo</i>	<u>114</u>
<i>Figura 7.8 Plano esquemático de componentes</i>	<u>115</u>
<i>Figura 7.9 Presentación del plano esquemático</i>	<u>116</u>

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1 Variación de la potencia transmitida en función del factor de potencia</i>	32
<i>Tabla 2.2 Capacidad I₀ de los cables unipolares de cobre en bandeja perforada</i>	33
<i>Tabla 4.1 Descripción de las funciones de navegación</i>	72
<i>Tabla 4.2 Mediciones de la potencia demandada factor de potencia y THD</i>	78
<i>Tabla 7.1 Potencia Reactiva máxima demandada</i>	103
<i>Tabla 7.2 Combinación de los escalones del Controlador</i>	104
<i>Tabla 7.3 Valor efectivo de los capacitores a 380V</i>	105
<i>Tabla 7.4 Valor nominal de los Capacitores</i>	105
<i>Tabla 7.5 Valores de protección termomagnética y modelo recomendado.</i>	106
<i>Tabla 7.6 Valor nominal de los interruptores</i>	107
<i>Tabla 7.7 Lista de Alarmas</i>	109
<i>Tabla 7.8 Efectos de la compensación</i>	111
<i>Tabla 7.9 Valores configurados</i>	111
<i>Tabla 7.10 Cotización material banco de capacitores hoja 1</i>	117
<i>Tabla 7.11 Cotización material banco de capacitores hoja 2</i>	118

PARTE I. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.

Capítulo 1. Introducción

Cuando se conecta una carga eléctrica a una línea en tensión, absorbe una corriente que depende de las características eléctricas de dicha carga. El producto de esta corriente por la tensión aplicada se denomina potencia aparente.

La potencia aparente está compuesta por la potencia activa, que es aquella que la carga puede suministrar al exterior (en forma de energía mecánica o calor), y por la potencia reactiva que es necesaria para generar campos magnéticos, imprescindibles para el funcionamiento de determinados tipos de cargas. Se define como factor de potencia (F.P) a la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. En términos sencillos, el Factor de potencia puede entenderse como un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, cuyo índice varía de 0 a 1 y es mejor mientras éste sea más cercano a la unidad.

Entendiendo que el Factor de Potencia es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, la empresa distribuidora de energía eléctrica DELAPAZ, con la tendencia mundial sobre la Gestión de la Energía y Eficiencia Energética, penaliza un bajo Factor de Potencia a determinado grupo de clientes, con la finalidad de que ellos puedan compensar de manera local la potencia reactiva, y así se reduzcan en todos los niveles productores de energía eléctrica los costos por la generación, transporte y distribución de energía reactiva, que no se transforma en trabajo útil pero sin embargo es necesaria para el funcionamiento de cargas inductivas, una de las principales es el motor eléctrico siendo éste el corazón de la industria.

Es necesario que en el diseño de los bancos de capacitores, se contemplen de manera enfática el comportamiento de las distintas cargas eléctricas que componen la planta, las características y el

comportamiento eléctrico que tiene la propia solución, puesto que al ser una necesidad a nivel industrial, y una oportunidad de trabajo muchas empresas que prestan servicios, se prestan a dar soluciones de este tipo sin embargo se ven limitadas por los conocimientos netamente teóricos, o netamente prácticos, dando soluciones temporales que después terminan ocasionando problemas de mantenimiento correctivo en las diferentes plantas, involucrando mayores gastos para la empresa. Es por ello la necesidad de poder integrar toda la teoría y la práctica de manera efectiva, con una tendencia a la Ingeniería de aplicaciones, en base a información que proporcionan de manera específica los proveedores, que desarrollan la tecnología para este tipo de soluciones.

La compensación de la energía reactiva, involucra un estudio previo de la dinámica del consumo eléctrico de una planta industrial, y en función a ello elegir la mejor estrategia que satisfaga el requerimiento del cliente final, teniendo en cuenta todos los factores eléctricos que intervienen, y tecnologías disponibles en el mercado local para una solución óptima.

1.1 Antecedentes.

El presente proyecto se aboca al diseño y el uso de nuevas tecnologías, para el armado de un banco de capacitores automático para la planta industrial textil COFITEX LTDA., ubicada en el departamento de La Paz, ciudad de La Paz, Zona Achachicala.

Esta planta pertenece al rubro textil, por el uso de bastantes motores (carga inductiva), presenta un gran consumo de energía eléctrica por ello también un bajo factor de potencia. Razón por la cual recibió una notificación por parte de DELAPAZ, donde conmina a esta empresa a mejorar su factor de potencia.

La Norma Boliviana NB777 [6] indica que:

Se considerarán requerimientos de energía reactiva para los siguientes tipos de usuarios:

- a) Talleres de mecánica, carpintería, soldadura, mantenimiento mecánico o automotriz con más de 30 kW de demanda máxima de potencia activa prevista.*
- b) Edificios, galerías y complejos comerciales.*
- c) Instalaciones industriales pequeñas y medianas.*

Para toda instalación comprendida en a, b y c, se debe considerar necesariamente el efecto del factor de potencia, investigándolo o calculándolo, a fin de prever un factor de potencia según las siguientes exigencias:

- Los valores medios mensuales del factor de potencia deberán ser como mínimo 0.90.

- Para la determinación del factor de potencia medio de cada mes, se deberá instalar un medidor de energía reactiva, además del medidor de energía activa.

Queda por cuenta del proyectista la determinación del lugar de instalación, ubicación en el sistema eléctrico, número de unidades, tensión nominal, forma de operación, maniobra y protección de los equipos de compensación de potencia reactiva.

Sin embargo la Norma Boliviana NB777, no es mandatoria en todo su contenido, pero si referencial para que las empresas distribuidoras de Energía eléctrica, a Nivel Nacional puedan basarse en ella sobre este punto.

La empresa Distribuidora de electricidad DELAPAZ, ha decidido penalizar a sus clientes que se encuentran en la categoría de Gran Demanda (Industrias y edificios), y que presenten un bajo factor de Potencia. Desde el año 2016 comenzaron a notificar a los diferentes consumidores de esta categoría, y socializar sobre el Factor de Potencia (F.P.), para que todos estos consumidores tomen el recaudo necesario y así eviten las multas por un bajo F.P.

A partir de Enero de 2017, se comenzó a penalizar un bajo Factor de Potencia, menor a 0.85, para clientes que se encuentran en la categoría de Gran Demanda (Potencia mayor a los 50 kW).

La empresa COFITEX LTDA., ubicada dentro de esta categoría (Gran Demanda), fue notificada con un F.P. promedio mensual de 0.65, debiendo compensar de manera local la energía reactiva.

Contactando con mi persona, a través de la empresa en la que presté servicios, y tras acudir a la Planta industrial de COFITEX LTDA., se observó que ellos ya contaban con un banco de capacitores, sin embargo el mismo se encontraba deshabilitado, debido a problemas que tuvieron anteriormente, se esperaba "arreglar" el mismo, pero antes de iniciar el reto se debe actuar de manera responsable, esto involucra que primero se debe hacer un estudio y ver el estado actual del banco de capacitores con el que cuentan y si este ha sido diseñado de manera adecuada anteriormente, para ello el primer paso es realizar las mediciones de los parámetros eléctricos correspondientes.

1.2 Situación Actual.

A manera de evaluación del escenario actual, tanto a nivel de producción de equipos, tendencias tecnológicas y desarrollos académicos, se puede señalar que:

1.2.1 Proyectos Académicos Relacionados

Si bien este problema ha sido abordado en diferentes proyectos a nivel mundial, para el presente proyecto tomaremos como referencia los siguientes:

Proyecto de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME), y el instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas", "Corrección del factor de Potencia y Control de la Demanda", elaborado por integrantes de maestría de la Universidad del Atlántico y la Universidad Autónoma de Occidente Colombia), cuya información será complementaria en el fundamento teórico para el desarrollo del presente proyecto. [19]

"Corrección del Factor de Potencia y eliminación de corrientes armónicas en sistemas de Baja Tensión" Elaborado como Tesis por Alejandro Ortega Hernández de la UNAM el 2017, del cual se rescata el fundamento teórico referente al tratamiento de armónicos en la red eléctrica [21]. De manera referencial se tocará este punto, pues debido a las características de los elementos eléctricos en la planta COFITEX LTDA., se presume que el nivel de distorsión armónica no es de consideración, y no se requiere de solución específica para este punto.

De manera local se han revisado los archivos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés, en las carreras de Electrónica y Electricidad, y no se ha encontrado proyectos que aborden este tipo de solución, de todos modos se los cita en esta sección como temas relacionados acorde al fundamento teórico que presentan los mismos: (Pero no serán contemplados para la elaboración del presente proyecto)

Carrera de Ingeniería Electrónica: Isabel Iriarte Caballero, "Diseño e Implementación de un Trainer para medir Potencias Activa, Reactiva y Aparente en un Circuito RLC", 2002; el proyecto está referido a la medición de la Potencia de circuitos RLC monofásicos, cuyo proyecto de manera inherente es comprender de mejor manera el comportamiento de los elementos resistivos, inductivos y capacitivos y cuál es su comportamiento en régimen alterno. Además de ser una herramienta de medición.

Carrera de Ingeniería Eléctrica: Omar Velázquez Valencia, "Optimización de la Potencia Reactiva en el Sistema Troncal interconectado Boliviano" 2012, Este proyecto considera el fundamento teórico el cual también se contempla en el presente proyecto, sin embargo los niveles de Tensión están en el orden de los KiloVoltios (kV), y las tecnologías para estos niveles de tensión son físicamente diferentes, ya que debe considerarse significativamente los niveles de aislamiento, y la configuración del conjunto de condensadores dentro del bloque que contiene la potencia reactiva, es diferente a los utilizados en el presente proyecto.

1.3 Planteamiento del Problema.

La planta industrial COFITEX LTDA., al ser notificada por la empresa distribuidora DELAPAZ por tener un bajo Factor de Potencia, cuyo valor promedio es de 0.65; ya tiene de manera inherente un problema, al que se debe dar la solución con la corrección del mismo, compensando de manera local en la planta industrial la energía reactiva necesaria, cuyo valor debe ser mayor a 0.85 y así se evite la penalización enunciada en la notificación por parte de DELAPAZ.

1.4 Objetivo.

Diseñar un banco que capacitores automático para la compensación de Energía Reactiva y mejora del Factor de Potencia de la fábrica textil COFITEX LTDA.

Para conseguir el objetivo será necesario plantear una serie de metas que permitirán un dimensionamiento adecuado del banco de capacitores:

- Presentar los resultados de la medición de los parámetros eléctricos de la planta industrial.
- Analizar los resultados de la medición para determinar la capacidad de potencia reactiva necesaria.
- Definir la estrategia de compensación (Centralizada, grupal o local)
- Estudio de las características técnicas y tecnología para el Banco de Capacitores
- Elección de los elementos que compondrán el Banco de Capacitores.
- Propuesta del armado del tablero automático (Banco de Capacitores)

1.5 Justificación.

1.5.1 Técnica.-

Realizar la investigación técnica del problema referente al Factor de Potencia de la empresa mencionada, para dar una solución aplicando técnicas y criterios de ingeniería y en forma general generar un procedimiento de dimensionamiento de manera genérica para otras plantas industriales.

1.5.2 Académica.-

El proyecto pretende ser de utilidad en las materias referidas a la electrónica de potencia y control industrial, pues en proyectos de este tipo intervienen sistemas eléctricos trifásicos a los cuales se les brinda soluciones aplicando técnicas de control electrónico, además de actualizar el conocimiento con dispositivos de nueva tecnología disponibles para la industria hoy en día.

1.6 Alcances y limitaciones.

El proyecto consiste en el análisis, diseño, y propuesta de un banco de capacitores automático, que pueda corregir el factor de potencia, compensando de manera adecuada la potencia reactiva requerida para evitar penalizaciones.

PARTE II. ASPECTOS REFERENCIALES DEL PROYECTO



Capítulo 2. Marco Teórico

El desarrollo del presente proyecto se apoya sobre toda la base teórica, práctica e información sobre la tecnología existente, es por ello que para comprender mejor los fundamentos que se trataran con referencia al Diseño del Banco de Capacitores en este capítulo se compila la información de relevancia con la finalidad de disponer de una referencia rápida, de todos modos se puede ahondar más sobre el tema, revisando la Bibliografía que se indica en este documento.

2.1 Energía reactiva

2.1.1 Naturaleza de la energía reactiva

Los sistemas de corriente alterna suministran dos formas de energía: [1]

- *Energía “activa” medida en kilovatios hora (kWh) que se convierte en trabajo mecánico, calor, luz, etc.*
- *Energía “reactiva” que toma de nuevo dos formas:*
 - *Energía “reactiva” necesaria para circuitos inductivos (transformadores, motores, etc.)*
 - *Energía “reactiva” necesaria para circuitos capacitivos (capacidad de cables, condensadores de potencia, etc.).*

Para comprender de mejor manera como se compensará la energía reactiva a través de un Banco de Capacitores es necesario conocer a cerca de la naturaleza de la misma.

2.1.2 Tipos Cargas Eléctricas

Las cargas eléctricas que se conectan a la red de suministro eléctrico se pueden clasificar en:

- **Cargas Lineales:** Estos elementos responden en una forma lineal, es decir, la corriente alterna a través de cada elemento es proporcional al voltaje instantáneo alterno a través del elemento.[22]. Es decir que si son alimentadas por una onda senoidal de Voltaje la respuesta de la corriente también será senoidal (aunque esta puede estar desfasada).

Las cargas lineales pueden ser resistivas (resistor) o reactivas (inductor o capacitor). *En la siguiente sección se detalla un poco más sobre el comportamiento de estos elementos cuando se le aplica un voltaje de alimentación alterno.*

- **Cargas No Lineales:** Estos elementos NO responden de forma lineal, es decir que: Cuando en un circuito la **corriente no es senoidal** (distorsionada), ésta puede analizarse en función de sus componentes senoidales utilizando el análisis de Fourier [22].

Las cargas no lineales son los elementos semiconductores que su gran mayoría se encuentran en dispositivos electrónicos de uso domestico o industrial (Ej. computadoras, rectificadores, variadores de frecuencia, etc.), siendo responsables de la aparición de los armónicos

2.1.2.1 Carga Resistiva

Supongamos una resistencia óhmicamente pura (desprovista de autoinducción y de capacidad) a la que se aplica una tensión alterna senoidal. Esta tensión originará por el circuito una corriente, también senoidal, totalmente en fase con la tensión aplicada y de su misma frecuencia. [13]

2.1.2.2 Carga Inductiva (Reactancia Inductiva)

Sea la bobina ideal, a la que se le aplica una tensión alterna senoidal, ésta retrasa 90° la corriente respecto a la tensión aplicada. [13]

2.1.2.3 Carga Capacitiva (Reactancia Capacitiva)

Al conectar un condensador ideal a una fuente de tensión alterna senoidal, ocurre que la corriente va 90° en adelanto respecto de la tensión. [13]. Los condensadores tienen efecto contrario al de las bobinas.

En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 puede observarse la respuesta en régimen alterno de una resistencia, una bobina y un condensador (ideales) respectivamente. En las cuales se presenta la respuesta en el dominio temporal y fasorial, con las respectivas ecuaciones en cada caso.

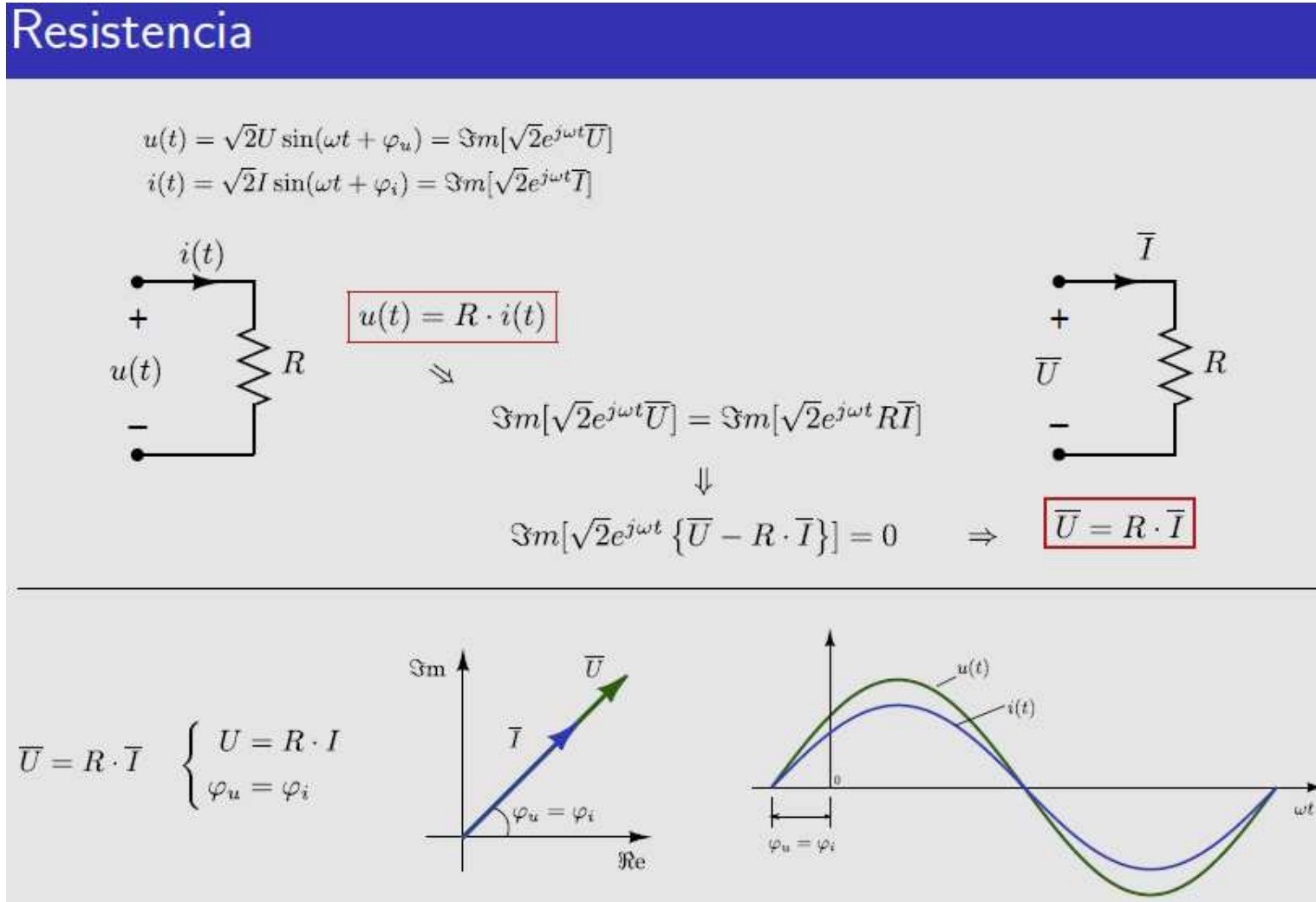


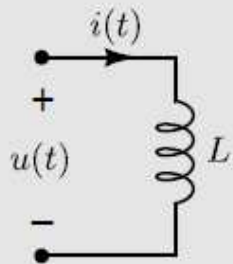
Figura 2.1 Respuesta en régimen alterno de una resistencia

Fuente: Circuitos de corriente alterna sinusoidal [21]

Bobina

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi_u) = \Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t}\bar{U}]$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \varphi_i) = \Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t}\bar{I}]$$



$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

\Leftrightarrow

$$\Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t}\bar{U}] = \Im m[\sqrt{2} \cdot j\omega e^{j\omega t}L\bar{I}]$$

\Downarrow

$$\Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t} \{ \bar{U} - j\omega L \cdot \bar{I} \}] = 0 \Rightarrow \boxed{\bar{U} = j\omega L \cdot \bar{I}}$$

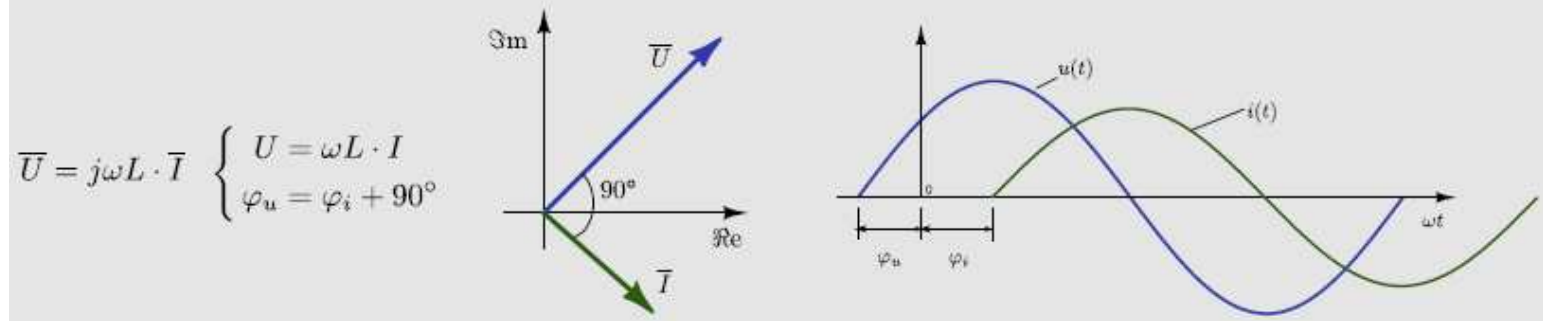
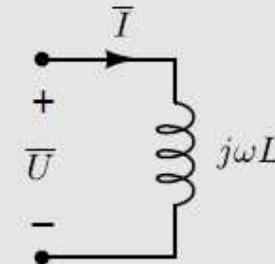


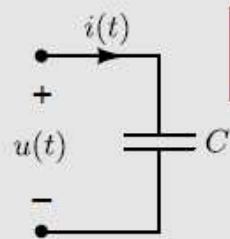
Figura 2.2 Respuesta en régimen alterno de una bobina

Fuente: Circuitos de corriente alterna sinusoidal [21]

Condensador

$$u(t) = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \varphi_u) = \Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t}U]$$

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \varphi_i) = \Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t}I]$$

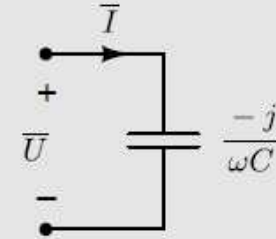


$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow \Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t}I] = \Im m[\sqrt{2} \cdot j\omega e^{j\omega t}CU]$$

\Downarrow

$$\Im m[\sqrt{2}e^{j\omega t} \{I - j\omega C \cdot U\}] = 0 \Rightarrow$$



$$\bar{U} = \frac{-j}{\omega C} \cdot \bar{I}$$

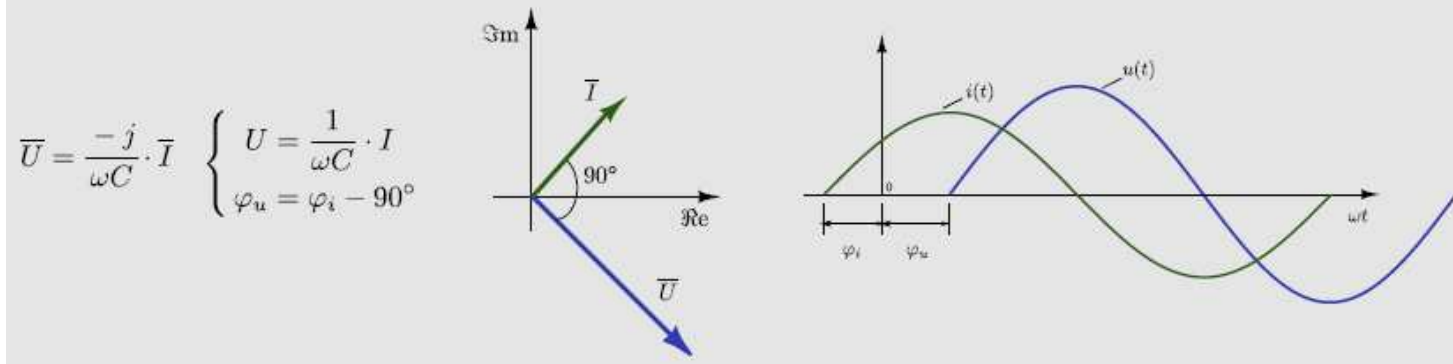


Figura 2.3 Respuesta en régimen alterno de un condensador

Fuente: Circuitos de corriente alterna sinusoidal [21]

2.1.3 Impedancia

En los circuitos de alterna, al contrario de lo que ocurre en continua en régimen permanente, intervienen los elementos dinámicos, bobinas y condensadores. En general, la relación entre tensiones y corrientes de dipolos de alterna vendrá dada por una relación de la forma:

$$\mathbf{U} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} \quad (2.1)$$

El término complejo \mathbf{Z} que relaciona corrientes con tensiones es una generalización de una resistencia y se denomina *impedancia del circuito*, que si se expresa en parte real e imaginaria queda:

$$Z = R + jX \quad (2.2)$$

La parte real, R , de la impedancia se denomina *resistencia* del circuito, y la imaginaria, X , *reactancia*.

Todos los términos se miden en ohmios (Ω), por coherencia dimensional.

En los dipolos pasivos básicos la impedancia es:

$$\text{Resistencia: } Z_R = R \quad (2.3)$$

$$\text{Condensador: } Z_C = -j \frac{1}{\omega C} \quad (2.4)$$

$$\text{Inductor: } Z_L = j\omega L \quad (2.5)$$

La relación entre el módulo de la impedancia y sus partes real e imaginaria viene dada por:

$$Z^2 = R^2 + X^2 \quad (2.6)$$

al ser esta una expresión análoga a la que liga los catetos y la hipotenusa de un triángulo rectángulo, se pueden dibujar como un triángulo de este tipo. Este triángulo se denomina *triángulo de impedancias*, que se representa en la Figura 2.4

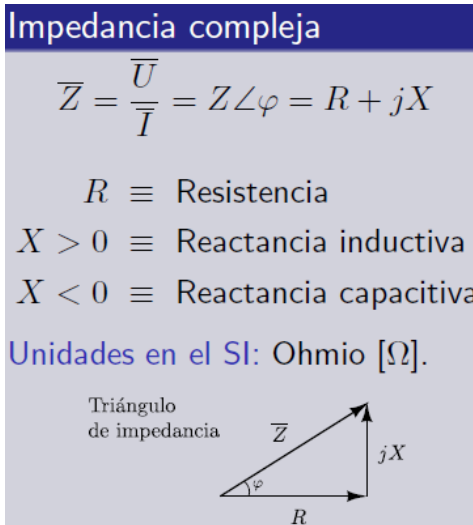


Figura 2.4 Impedancia compleja y triángulo de impedancias

Fuente: *Circuitos de corriente alterna sinusoidal* [21]

El cateto correspondiente a la reactancia puede ser positivo (reactancia inductiva) o negativo (reactancia capacitiva).

2.1.4 Conceptos básicos de Potencia

Todas las máquinas eléctricas (motores, transformadores...) que se alimentan, en corriente alterna, tienen dos formas de consumo: el que transforman en potencia activa, con las correspondientes pérdidas por efecto Joule (calentamiento), y el correspondiente a la creación de los campos magnéticos, que denominamos reactiva.[1]

La energía activa corresponde a la **potencia activa** dimensionada en W, y se transforma íntegramente en energía mecánica (trabajo) y en calor (pérdidas térmicas). Los receptores que absorben únicamente este tipo de energía se denominan resistivos. [1]

La energía reactiva corresponde a la **potencia reactiva** necesaria para crear los campos magnéticos que necesitan ciertos receptores para su funcionamiento (motores, transformadores). Esta energía es suministrada por la red de alimentación o por los condensadores instalados para dicha función. [1]

En la práctica, los elementos reactivos de las corrientes de carga son inductivos, mientras que las impedancias de las líneas de transporte y distribución son capacitivos.

La potencia total formada por la activa y la reactiva que es tomada de la red, se denomina aparente y es la que finalmente debe ser transportada hasta el punto de consumo.

De acuerdo a las propiedades de los elementos eléctricos, existe un desfase de 90° entre la corriente y el voltaje, además, este desfase es simétrico entre sí de manera que se puede analizar a través de un triángulo rectángulo, a este se le llama triángulo de potencias y cumple con la identidad pitagórica, en este participan la potencia activa, reactiva y aparente, a partir de este planteamiento encontramos en la relación un concepto importante que se conoce como el factor de potencia "F.P.". [23]

El hecho de transportar una potencia mayor a la que realmente se consume, modifica el factor de potencia e impone la necesidad de que los conductores, transformadores y demás dispositivos que participan en el suministro de esta potencia sean más robustos, y esto implica otros costos en el sistema y eleva los precios de distribución.

2.1.4.1 Potencia Real o Activa

Es la potencia eléctrica que se aprovecha para realizar un trabajo, se simboliza con la letra "P" y su unidad es el Watt [W].

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi = I^2 \cdot R = S \cdot \cos\varphi \quad (2.7)$$

2.1.4.2 Potencia Reactiva

Además de utilizar potencia activa para producir un trabajo, los motores, transformadores y demás equipos similares requieren un suministro de potencia reactiva para generar el campo magnético necesario para su funcionamiento, la potencia reactiva no produce por sí misma ningún trabajo se simboliza con la letra "Q" y su unidad es el Volt-Amper Reactivo [VAR].

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi = I^2 \cdot X = I^2 \cdot (X_L - X_C) = S \cdot \sin\varphi \quad (2.8)$$

2.1.4.3 Potencia Aparente

La potencia total o aparente es la suma geométrica de la potencia activa y reactiva, o bien, el producto de la corriente y el voltaje, Esta potencia es la que realmente suministra una planta eléctrica se simboliza con la letra "S" y su unidad es el Volt-Amper [VA]

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2.9)$$

Para sistemas trifásicos simplemente los valores se multiplican por raíz de 3.

2.1.4.4 Triángulo de Potencias

El triángulo de potencias es el que forman la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente, en las siguientes figuras se muestra la representación del mismo

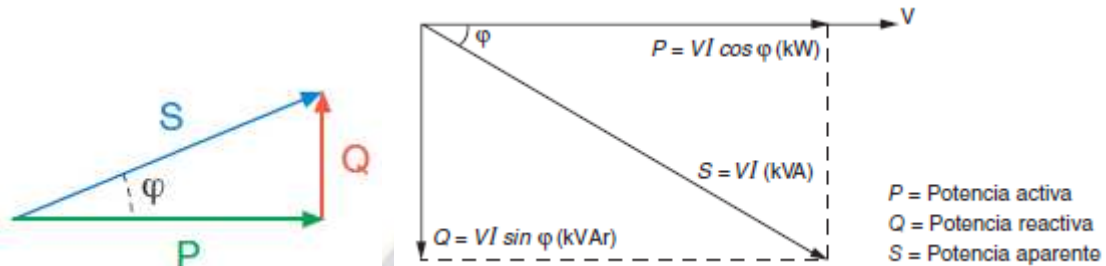


Figura 2.5 Triángulo de potencias

Fuente: Circuitos de corriente alterna sinusoidal [21]

De la figura 2.5 se puede conocer la **potencia aparente** a partir del teorema de Pitágoras aplicado en el triángulo de potencias.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.10)$$

2.2 Factor de potencia

El **factor de potencia** se define como la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA). [23]

$$F.P. = \frac{P}{S} \quad (2.11)$$

Si de la ecuación anterior (2.11) despejamos P, la ecuación se torna igual al de la potencia activa (2.7), tras esta coincidencia podemos relacionar que:

$$F.P. = \cos\varphi \quad (2.12)$$

Esta relación solo es válida si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia es igual a $\cos\varphi$. [1]

En la figura 2.5. El ángulo φ nos indica si la tensión o la corriente se encuentran en fase, dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia (F.P.) puede ser adelantado, retrasado o igual a 1.

- Para el caso cuando $\varphi = 0$, se tiene un factor de potencia unitario.- Esto indica que tanto la corriente como la tensión están en fase, esto se presenta por lo regular en cargas resistivas como lámparas incandescentes.

- Para el caso cuando $\varphi < 0$, se tiene un factor de potencia retrasado.- Esto indica que la corriente se encuentra atrasada respecto a la tensión, esto se presenta por lo regular en cargas inductivas como motores o transformadores.-

- Para el caso cuando $\varphi > 0$, se tiene un factor de potencia adelantado.- Esto indica que la corriente se encuentra adelantada respecto a la tensión, esto se presenta por lo regular en cargas capacitivas como banco de capacitores.

Desde otro punto de vista, de manera práctica se puede indicar que el Factor de Potencia:

Es un indicador sobre el correcto aprovechamiento de la energía, de forma general es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo. El factor de potencia puede tomar valores entre 0 y 1, lo que significa que:

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo.

Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

2.2.1 Efectos de un bajo Factor de Potencia.

Un bajo factor de potencia implica un aumento de la corriente aparente y por lo tanto un aumento de las pérdidas eléctricas en el sistema, es decir indica una eficiencia eléctrica baja, lo cual siempre es costoso, ya que el consumo de potencia activa es menor que el producto V.I. (potencia aparente).

Se puede observar algunos efectos de un bajo factor de potencia:[19]

- Un bajo factor de potencia aumenta el costo de suministrar la potencia activa a la compañía de energía eléctrica, porque tiene que ser transmitida más corriente, y este costo más alto se le cobra directamente al consumidor industrial por medio de cláusulas del factor de potencia incluidas en las tarifas.
- Un bajo factor de potencia también causa sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución dentro de la misma planta industrial, así como también las caídas de voltaje y pérdidas de potencia se tornan mayores de las que deberían ser. Todo esto representa pérdidas y desgaste en equipo industrial.

2.2.2 Ventajas técnicas de la corrección del factor de potencia

Al aplicar la corrección en una instalación, proporcionando localmente la potencia reactiva necesaria, se reduce el valor de la corriente, (a igual potencia útil requerida), y, por tanto, la potencia global consumida "aguas arriba"¹; esto conlleva numerosas ventajas, entre ellas, un uso optimizado de las máquinas (generadores y transformadores) y de las líneas eléctricas (transmisión y distribución).[3]

En el caso de formas de onda sinusoidales, la potencia reactiva necesaria para pasar de un factor de potencia $\cos\varphi_1$ a un factor de potencia $\cos\varphi_2$ es expresada por la relación (válida tanto para sistemas trifásicos como monofásicos):

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (2.13)$$

donde:

- P es la potencia activa;
- Q_1 , φ_1 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección;
- Q_2 , φ_2 son la potencia reactiva y el ángulo de desfase tras la corrección;
- Q_c es la potencia reactiva de corrección.

En la figura 2.5 se ilustra como un banco de condensadores inyecta energía reactiva hacia la carga (motor) reduciendo así la demanda de la red de suministro eléctrico, a lado se encuentra el triángulo de Potencias que pasa de un estado inicial a uno final con el fin de determinar la potencia reactiva capacitiva necesaria para llegar al factor de potencia objetivo.

¹Aguas arriba: término del rubro eléctrico para indicar por "encima de una referencia"

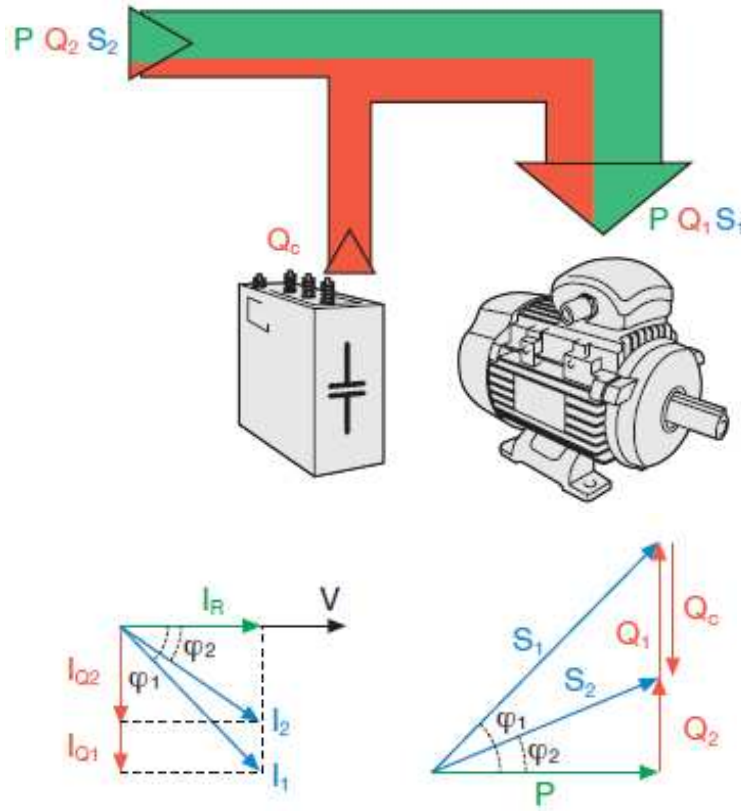


Figura 2.6 Ilustración de la inyección de energía reactiva de manera local

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

Con todo ello, las ventajas principales de la corrección pueden resumirse de la siguiente manera:

- uso optimizado de las máquinas eléctricas;
- uso optimizado de las líneas eléctricas;
- reducción de las pérdidas;
- reducción de la caída de tensión.

2.2.2.1 Uso optimizado de las máquinas eléctricas

Los generadores y los transformadores son dimensionados a partir de la potencia aparente S . Esta, a igual potencia activa P , es más pequeña cuanto menor es la potencia reactiva Q suministrada. Por lo tanto, compensando la instalación, las máquinas pueden ser dimensionadas en relación con una potencia aparente inferior, aun proporcionando la misma potencia activa.

A modo de ejemplo, la tabla 2.1 muestra la variación de la potencia transmitida para transformadores trifásicos MT/BT en función del $\cos\phi$ del consumidor.

Potencia del transformador [kVA]	Potencia activa transmitida [kW]					
	cosφ					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
63	32	38	44	50	57	63
100	50	60	70	80	90	100
125	63	75	88	100	113	125
160	80	96	112	128	144	160
200	100	120	140	160	180	200
250	125	150	175	200	225	250
315	158	189	221	252	284	315
400	200	240	280	320	360	400
630	315	378	441	504	567	630
800	400	480	560	640	720	800
1000	500	600	700	800	900	1000
1250	625	750	875	1000	1125	1250

Tabla 2.1 Variación de la potencia transmitida en función del factor de potencia

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

Según esta tabla, si se requiere alimentar una serie de cargas con una potencia total de 170 kW con $\cos\phi=0.7$, hace falta un transformador de 250 kVA. Si las cargas absorbieran la misma potencia con $\cos\phi=0.9$, en vez de 0.7, bastaría con utilizar un transformador de 200 kVA. Con los generadores ocurre lo mismo.

2.2.2.2 Uso optimizado de las líneas eléctricas

La corrección del factor de potencia permite obtener ventajas también con respecto al dimensionamiento de los cables. Como se señalaba anteriormente, aumentándolo se reduce la corriente, a igual potencia útil. Esta reducción de la corriente puede permitir la elección de conductores de sección inferior.

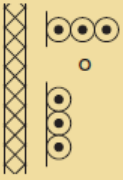
S [mm ²]		
	Cu	
	XLPE/EPR	PVC
	I ₀ [A]	
25	141	114
35	176	143
50	216	174
70	279	225
95	342	275
120	400	321
150	464	372
185	533	427
240	634	507
300	736	587
400	868	689
500	998	789
630	1151	905

Tabla 2.2 Capacidad I₀ de los cables unipolares de cobre en bandeja perforada

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

2.2.2.3 Reducción de las pérdidas

Las pérdidas de potencia en un conductor eléctrico dependen de la resistencia del conductor y del cuadrado de la corriente que lo atraviesa; dado que a igual potencia activa transmitida más alto es el cosφ y más baja es la corriente, al crecer el factor de potencia disminuyen las perdidas en el conductor ubicado aguas arriba respecto al punto en el que se lleva a cabo la corrección.[3]

Corrigiendo el factor de potencia se obtiene una reducción de las pérdidas de potencia en todas las partes de la instalación ubicadas aguas arriba respecto al punto en el que se efectúa la corrección.

2.2.2.4 Reducción de la caída de tensión

A igual potencia activa transmitida, la caída de tensión será menor cuanto mayor sea el factor de potencia.

2.2.3 Ventajas económicas de la corrección del factor de potencia

Los distribuidores de energía eléctrica aplican un sistema de tarifas que sanciona el consumo de energía con un factor de potencia medio mensual inferior a 0.9.

Los contratos aplicados son diferentes dependiendo del país y también pueden variar en función del tipo de cliente: debido a ello, el texto siguiente debe considerarse a mero título didáctico e indicativo, con la intención de mostrar el ahorro económico que se obtiene con la corrección.

En líneas generales, las cláusulas contractuales de suministro de energía señalan el pago de la energía reactiva recogida si el factor de potencia está comprendido entre 0.7 y 0.9, mientras que no se debe pagar nada si es superior a 0.9.

Para $\cos\varphi < 0.7$, los distribuidores de energía pueden obligar al usuario a realizar la corrección, tener un factor de potencia medio mensual superior o igual a 0.9 significa requerir a la red una energía reactiva inferior o igual al 50% de la energía activa:

(Se deduce del triángulo de potencias, figura 2.5)

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P} \leq 0.5 \rightarrow \cos\varphi \geq 0.89$$

Es preciso señalar que la batería de condensadores representa un "coste de instalación" oportunamente repartido en los años de vida de la instalación mediante uno o más coeficientes económicos; en la práctica, el ahorro que se obtiene realizando la corrección permite recuperar el coste de instalación de la batería de condensadores en los primeros años.

2.3 Medios de producción de la potencia reactiva

Los principales medios para la producción de potencia reactiva son:

- alternadores sincrónicos;
- compensadores sincrónicos;
- compensadores estáticos;
- baterías de condensadores estáticos.

Para el presente proyecto existirá un banco de condensadores o capacitores, por tanto se explica sobre las características de los mismos en la siguiente sección.

2.3.1 Baterías de condensadores estáticos

El condensador es un dipolo pasivo constituido por dos superficies conductoras, llamadas armaduras, entre las cuales se interpone un material dieléctrico.

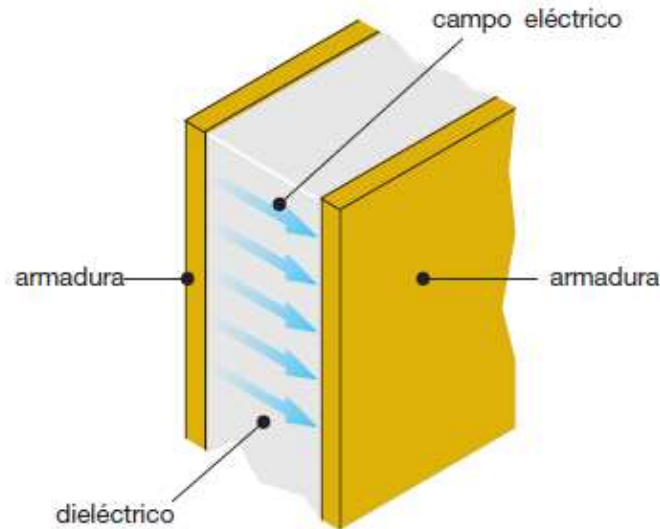


Figura 2.7 Elementos de un condensador

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

Este sistema queda impregnado con una sustancia que impide la penetración de humedad o la formación de burbujas que podrían dar lugar a descargas eléctricas. Los condensadores de última generación son de tipo en seco, los cuales son sometidos a un tratamiento específico que mejora sus propiedades eléctricas.

Los condensadores en seco no presentan riesgos de contaminación por la eventual pérdida de la sustancia impregnante.

En función de la geometría de las armaduras metálicas, pueden ser:

- condensadores planos;
- condensadores cilíndricos;
- condensadores esféricos.

Las principales magnitudes que caracterizan a un condensador son:

- la *capacidad nominal* C_n : el valor de la capacidad obtenido de los valores nominales de la potencia, de la tensión y de la frecuencia del condensador;
- la *potencia nominal* Q_n : la potencia reactiva para la que el condensador ha sido diseñado;
- la *tensión nominal* U_n : el valor eficaz de la tensión alterna para la que el condensador ha sido diseñado;
- la *frecuencia nominal* f_n : la frecuencia para la cual el condensador ha sido diseñado.

Aplicando una tensión alterna entre las armaduras, el condensador está sometido a ciclos de carga y descarga durante los cuales acumula energía reactiva (carga del condensador) para luego inyectarla al circuito al que va conectado (descarga del condensador).

Esta energía se expresa con la relación:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad (2.14)$$

donde:

- C es la capacidad del condensador;
- U es la tensión aplicada en los extremos del condensador.

Debido a su capacidad de acumular y suministrar energía, el condensador se utiliza como elemento de base para la realización de las baterías de corrección del factor de potencia (en todos los niveles de tensión) y de los dispositivos estáticos de regulación de la potencia reactiva.

En concreto, los condensadores de corrección utilizados en baja tensión están constituidos por elementos monofásicos realizados con películas de polipropileno metalizado y pueden ser de tipo autorregenerables. En los condensadores de este tipo, la parte dieléctrica dañada por una descarga es capaz de regenerarse; en tales situaciones, la parte de la película de polipropileno afectada por la descarga se volatiliza por el efecto térmico causado por la misma descarga, restableciendo de este modo la parte dañada.

En la práctica, los condensadores absorben potencia activa, si bien es mínima, a causa de la conductividad no nula del dieléctrico interpuesto y a las pérdidas por histéresis dieléctrica.

2.4 Tipos de corrección

Queda por explicar donde se deben instalar los condensadores para sacar el máximo rendimiento de dichas ventajas. Si bien no existen reglas específicas para los diferentes tipos de instalaciones y, en teoría, los condensadores pueden instalarse en cualquier punto, es preciso evaluar su ejecución práctica y económica.

A partir de las modalidades de ubicación de los condensadores, los principales métodos de corrección son:

- corrección del factor de potencia distribuida;

- corrección del factor de potencia por grupos;
- corrección del factor de potencia centralizada;
- corrección del factor de potencia mixta;
- corrección del factor de potencia automática.

2.4.1 Corrección distribuida

La corrección distribuida se realiza conectando una batería de condensadores debidamente dimensionada directamente a los terminales del dispositivo que necesita la potencia reactiva.

La instalación es sencilla y poco costosa: el condensador y la carga pueden beneficiarse de las mismas protecciones contra sobre corrientes y se insertan o desconectan a la vez.

Este tipo de corrección es aconsejable para grandes aparatos con carga y factor de potencia constantes y tiempos de conexión prolongados; por lo general, es utilizado para motores y lámparas fluorescentes.

La figura 2.7 presenta los esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.

En caso de conexión directa (esquemas 1 y 2) se corre el riesgo de que, tras el corte de la alimentación, el motor, al continuar rotando (energía cinética residual) y autoexcitándose con la energía reactiva suministrada por la batería de condensadores, se transforme en un generador asíncrono.

Si esto ocurre, la tensión se mantiene en el lado de carga del dispositivo de maniobra y control, con riesgo de peligrosas sobretensiones (hasta el doble de la tensión nominal).

Por medio del esquema 3, la batería de compensación se conecta al motor solo cuando este está en marcha y se desconecta del mismo antes de que se produzca el corte de la alimentación del motor.

Con este tipo de corrección, toda la red aguas arriba de la carga trabaja con un factor de potencia elevado; por el contrario, esta solución resulta costosa económicamente.

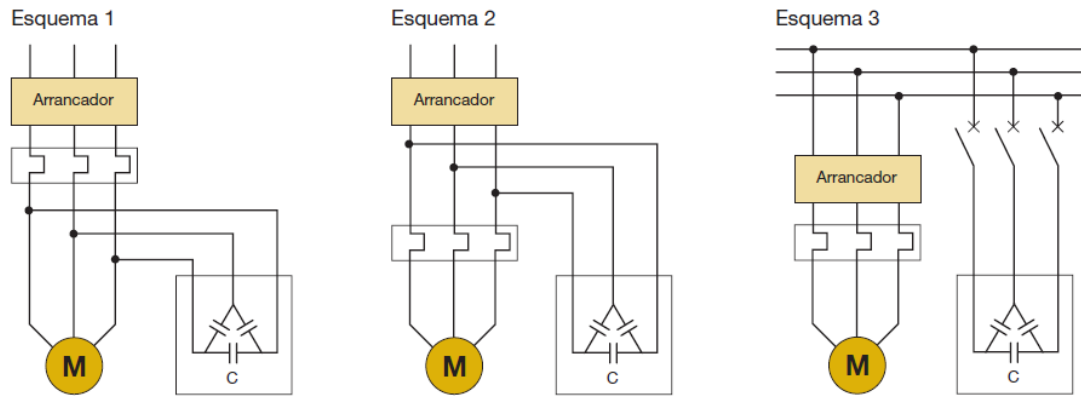


Figura 2.8 Esquemas usuales de conexión para la corrección del factor de potencia de motores.

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

2.4.2 Corrección por grupos

Consiste en corregir localmente grupos de cargas con características de funcionamiento similares mediante la instalación de una batería de condensadores.

Este método se encuentra a medio camino entre la solución económica y el correcto servicio de la instalación, ya que los beneficios de la corrección afectan solo a las líneas aguas arriba respecto al punto en el que se encuentra instalada la batería de condensadores.

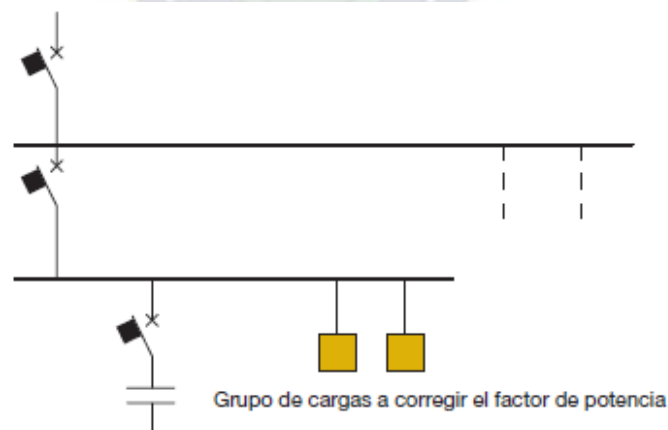


Figura 2.9 Compensación grupal

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

2.4.3 Corrección centralizada

El comportamiento diario de las cargas tiene una importancia fundamental para la elección del tipo de corrección más conveniente.

En instalaciones con muchas cargas, en las que todos sus elementos funcionan de forma simultánea y/o algunos están conectados solo unas pocas horas al día, es evidente que la solución de la corrección distribuida resulta demasiado costosa, quedando durante largos periodos inutilizados muchos de los condensadores instalados.

Por tanto, el uso de un único sistema de corrección en el punto inicial de la instalación permite reducir notablemente la suma de potencias de los condensadores instalados.

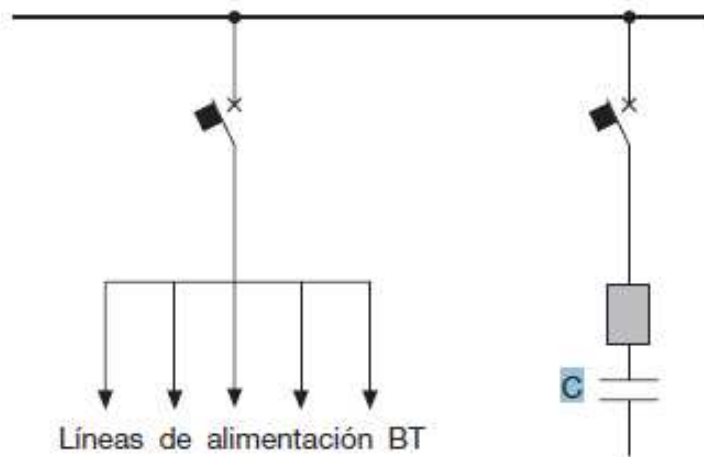


Figura 2.10 Compensación centralizada

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

En la corrección centralizada se emplean normalmente complejos automatismos (véase más adelante corrección automática), con baterías fraccionadas en mas escalones, instalados directamente en los cuadros principales de distribución; el uso de una batería conectada permanentemente solo es posible si la absorción de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día.

La solución centralizada permite optimizar los costes de la batería de condensadores, pero presenta la desventaja de que las líneas de distribución de la instalación "aguas abajo"² del

² Aguas abajo: término del rubro eléctrico para indicar por "debajo de una referencia"

dispositivo de corrección deben estar dimensionadas teniendo en cuenta la totalidad de la potencia reactiva absorbida por las cargas.

2.4.4 Corrección mixta

Esta solución deriva de un compromiso entre las soluciones de corrección distribuida y centralizada, combinando las ventajas de ambos. De esta forma, se utiliza la corrección distribuida para los aparatos eléctricos de mayor potencia, y la centralizada para la parte restante.

La corrección mixta se emplea generalmente cuando en una instalación solo se utilizan con frecuencia los equipos más pesados, de manera que estos son compensados individualmente mientras que los demás aparatos son compensados de forma centralizada.

2.4.5 Corrección automática

En la mayor parte de las instalaciones no tiene lugar una absorción constante de potencia reactiva, por ejemplo, a causa de ciclos de trabajo en los que se utilizan máquinas con diferentes propiedades eléctricas.

En dichas instalaciones se emplean sistemas de corrección automáticos que, por medio de un sistema de detección de tipo varimétrico y de un regulador del factor de potencia, permiten la inserción o la desconexión automática de las diferentes baterías de condensadores, siguiendo de esta forma las variaciones de la potencia reactiva absorbida y manteniendo constante el factor de potencia de la instalación.

Un sistema de corrección automática está compuesto por:

- sensores que detectan las señales de corriente y tensión;
- una unidad inteligente que compara el factor de potencia medido con el deseado y ejecuta la inserción o la desconexión de las baterías de condensadores en función de la potencia reactiva necesaria (regulador del factor de potencia);
- un cuadro eléctrico de potencia, que incluye los dispositivos de protección y maniobra;
- baterías de condensadores.

Con objeto de proporcionar una potencia lo más cercana posible a la requerida, la inserción de los condensadores tiene lugar de forma escalonada; la precisión de control será mayor cuanto más escalones haya y cuanto más pequeña sea la diferencia entre ellos.

2.5 Determinación del factor de potencia

Para dimensionar la batería de condensadores a instalar para corregir la instalación, hay que determinar de manera precisa el factor de potencia a partir de los consumos o del ciclo de carga de la instalación; así se evita la inyección de excesiva energía reactiva, condición que normalmente no está permitida por las compañías eléctricas.

Si se desea efectuar una corrección distribuida o por grupos, es necesario determinar el $\cos\varphi$ de la carga o del grupo de cargas (reparto); esto puede llevarse a cabo de los siguientes modos:

- directamente, mediante medida directa por medio de un cosfímetro;
- indirectamente, a través de la lectura de los contadores de energía activa y reactiva.

Ambas anteriores se las realiza de manera efectiva con un analizador de redes, así además de obtener el valor del $\cos\varphi$, también podemos realizar un estudio de la calidad de energía en la planta industrial)

El *cosfímetro* es un instrumento de medida que permite visualizar el factor de potencia $\cos\varphi$ con el que la carga está absorbiendo energía. La lectura de dicho instrumento se efectuara en diferentes momentos del ciclo de carga para así poder extraer un factor de potencia medio.

Si se dispone de las lecturas de energía activa y reactiva absorbidas en un ciclo de trabajo por la carga o por el conjunto de las cargas que constituyen el reparto, el factor de potencia medio puede ser calculado de la siguiente forma:

$$\cos\varphi = \cos\left(\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{E_{Qf}-E_{Qi}}{E_{Pf}-E_{Pi}}\right)\right) \quad (2.15)$$

donde:

- E_{Pi} y E_{Qi} son los valores de la energía activa y reactiva leídos al comienzo del ciclo de trabajo;
- E_{Pf} y E_{Qf} son los valores de la energía activa y reactiva leídos al termino del ciclo de trabajo.

Si se pretende efectuar una compensación centralizada, el factor de potencia medio mensual puede extraerse siguiendo el procedimiento descrito anteriormente o directamente de los recibos de la compañía eléctrica.

2.6 Determinación de la potencia reactiva necesaria

Una vez conocido el factor de potencia de la instalación ($\cos\phi_1$) y el que se quiere obtener ($\cos\phi_2$), es posible determinar la potencia reactiva necesaria de la batería de condensadores para alcanzar la corrección.

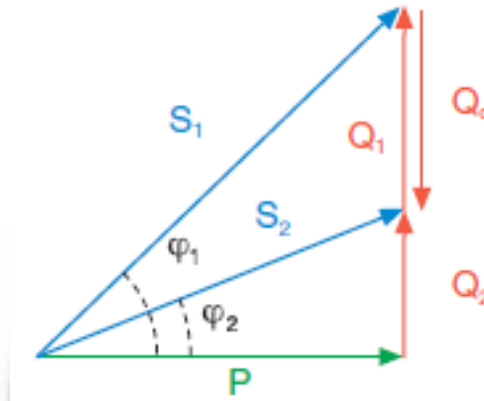


Figura 2.11 Triángulo de potencias inicial y final

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

Siendo:

- P la potencia activa instalada
- ϕ_1 el ángulo de desfase antes de la corrección
- ϕ_2 el ángulo de desfase que se quiere obtener con la corrección la potencia de la batería de condensadores Q_c es igual a:

de (2.13):

$$Q_c = K \cdot P$$

Siendo que K:

$$K = \operatorname{tg}(\cos^{-1}(FP_1)) - \operatorname{tg}(\cos^{-1}(FP_2))$$

La tabla del factor K se presenta en el ANEXO A, permite calcular dado el $\cos\phi$ inicial, la potencia de la batería de condensadores en kVAr por kW instalado necesaria para obtener un determinado factor de potencia.

En un sistema trifásico, la batería de condensadores dimensionada, constituida por tres condensadores de igual capacidad, puede conectarse en triángulo o en estrella. A la hora de elegir la modalidad de conexión, se debe tener presente que en la conexión en triángulo cada capacidad

está sujeta a la tensión de línea de alimentación, pero, a igual potencia reactiva generada, tiene un valor de un tercio del que tendría en la conexión en estrella

$$Q_{CY} = Q_{C\Delta} \rightarrow C_Y = 3 \cdot C_{\Delta} \quad (2.16)$$

En baja tensión, donde los problemas de aislamiento son menos relevantes, suele preferirse emplear la conexión en triángulo de la batería de condensadores, ya que permite un dimensionamiento inferior de las capacidades de cada fase.

En el ANEXO B, se presenta el ejemplo de una instalación antes y después de la compensación de la energía reactiva

2.7 Los armónicos

Magnitud armónica o simplemente "armónico", Es una de las componentes sinusoidales de la variación de una magnitud física que tiene una frecuencia múltiplo de la componente fundamental. La amplitud del armónico es generalmente de un % de la fundamental, en la figura 2.11 se muestra la onda deformada

Orden o rango del armónico

Es la relación que hay entre su frecuencia f_n y la frecuencia de la fundamental (generalmente la frecuencia industrial, 50 ó 60 Hz):

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (2.17)$$

Por principio, la fundamental f_1 tiene rango 1.

Espectro

Es el histograma que da la amplitud de cada armónico en función del rango en la figura 2.11 puede verse el espectro armónico y las tasas de distorsión

Expresión de la magnitud deformada

El desarrollo en serie de Fourier de todo fenómeno periódico es de la forma:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \cdot \sqrt{2} \cdot \text{sen}(n\omega t - \varphi_n) \quad (2.18)$$

donde:

- Y_0 = amplitud de la componente continua, generalmente nula en distribución eléctrica en régimen permanente,
- Y_n = valor eficaz de la componente de rango n ,
- φ_n = desfase de la componente armónica en el momento inicial.

Normalmente, la amplitud de los armónicos disminuye con la frecuencia. Según las normas, se toman en consideración los armónicos hasta el orden o rango 40.

2.7.1 Armónicos en las instalaciones eléctricas

El desarrollo tecnológico en el ámbito industrial y doméstico ha dado lugar a la difusión de aparatos electrónicos que, debido a su principio de funcionamiento, absorben una corriente no sinusoidal (cargas no lineales). Dicha corriente provoca, aguas arriba en la red, una caída de tensión también no sinusoidal y, consecuentemente, las cargas lineales se encuentran alimentadas por una tensión distorsionada.

Los armónicos son las componentes de una forma de onda distorsionada y su utilización permite analizar cualquier forma de onda periódica no sinusoidal, descomponiéndola en distintas componentes sinusoidales.

Según el teorema de Fourier, cualquier función periódica de periodo T generalmente continua y limitada puede representarse por la suma de infinitos términos sinusoidales, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la función original.

*El armónico cuya frecuencia corresponde al periodo de la forma de onda original se llama **armónico fundamental** y el armónico con frecuencia igual a " n " veces la del fundamental se llama **armónico de orden " n ".***

También por el teorema de Fourier, una forma de onda perfectamente sinusoidal no presenta armónicos de orden diferente al fundamental. La presencia de armónicos en un sistema eléctrico indica por tanto una deformación de la forma de onda de la tensión o de la corriente, lo que conlleva una distribución de energía eléctrica que podría provocar el funcionamiento deficiente de los equipos.

Los principales aparatos que generan armónicos son:

- ordenadores;

- lámparas fluorescentes y de descarga en gas;
- convertidores estáticos;
- grupos de continuidad;
- accionamientos de velocidad variable;
- soldadoras;
- hornos de arco y de inducción.

Generalmente, la distorsión de la forma de onda se debe a la presencia, en el interior de los aparatos, de impedancias no lineales o de tiempo variante o de puentes rectificadores cuyos dispositivos semiconductores conducen solo durante una fracción de todo el periodo, creando comportamientos discontinuos con la consecuente introducción de numerosos armónicos.

Como se verá en los segmentos siguientes, **la presencia de armónicos en la red eléctrica puede dañar la batería de condensadores.**



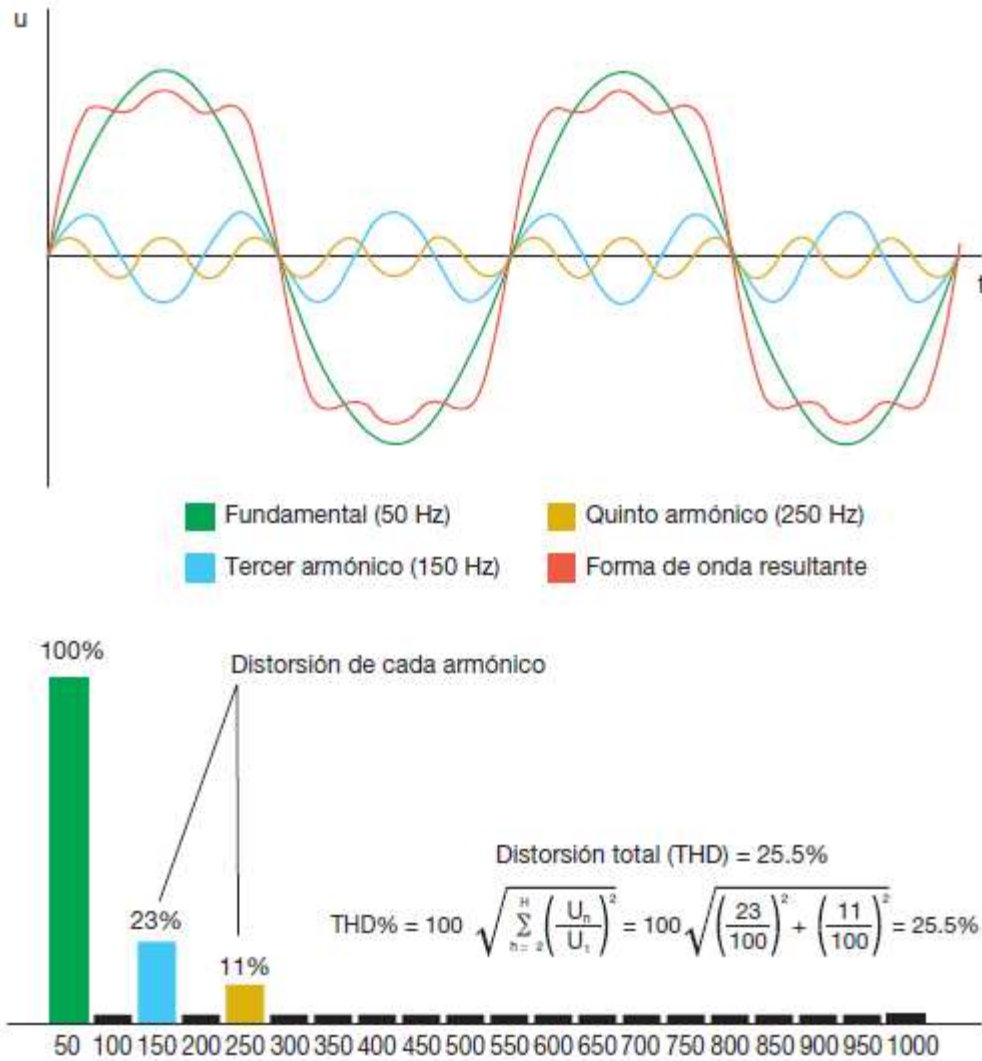


Figura 2.12 Onda deformada y espectro de armónicos

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

2.7.2 Prescripciones de las normativas

Las normas técnicas establecen prescripciones concretas a seguir para la reducción de los efectos de los armónicos en los condensadores.

La norma IEC EN 61642 *Redes industriales de corriente alterna afectadas por armónicos - Aplicación de filtros y de condensadores estáticos de corrección* identifica los problemas y proporciona recomendaciones para la aplicación general de los condensadores y los filtros de armónicos en las redes de energía de corriente alterna afectadas por la presencia de tensiones y de corrientes armónicas.

En particular, ilustra el problema de la resonancia en serie y en paralelo y ofrece ejemplos clarificadores.

2.7.3 Los efectos de los armónicos

2.7.3.1 Sobrecargas

La presencia de armónicos en la red eléctrica puede provocar un funcionamiento anómalo de los aparatos, como sobrecargas en el conductor de neutro, aumento de las pérdidas en los transformadores, daños en el par de los motores, etc.

En concreto, los armónicos son el fenómeno que más daños causa a los condensadores de compensación.

De hecho, se sabe que la reactancia capacitiva es inversamente proporcional a la frecuencia; por lo tanto, la impedancia producida en los armónicos de tensión disminuye al aumentar el orden de armónicos. Esto significa que los condensadores, al estar alimentados por una tensión deformada, pueden absorber una corriente con una magnitud que podría dañarlos seriamente.

En el caso de una batería de condensadores conectada en triángulo, es posible calcular la corriente de línea correspondiente al n -ésimo armónico según la siguiente relación:

$$I_n = \sqrt{3} \cdot n \cdot \omega \cdot C \cdot U_n \quad (2.19)$$

donde:

- I_n es la corriente correspondiente al n -ésimo armónico;
- n es el orden de armónicos;
- ω es la pulsación del armónico fundamental;
- C es la capacidad del condensador;
- U_n es la tensión concatenada correspondiente al n -ésimo armónico.

La corriente total de línea absorbida por la batería de condensadores será:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C \cdot \sqrt{U_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} (n \cdot U_n)^2} \quad (2.20)$$

Esta relación evidencia que la corriente absorbida en presencia de armónicos de tensión es superior a la que se tendría en su ausencia. Por ello, las normas IEC EN 60831-1 e IEC EN 60931-1

establecen que los condensadores sean capaces de funcionar permanentemente con corriente superior a la corriente nominal de la batería.

2.7.3.2 Resonancia

Un problema aun más importante se da cuando la distorsión en línea alcanza valores elevados, existiendo peligro de resonancia entre el sistema de corrección (capacidad equivalente de los condensadores) y la inductancia equivalente de la red.

La resonancia se presenta cuando la reactancia inductiva y capacitiva se igualan.

De esta forma, se menciona como circuito resonante serie cuando la inductancia y la capacidad estén conectadas en serie, o de circuito resonante paralelo si la inductancia y la capacidad se encuentran conectadas en paralelo. En una misma red, pueden darse al mismo tiempo una resonancia en serie y una resonancia en paralelo. La resonancia tiene lugar a una frecuencia concreta, llamada *frecuencia de resonancia* f_r

$$X_L = X_C \rightarrow f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (2.21)$$

Cuando se tiene resonancia en serie, la impedancia total teóricamente se anula. Si un circuito resonante serie recibe alimentación de tensión alterna con una frecuencia cercana a la frecuencia de resonancia, puede tener lugar una amplificación de la corriente absorbida que puede provocar perturbaciones, sobre corrientes e incluso daños en los componentes de la red.

Por el contrario, si un circuito resonante paralelo recibe alimentación de armónicos de corriente de cargas de distorsión, podría tener lugar una sobretensión en el armónico de resonancia.

El siguiente gráfico muestra el comportamiento de la reactancia capacitiva (decreciente con el orden de armónicos), inductiva (creciente con el orden de armónicos) y total de una red; la reactancia total en serie adquiere su valor mínimo en la frecuencia de resonancia (en el ejemplo del gráfico, unas tres veces la frecuencia fundamental).

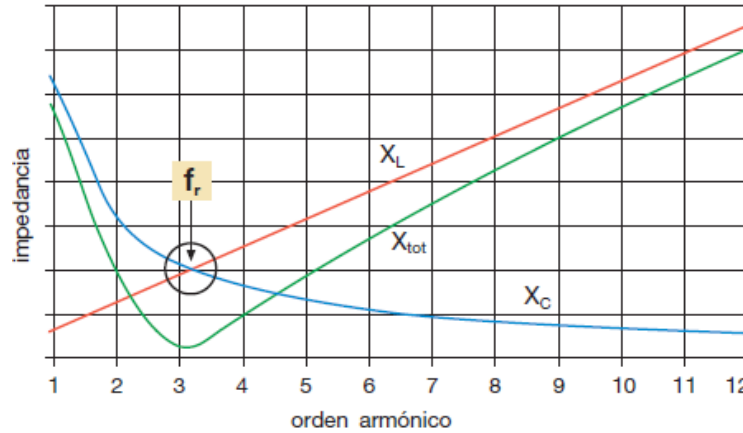


Figura 2.13 Comportamiento de las reactancias con referencia al orden armónico

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

La frecuencia de resonancia f_r también puede hallarse con la siguiente ecuación:

$$f_r = f_1 \cdot \sqrt{\frac{X_{C1}}{X_{L1}}} \quad (2.22)$$

donde:

- f_1 es la frecuencia fundamental;
- X_{C1} es la reactancia capacitiva del condensador a la frecuencia fundamental;
- X_{L1} es la reactancia inductiva (a la frecuencia fundamental) de la red aguas arriba respecto al punto de instalación del condensador.

En ausencia de armónicos y suponiendo que la frecuencia de resonancia difiera lo suficiente de la frecuencia fundamental del sistema de alimentación, no tendrán lugar sobrecorrientes en las líneas. En presencia de armónicos, podría producirse una amplificación de la corriente en el armónico de orden cercano a la frecuencia de resonancia. Para más detalles, véase la norma IEC EN 61642, que incluye además un ejemplo numérico de un circuito resonante serie del que se concluye que cuando la frecuencia es cercana a la frecuencia de resonancia en serie, una tensión relativamente baja en las barras de alimentación puede dar lugar a una corriente elevada.

Para evitar este fenómeno de resonancia y, por tanto, para que la vida del condensador no se vea reducida, es preciso que la red tenga una frecuencia de resonancia lo más diferente posible de la de los armónicos presentes.

La solución más común, tal y como se indica en la norma IEC EN 61642, consiste en conectar debidamente una reactancia inductiva en serie al condensador (*reactancia de bloqueo*); la reactancia debe estar dimensionada con una frecuencia de resonancia inferior a la frecuencia armónica más baja de la tensión presente en el circuito.

2.7.4 Filtros para armónicos

Junto con los inductores, y con objeto de limitar los efectos de los armónicos en una red, pueden emplearse los bancos de condensadores. De hecho, la combinación condensador inductor constituye un filtro para armónicos.

Anteriormente se observó que, para evitar los efectos negativos de la resonancia, es necesario insertar un inductor en serie a un condensador. Siguiendo esa misma lógica, se puede insertar en un punto específico de la red una combinación de un inductor y un condensador oportunamente dimensionados con una frecuencia de resonancia igual al orden del armónico de corriente que se quiere eliminar.

De esta forma, el bipolo inductor-condensador presenta una reactancia muy baja en el armónico que se desea eliminar, la cual permanecerá en el bipolo sin afectar al resto de la red.

El filtro, denominado *filtro pasivo*, está compuesto por un condensador conectado en serie a un inductor y su función es la de igualar la frecuencia de resonancia total a la frecuencia del armónico que se desea eliminar. El filtro pasivo, que se determina en cada caso en función del armónico concreto que necesita ser filtrado, es económico al tiempo que fácil de conectar y de poner en funcionamiento.

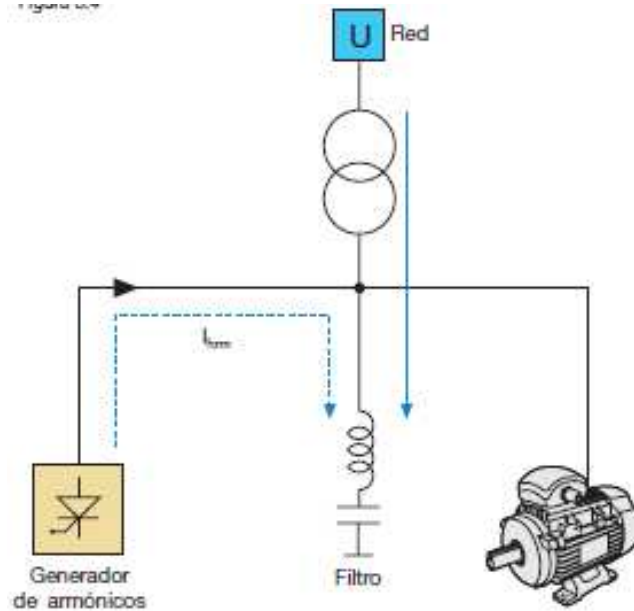


Figura 2.14 Conexión del inductor de línea

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

El *filtro activo* es capaz de eliminar de forma automática los armónicos de corriente presentes en la red con una amplia gama de frecuencias. Su tecnología electrónica le permite generar un sistema de armónicos capaz de anular los armónicos presentes en la red.

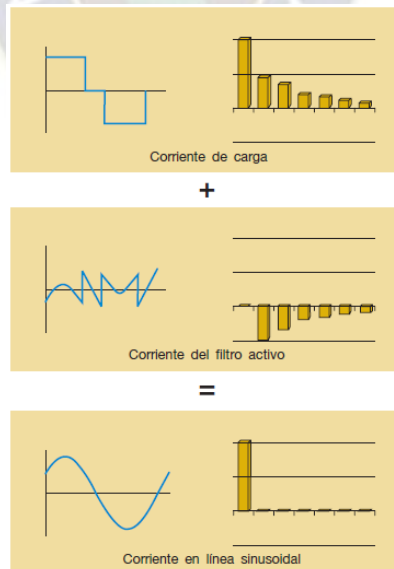


Figura 2.15 Anulación de armónicos utilizando un filtro activo

Fuente: Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 [3]

La ventaja del filtro activo es que puede filtrar al mismo tiempo decenas de armónicos sin comportar costes de planificación para el dimensionamiento.

2.8 Magnitudes eléctricas en régimen deformado.

Pasando de magnitudes genéricas a magnitudes eléctricas alternas (valor medio nulo), como son las tensiones y corrientes, estas, en régimen deformado, pueden venir expresadas en la serie de armónicos con frecuencias que son múltiplos de la fundamental según las relaciones:

$$v = \sum_{K=1}^{\infty} \sqrt{2} \cdot V_K \cdot \cos (K\omega t - \vartheta_k) \quad (2.23)$$

$$i = \sum_{K=1}^{\infty} \sqrt{2} \cdot I_K \cdot \cos (K\omega t - \vartheta_k - \varphi_k) \quad (2.24)$$

El ángulo ϑ_k representa el desfase del k -ésimo armónico de corriente respecto al k -ésimo armónico de tensión.

cuyos valores eficaces de fase, se definen como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores eficaces de cada armónico:

$$V = \sqrt{\sum_{K=1}^{\infty} V_K^2} \quad (2.25)$$

$$I = \sqrt{\sum_{K=1}^{\infty} I_K^2} \quad (2.26)$$

Para obtener información acerca del contenido armónico de las formas de onda de la tensión y la corriente, y para poder adoptar medidas cuando dichos valores sean elevados, hay que definir la tasa de *distorsión armónica total THD (Total Harmonic Distorsion)*:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{K=2}^{\infty} I_K^2}}{I_1} \quad \text{THD en corriente} \quad (2.27)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{K=2}^{\infty} V_K^2}}{V_1} \quad \text{THD en tensión} \quad (2.28)$$

Si $THD_i < 10\%$ y $THD_v < 5\%$, la tasa armónica es considerada aceptable y no es necesario tomar medidas; en caso contrario, se puede prever el uso de uno o más filtros para los armónicos de amplitud mayor con objeto de devolver los valores de las tasas de distorsión armónica a los límites aceptables.

2.9 Sistema Trifásico en Estrella.

Este es un sistema trifásico independiente y en él se transmite la energía de los generadores a los receptores mediante los conductores A, A', B, B', C y C'.

De esta manera los tres generadores quedan conectados en estrella (Figura 3.3) y lo mismo sucede con las tres impedancias. **En este caso se obtiene un sistema trifásico a cuatro hilos. En estos sistemas tendremos tres conductores de fase, R, S y T, y un conductor neutro, N.** [24]

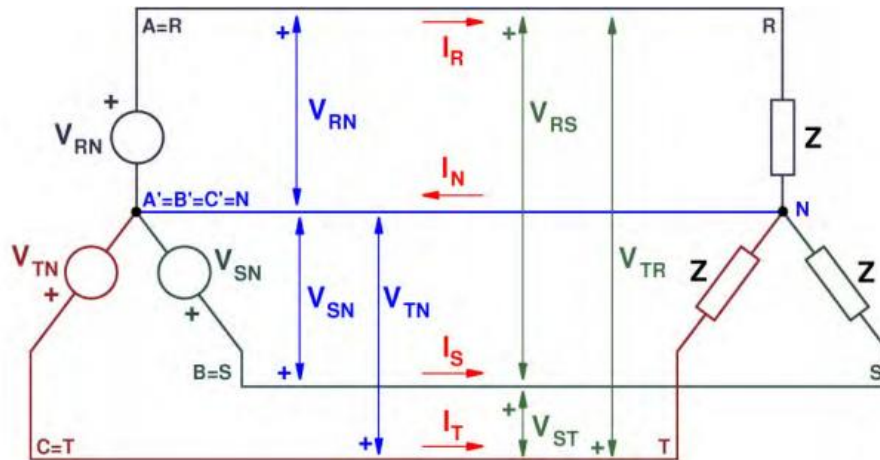


Figura 2.16 Sistema trifásico equilibrado a 4 hilos con los generadores y las cargas conectados en estrella

Fuente: Circuitos de Corriente Alterna Trifásica [24]

Un circuito trifásico es equilibrado, si se cumplen estas condiciones:

- Los generadores producen un sistema equilibrado de tensiones. Esto significa que las tres tensiones son de igual valor eficaz y existe un desfase de 120° (es decir, $2/3$ radianes) entre cada par de ellas.
- Las tres corrientes I_R , I_S e I_T también forman un sistema equilibrado de corrientes. Es decir, tienen el mismo valor eficaz y están desfasadas 120° entre sí.
- Las impedancias forman un sistema equilibrado de impedancias. Esto significa que las tres impedancias tienen el mismo valor eficaz y el mismo factor de potencia. Es evidente que un sistema trifásico equilibrado el comportamiento de las tres fases es idéntico, salvo el desfase de 120° para las tensiones y las corrientes. Va a bastar con analizar una de las tres fases, ya que las tensiones y corrientes de las otras dos se obtendrán simplemente girando $+120^\circ$ y -120° las obtenidas en la fase estudiada.

Las líneas eléctricas de transporte que transmiten energía eléctrica a grandes distancias son de tres hilos. Sin embargo, la distribución de la energía eléctrica en baja tensión a los consumidores suele ser a cuatro hilos porque estos utilizan muchas veces aparatos monofásicos que habitualmente se conectan entre una de las tres fases y el neutro. Se denominan tensiones fase-fase, compuestas o de línea a las tensiones V_{RS} , V_{ST} Y V_{TR} entre cada par de fases de una red trifásica (Fig. 3.4). Su valor eficaz es V_L

2.9.1 Magnitudes De Fase

Se denomina tensiones y corrientes de fase de un sistema trifásico de tres elementos -tres generadores o tres cargas, a las tensiones que hay entre sus extremos y a las corrientes que circulan por cada uno de los tres elementos, respectivamente. [24]

Las magnitudes de fase dependen de la forma en que estén conectados los tres elementos de un sistema trifásico, estrella o triángulo.

Los valores eficaces de las tensiones y de las corrientes de fase en un sistema equilibrado se van a denominar V_F e I_F , respectivamente.

2.9.2 Conexión Estrella Equilibrada

Conexión de tres impedancias formando una estrella equilibrada, la misma se muestra en la figura 3.5.

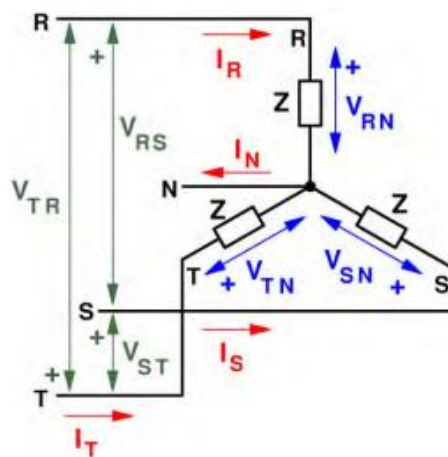


Figura 2.17 Impedancias conectadas en estrella con los voltajes y corrientes que intervienen

Fuente: Circuitos de Corriente Alterna Trifásica [24]]

Como se puede apreciar en la Fig. 3.4, cada fase de la estrella está sometida a la tensión fase-neutro y está recorrida por la corriente de línea correspondientes. Estas son, pues, las magnitudes de fase en la estrella y, en consecuencia, se cumple que:

$$\text{Conexión Estrella} \left\{ \begin{array}{l} V_F = V_{FN} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \end{array} \right. \quad (2.29)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_F = I_L \end{array} \right. \quad (2.30)$$

Además se cumple que:

$$I_N = I_R + I_S + I_T = 0 \quad (2.31)$$



Capítulo 3. Marco Referencial

Se describe el escenario en el cual se visualizó el planteamiento del proyecto, considerando los aspectos referentes a la planta industrial y la notificación por parte de la empresa distribuidora de energía eléctrica DELAPAZ.

3.1 Normas del rubro eléctrico.

Cuando se tratan de instalaciones eléctricas y soluciones para este rubro existen normas de referencia y normas mandatorias, tanto para instaladores, como para los fabricantes de soluciones eléctricas.

3.1.1 Normativas y reglamentos nacionales

Con referencia a las Normas Nacionales se tiene la "Norma Boliviana NB777, Diseño y construcción de Instalaciones Eléctricas interiores en Baja Tensión", la cual está basada en normas internacionales como las IEC (International Electrotechnical Commission). Con referencia al proyecto que se desarrollo muy poco se habla del factor de potencia, indicando que:

Se considerarán requerimientos de energía reactiva para los siguientes tipos de usuarios:[6]

a) Talleres de mecánica, carpintería, soldadura, mantenimiento mecánico o automotriz con más de 30 kW de demanda máxima de potencia activa prevista.

b) Edificios, galerías y complejos comerciales.

c) Instalaciones industriales pequeñas y medianas.

Para toda instalación comprendida en a, b y c, se debe considerar necesariamente el efecto del factor de potencia, investigándolo o calculándolo, a fin de prever un factor de potencia según las siguientes exigencias:

*- Los valores medios mensuales del **factor de potencia deberán ser como mínimo 0.90.***

Sin embargo DELAPAZ, a través del ente "Autoridad de Electricidad" (A.E.) en Bolivia *tras un estudio tarifario del periodo noviembre 2015 - octubre 2019, se aprueba una metodología para penalizar por bajo factor de potencia a los consumidores de la categoría "Grandes Demandas", que se aplicará a partir del año 2017 [7]*. En la sección 3.2 se amplía más sobre los reglamentos que tiene DELAPAZ, para la clasificación de sus clientes .

3.1.2 Normativas Internacionales

Las normas que son de interés para el presente proyecto se detallan en el lenguaje original en el que has sido elaboradas: [4]

- **IEC 61921: "Power Capacitors- Low voltage power factor correction banks"**, es la norma internacional aplicable para equipos de Corrección de Factor de Potencia de Baja Tensión y Equipos de Corrección de Factor de Potencia Automática (APFC, por sus siglas en inglés) destinados a la corrección del factor de potencia, equipados con interruptores integrados y dispositivos de control. Las pautas para el diseño, instalación, operación y seguridad de los paneles APFC se siguen en base a esta norma internacional.
- **IEC 60831: "Part 1 & 2-Shunt power capacitors of the self healing type for a.c systems having rated voltage up to and including 1kV."** Es la norma aplicable para condensadores de potencia del tipo autoregenerante para sistemas de baja tensión.
- **IEC 61439-1: "Low voltage switchgear and control gear assemblies"**. Requisitos particulares para equipos de conmutación de baja tensión y conjuntos de engranajes de control destinados a ser instalados en lugares donde personas no cualificadas tienen acceso para su uso: tableros de distribución.
- **IEC 60947: "Low Voltage Switchgear Part 2: Molded Case Circuit Breakers & Air circuit Breakers"**, Norma internacional referida a los interruptores termomagnéticos de uso industrial
- **"Part 4: Power Contactors Part 4-3: Thyristor Switch"**, referida a los contactores de potencia
- **IEC 60076-6: "Reactors"**, Conceptos y aplicación de los reactores
- **IEC 60529: "Degree of protection provided by enclosure (IP code)"**, Normativa sobre las protecciones contra polvo y agua de un gabinete eléctrico
- **IEC 60664-1 / IEC 61326: "Power Factor Controller"**, Características que deben tener los controladores del factor de potencia.

- **IEC 62208: Empty enclosures for low-voltage switchgear**, Gabinetes para aparatos en baja tensión.
- **IEC EN 61642 Redes industriales de corriente alterna afectadas por armónicos** - Aplicación de filtros y de condensadores estáticos de corrección identifica los problemas y proporciona recomendaciones para la aplicación general de los condensadores y los filtros de armónicos en las redes de energía de corriente alterna afectadas por la presencia de tensiones y de corrientes armónicas.

3.2 Penalización por Bajo Factor de Potencia

La empresa distribuidora de energía eléctrica DELAPAZ a partir del enero de 2017 decide penalizar a todas aquellos consumidores que se encuentren en la categoría de gran demanda cuyo Factor de Potencia se encuentre por debajo de 0.85.

Como referencia a nivel Nacional empresas distribuidoras como la CRE (Cooperativa Rural de Electrificación R.L.) en Santa Cruz y SEPSA (Servicios Eléctricos Potosí S.A.) en Potosí, penalizan a sus clientes acorde a su categorización, por un factor de potencia menor a 0.9.

3.2.1 Clasificación de clientes según su actividad

DELAPAZ de acuerdo a la Norma para la Aplicación de Tarifas de Distribución (NATD), la clasificación de un consumidor en una determinada tarifa debe ser realizada de la siguiente manera:

Clasificar al consumidor según la actividad que realiza:

- **RESIDENCIAL.**- Corresponde a los servicios eléctricos destinados a viviendas.
- **INDUSTRIAL.**- Industrias manufactureras que transforman física y químicamente materiales y componentes en productos nuevos, ya sea que el trabajo se efectúe con máquinas o a mano, en la fábrica o domicilio.
- **GENERAL.**- Todos los servicios que no sean residenciales ni industriales.
- **ALUMBRADO PÚBLICO.**- Para consumos destinados a la iluminación y señalización pública en calles, avenidas, plazas parques y donde el acceso al público sea libre y general.

3.2.2 Clasificar al consumidor en una de las siguientes categorías de demandas:

•**Categorías Pequeñas demandas (PD).**- En esta categoría se clasifican a aquellos consumidores conectados en BT o MT, cuya Potencia Máxima es \leq a 10 kW.

•**Categorías medianas demandas (MD).**- En esta categoría se clasifican a aquellos consumidores conectados en BT o MT, cuya Potencia Máxima es $>$ a 10 kW y \leq a 50 kW.

•**Categorías grandes demandas (GD).**- En esta categoría se clasifican a aquellos consumidores conectados en BT, MT o AT, cuya Potencia Máxima es $>$ a 50 kW.

3.2.3 Clasificar al consumidor en uno de los siguientes niveles de tensión:

- **Alta Tensión (AT).**- Consumidor conectado directamente con acometida a la red de AT (69 kV o 115 kV).
- **Media Tensión (MT).**- Consumidor conectado directamente con acometida a la red de MT (6,9 kV o 12 kV).
- **Baja Tensión (BT).**- Consumidor conectado directamente con acometida a la red de BT (115, 230 o 400 V).

3.2.4 Metodología económica para la penalización por un bajo Factor de Potencia

Esta penalización se aplicará a los consumidores que registren en su carga un factor de potencia promedio mensual (fp) inferior al factor de potencia referencial (fpr), definido como 0.85 inductivo. La penalización consistirá en un recargo porcentual de 0.4% por cada centésimo de apartamiento respecto al factor de potencia referencial sobre el importe de la factura por consumo, es decir:

$$\text{Recargo} = (fpr - fp) * 100 * 0.4\% \quad (3.1)$$

3.3 Empresa COFITEX LTDA.

Es una empresa Boliviana del sector de preparación e hilado de fibras textiles, con número de identificación tributaria NIT 01008661024.

La planta industrial se encuentra ubicada en el departamento de La Paz, ciudad La Paz, Zona Achachicala, Av. Chacaltaya Nro. 2103

Acorde a lo indicado por DELAPAZ en la sección 3.1 de este capítulo se tiene catalogado a la planta industrial de COFITEX como:

Consumidor Industrial de Gran demanda, conectado en Media Tensión.

Es decir que el consumidor tiene una demanda mayor a los 50 kW y además cuenta con un propio puesto de transformación (al que por cuestiones de seguridad personal solo tiene acceso DELAPAZ) es por ello que su conexión es a la red de Media Tensión (12 kV)

La producción en la planta industrial es de cinco días a la semana, de lunes a Viernes en horarios de 8:00 - 12:30 y 14:00 - 18:00 horas.

Es necesario indicar que la planta no cuenta con los planos eléctricos ni tiene el detalle de las cargas eléctricas, y menos las modificaciones que se han realizado a lo largo de sus años de funcionamiento.

3.3.1 Factor de potencia actual.

COFITEX LTDA. ha sido notificada con un factor de potencia promedio de 0.65. (valor indicado como promedio de sus últimos 6 meses de consumo de energía eléctrica)

Para ello la empresa DELAPAZ indica que para evitar la penalización económica debe mejorar su Factor de Potencia de manera local y por lo menos alcanzar el valor de 0.85 y así estar libre de penalizaciones.

3.3.2 Penalización económica

En la siguiente imagen se tiene el detalle de la facturación en lo que se refiere a los montos y el valor del factor de potencia promedio acorde a ese mes, en el ANEXO E puede apreciarse la imagen de la factura completa

DETALLE DE FACTURACIÓN		
Importe por Energía	Bs	485.80
Importe por Energía - Bloque Alto	Bs	56.13
Importe por Energía - Bloque Medio	Bs	5,053.79
Importe por Energía - Bloque Bajo	Bs	42.04
Importe por Potencia	Bs	1,475.08
Importe por Exceso de Potencia Fuera de Punta	Bs	2,362.78
Importe por Consumo	Bs	9,475.62
Importe por bajo factor de potencia	Bs	871.75
Importe Total por Consumo	Bs	10,347.37
Mas Intereses por Mora	Bs	57.79
Importe Total por el Suministro	Bs	10,405.16
Tasas para el Gobierno Municipal		
Por Alumbrado Publico	Bs	905.94
Por Aseo Urbano	Bs	612.00
Importe Total Factura	Bs	11,923.10

SON: ONCE MIL NOVECIENTOS VEINTITRES, CON 10/100. Bolivianos

Figura 3.1 Detalle de facturación (sección de la factura)

Fuente: Delapaz - Cofitex Ltda.

Teniendo como datos los valores que se extraen de la factura como ser:

- Importe por consumo: 9475.62 Bs
- factor de potencia promedio mensual: 0.62
- factor de potencia referencial: 0.85

Aplicando la ecuación (3.1)

$$\text{Recargo} = (fpr - fp) * 100 * 0.4\%$$

Reemplazando valores:

$$\text{Recargo} = (0.85 - 0.62) * 100 * 0.4\%$$

$$\text{Recargo} = 9.2\%$$

Aplicando este porcentaje al importe por consumo:

$$\text{Importe por bajo F. P.} = 9475.62 * (9.2/100) \text{ Bs.}$$

$$\text{Importe por bajo F. P.} = 871.75 \text{ Bs.}$$

Este es el monto que la empresa debe pagar como penalización por tener un bajo factor de potencia, pero es necesario indicar que el monto varía en función a la energía activa y la energía

reactiva consumida en un periodo de tiempo. Las mediciones que realiza la empresa distribuidora generalmente son cada 28 o 33 días, el mismo se indica también en la factura.

3.3.3 Banco de Capacitores.

La planta industrial ya cuenta con un banco de capacitores, según lo indicado por el Gerente de la planta este es de 200 kVAr, y se extraña que tengan un bajo Factor si el Banco tiene como tiempo estimado un par de años, el mismo fue instalado por una empresa de servicios que realizó la instalación eléctrica de la planta industrial años antes.

En la Figura 3.2 se muestra el Banco de Capacitores que se encuentra instalado en su tablero de distribución general, y en la figura 3.3 se muestra el detalle del Banco de Capacitores.

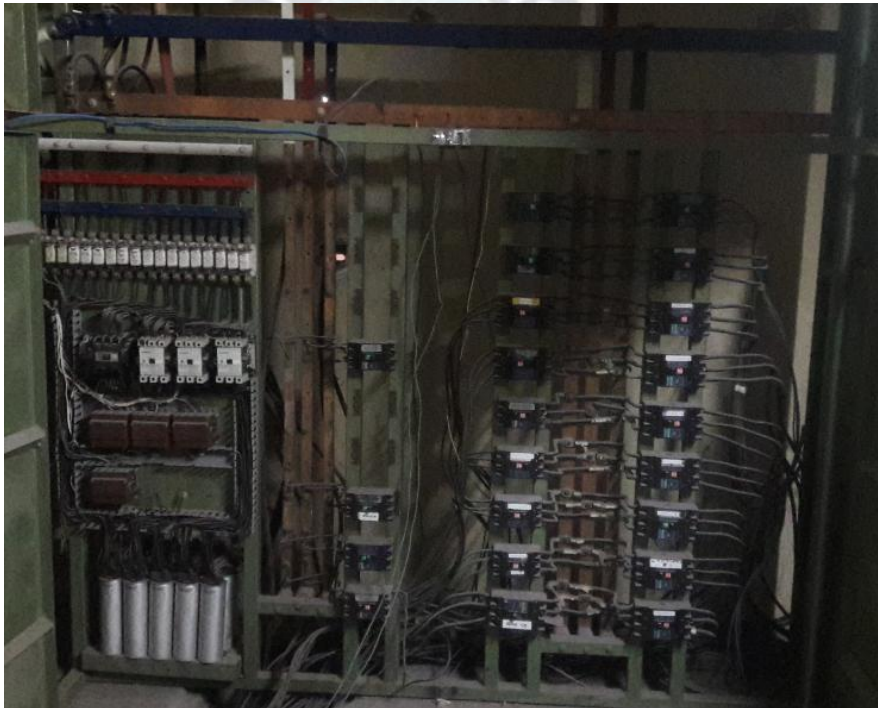


Figura 3.2 general de distribución eléctrico

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 3.3 Banco de capacitores instalado con anterioridad

Fuente: Elaboración Propia.

Tras una primera inspección puede observarse que:

- El Banco de Capacitores es Fijo.
- La potencia total del Banco es de 200 kVAr, pero a una tensión nominal de 400 V.
- Se encuentra fuera de línea, es decir que el mismo esta desconectado ya que sus contactores están en mal estado.
- Se han utilizado contactores inadecuados para la implementación del mismo.
- Se utiliza un contactor por conjunto de capacitores.
- No lleva interruptor de protección principal.

- Es una potencia reactiva relativamente alta para conectarse directamente a la red eléctrica sin un elemento de control en las condiciones actuales en las que se encuentra

3.3.4 Solicitud de reacondicionamiento del Banco de Capacitores.

Debido a la inversión económica que se realizó en una primera instancia, con Banco de Capacitores (Figura 3.3) por parte de la gerencia de COFITEX, la inversión en un Banco nuevo resultaría en un desbalance de su presupuesto anual, pues esta inversión no la habían planificado hasta la notificación recibida, es por ello que solicitan la readecuación del mismo Banco de Capacitores.

Se indica a la Gerencia que por responsabilidad profesional, debe hacerse un estudio para el dimensionamiento de la potencia reactiva necesaria para la compensación, puesto que no se tiene la certeza de que la potencia reactiva actual del banco sea la necesaria para la compensación, además que por lo visto en una primera instancia, un banco fijo de esa capacidad no es la estrategia de compensación más adecuada, teniendo en cuenta que la planta cuenta con muchos motores de diferentes potencias que hacen funcionar sus máquinas, y que no funcionan simultáneamente durante toda la jornada de trabajo en la planta.

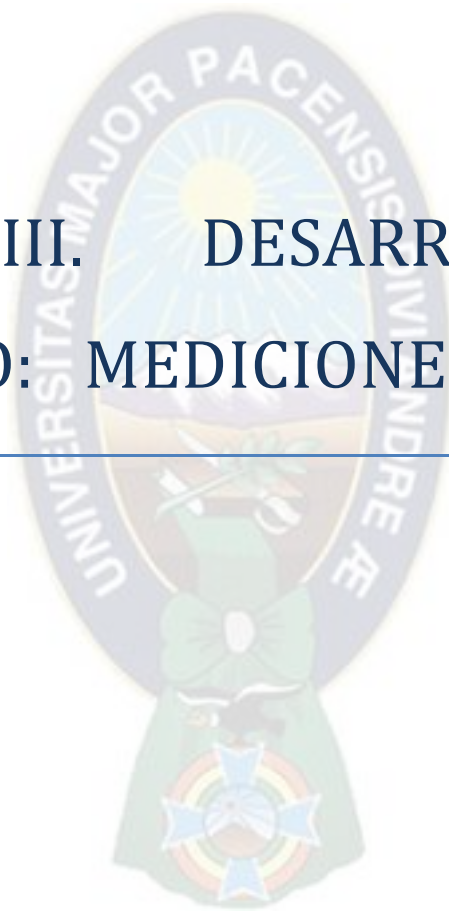
Sin embargo, por los puntos indicados anteriormente en la sección 3.2.3, se ve que es necesario el uso de elementos adecuados para que el banco funcione óptimamente, de todos modos se pretenden revisar el estado de los capacitores para determinar si estos pueden utilizarse más adelante, pues visualmente no presentan defectos como ser hinchazón o algún defecto como sobrecalentamiento o cortocircuitos en sus bornes de conexión.

3.3.5 Sistema de Distribución Eléctrica

La planta industrial de COFITEX cuenta con un puesto de transformación propio, debido a que la potencia activa que demandan es mayor a 50 kW. Por cuestiones de seguridad no es posible el ingreso al recinto, las principales razones son: la empresa distribuidora es la única que tiene acceso por motivos de seguridad personal y para evitar que el usuario realice conexiones ilícitas en el transformador de distribución.

Tras una primera inspección se puede determinar, que el sistema de distribución eléctrica es Trifásico 380V, conectado en estrella.

PARTE III. DESARROLLO DEL
PROYECTO: MEDICIONES Y DISEÑO



Capítulo 4. Medición de los parámetros Eléctricos.

Para conseguir eficiencia energética en una planta industrial o cualquier otra instalación eléctrica, siempre es necesario conocer los parámetros eléctricos actuales, en función a los valores obtenidos, podremos saber que valores se deben mejorar y posteriormente determinar de manera adecuada las características de la solución, referidas al dimensionamiento y a la tecnología de los elementos que componen la solución.

Para el dimensionamiento adecuado de un Banco de Capacitores, es necesario poder determinar cuáles serán las condiciones de trabajo, las cuales dependen de la dinámica del consumo eléctrico.

En el desarrollo de este capítulo, se verá que el valor del factor de potencia varía durante una jornada de trabajo, pues no todas las máquinas funcionan simultáneamente.

4.1 Equipos para la medición de parámetros eléctricos.

Para el dimensionamiento del Banco de Capacitores es necesario saber que valores va tomando el factor de potencia con el transcurso del tiempo, puesto que la empresa distribuidora sólo brinda un valor promedio del Factor de Potencia.

La medición de los parámetros eléctricos actualmente se realiza con "Analizadores de redes Eléctricas" portátiles, equipos que miden y registran parámetros eléctricos como ser voltajes de línea y fase, corrientes, potencias (trifásicas o monofásicas) activa, reactiva y aparente; factor de potencia, armónicos, etc.

Existen varias marcas reconocidas en el mercado como ser: **Fluke, Circutor, Dranetz, Kyoritsu, Omicron, Chauvin Arnoux, Keysigth, Anritsu, Rhode Schwarz**, etc. y el precio de un analizador

oscila por los 15000 dólares es por esta razón que empresas de servicios que cuentan con estos equipos alcanzan a cobrar de 500 a 1000 dólares por un estudio de calidad de energía eléctrica, estudio que generalmente dura de 2 a 5 días, pero esto mucho depende de la producción de la planta.

Actualmente ante esta situación se han diseñado varios medidores del tipo analizador de redes, para panel, los mismos se instalan de manera fija en el tablero de distribución eléctrica, y su precio dependiendo de la marca está por debajo de los 1000 dólares, esto es más ventajoso, teniendo en cuenta que se puede tener una lectura de los parámetros eléctricos en la planta industrial cuando el usuario lo requiera y así tener monitoreado todo el sistema eléctrico, dependiendo de las características de los medidores alguno cuentan con una memoria interna para almacenar datos y así dejar de lado los apuntes que van tomando los encargados de mantenimiento con el fin de tener un registro. Actualmente estos medidores también cuentan con mayores opciones de comunicación como ser Modbus y Ethernet

Para el presente proyecto se ha propuesto instalar en el tablero de distribución general un medidor del tipo analizador de redes para panel, cuya propuesta ha sido aceptada e instalada.

El medidor para panel es de la marca SCHNEIDER ELECTRIC

4.2 Características Principales del medidor para panel tipo "Analizador de Redes"

Las centrales de medida PowerLogic PM5500 aportan valor a las exigentes necesidades de sus aplicaciones de supervisión de energía y gestión de costes.

La central de medida PM5500 satisface las normas de precisión de la Clase 0.2S y aporta un alto grado de calidad, fiabilidad y asequibilidad en un formato compacto y de fácil instalación.

4.2.1 Equipo físico

- Una cuarta entrada de intensidad para medir intensidades de neutro de manera directa y precisa y evitar la sobrecarga del dispositivo y cortes en las redes.
- Dos salidas digitales para aplicaciones de control y generación de impulsos de energía.
- Cuatro entradas digitales capaces de medir entradas en aplicaciones de supervisión de costos.

- Indicador LED que puede utilizarse para aplicaciones de generación de impulsos de energía.

4.2.2 Pantalla e interfaz de usuario

- Páginas web incorporadas para mostrar datos en tiempo real y datos registrados a través de un navegador web.
- Disponible en múltiples idiomas: La pantalla retroiluminada y antirreflejo puede conmutarse para mostrar la información de la central de medida en uno de los idiomas soportados (para modelos con pantalla de visualización).
- Pantalla gráfica de armónicos y diagramas fasoriales (disponible en los modelos con una pantalla integrada o remota opcional).
- Códigos QR con datos integrados para visualizar la información del medidor

4.2.3 Alarmas

- Numerosas opciones de alarma, incluidas alarmas lógicas y personalizadas.
- La capacidad de enviar correos electrónicos con información de alarmas.

4.2.4 Mediciones y registros

- Medición de energía precisa de 4 cuadrantes y Clase 0.2S.
- Demanda presente, última, pronosticada y punta (máxima) mediante varios métodos de cálculo de demanda.
- Mediciones de alta precisión de un segundo.
- Registro de datos incorporado para hasta 14 parámetros seleccionables.
- Mediciones, registros e informes en tiempo real de la distorsión armónica completa hasta el armónico de orden 63 para todas las entradas de tensión e intensidad.
- Registro de cada nuevo valor mínimo y máximo junto con sello de fecha y hora.

En la figura 4.1 puede apreciarse el medidor que se instalara para la determinación de los parámetros eléctricos.



Figura 4.1 Medidor para panel "analizador de redes"

Fuente: manual de usuario [25]

La instalación del medidor se da en dos etapas:

- La instalación mecánica: referida al montaje del medidor en la tapa del panel eléctrico
- La instalación eléctrica: referida a las conexiones necesarias al sistema eléctrico para la medición de los parámetros eléctricos

4.3 Instalación Eléctrica.

Para la correcta instalación del medidor es necesario identificar el sistema eléctrico que se tiene en la planta industrial:

Previa inspección se determinan que:

- Sistema eléctrico: Trifásico
- Conexión: Estrella
- Hilos: 4 (las tres fases y neutro)
- Voltaje de línea: 380 V

En la sección 2.9 del capítulo 2 se tiene la información sobre los sistemas trifásicos conectados en estrella.

Acorde al manual de instalación según a las características indicadas, el medidor se instala bajo el siguiente esquema.

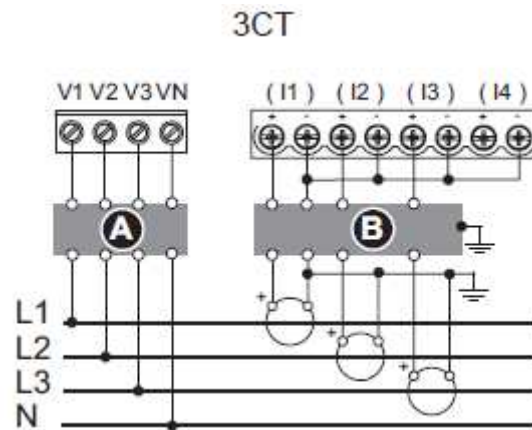


Figura 4.2 Esquema de conexión eléctrica del medidor

Fuente: manual de usuario [26]

Donde:

A: Fusibles de 500 mA e interruptor de desconexión

B: Bloque de cortocircuito

Una vez instalado el medidor mecánica y eléctricamente, se procederá con la configuración del mismo, este paso es importante pues de configurarse inadecuadamente los valores medidos pueden ser erróneos. Con la configuración podremos asignar el idioma, la hora y fecha y los parámetros referentes a la medición. En el ANEXO C se tienen los pasos importantes para la configuración del mismo o directamente se puede revisar los manuales de Usuario del medidor, referencias [25] y [26],

En la Figura 4.3 puede verse el medidor ya instalado en el panel del tablero general de distribución

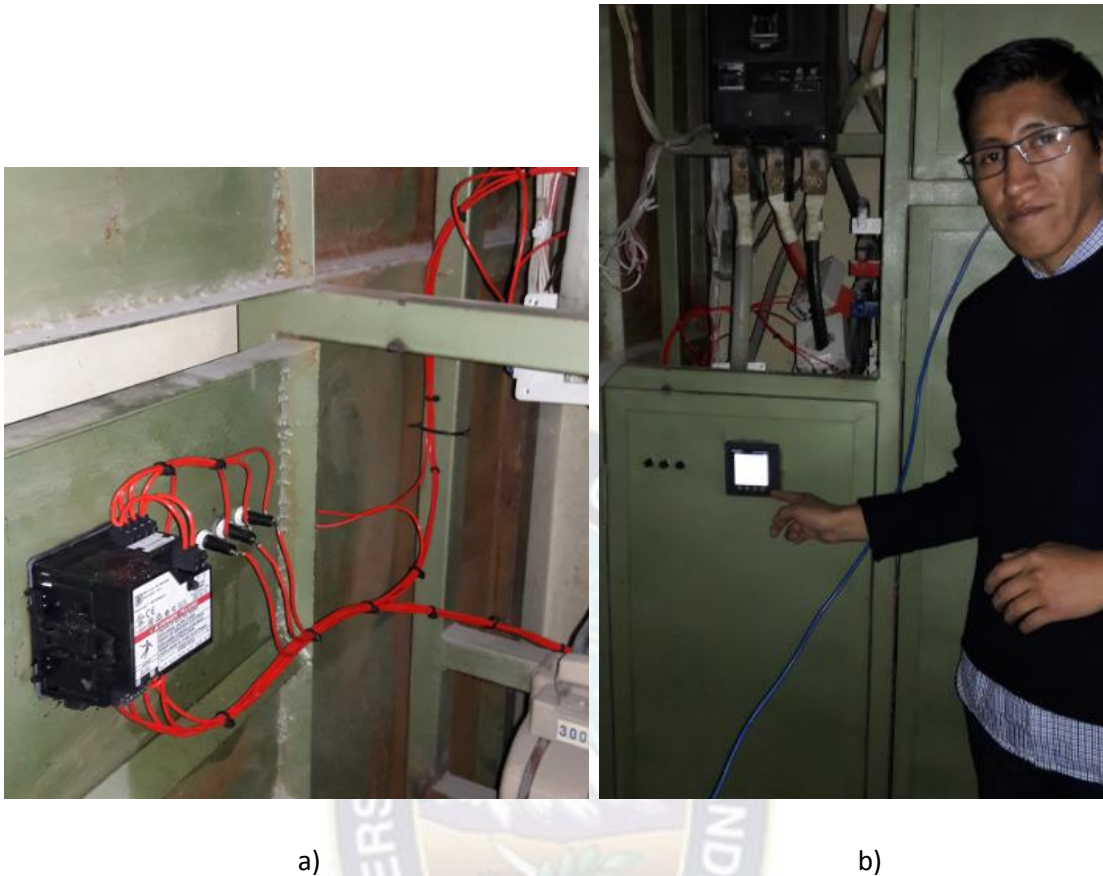


Figura 4.3 a) cableado de medidor b) mostrando el medidor: activo y funcionando

Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Configuración del medidor.

Para que la el medidor pueda medir los parámetros eléctricos de manera correcta es necesario configurarlo acorde al sistema eléctrico de la Planta industrial.

Para ello en esta sección se presenta el procedimiento que se utilizó y cuáles fueron los parámetros asignados para configurar el medidor

4.4.1 Navegación por el medidor

Los botones y la pantalla de la central de medida le permiten desplazarse por las pantallas de datos y ajustes y configurar los parámetros de configuración de la central. en la siguiente figura se presenta la función que cumplen los botones con los que cuenta el medidor, acorde al contexto del menú en el que se encuentre.

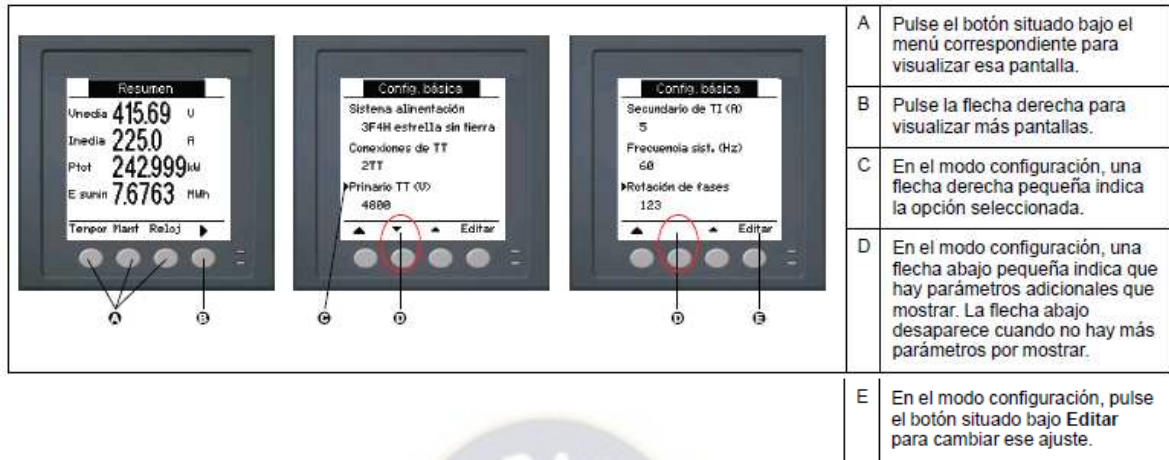


Figura 4.4 Funciones de los botones del medidor

Fuente: manual de usuario [25]

4.4.2 Símbolos de Navegación.

Los símbolos de navegación indican las funciones de los botones correspondientes de la pantalla de la central de medida.

Símbolo	Descripción	Acciones
▶	Flecha derecha	Desplaza la pantalla hacia la derecha y muestra más elementos de menú, o desplaza el cursor un carácter hacia la derecha.
▲	Flecha arriba	Sale de la pantalla y sube un nivel.
▼	Flecha abajo pequeña	Desplaza el cursor hacia abajo por la lista de opciones o muestra más elementos de menú en la parte inferior.
▲	Flecha arriba pequeña	Desplaza el cursor hacia arriba por la lista de elementos o muestra más elementos de menú en la parte superior.
◀	Flecha izquierda	Desplaza el cursor un carácter hacia la izquierda.
+	Signo más	Aumenta el valor resaltado o muestra el siguiente elemento de la lista.
-	Signo menos	Muestra el elemento anterior de la lista.

Tabla 4.1 Descripción de las funciones de navegación

Fuente: manual de usuario [25]

Al llegar a la última pantalla, vuelva a pulsar la flecha derecha para recorrer los menús de pantalla.

4.4.3 Árbol de menús

Utilice el árbol del menú para ir al ajuste que desea ver o configurar. La siguiente figura resume las pantallas de la central de medida disponibles (los menús IEEE mostrados con los menús IEC correspondientes entre paréntesis).

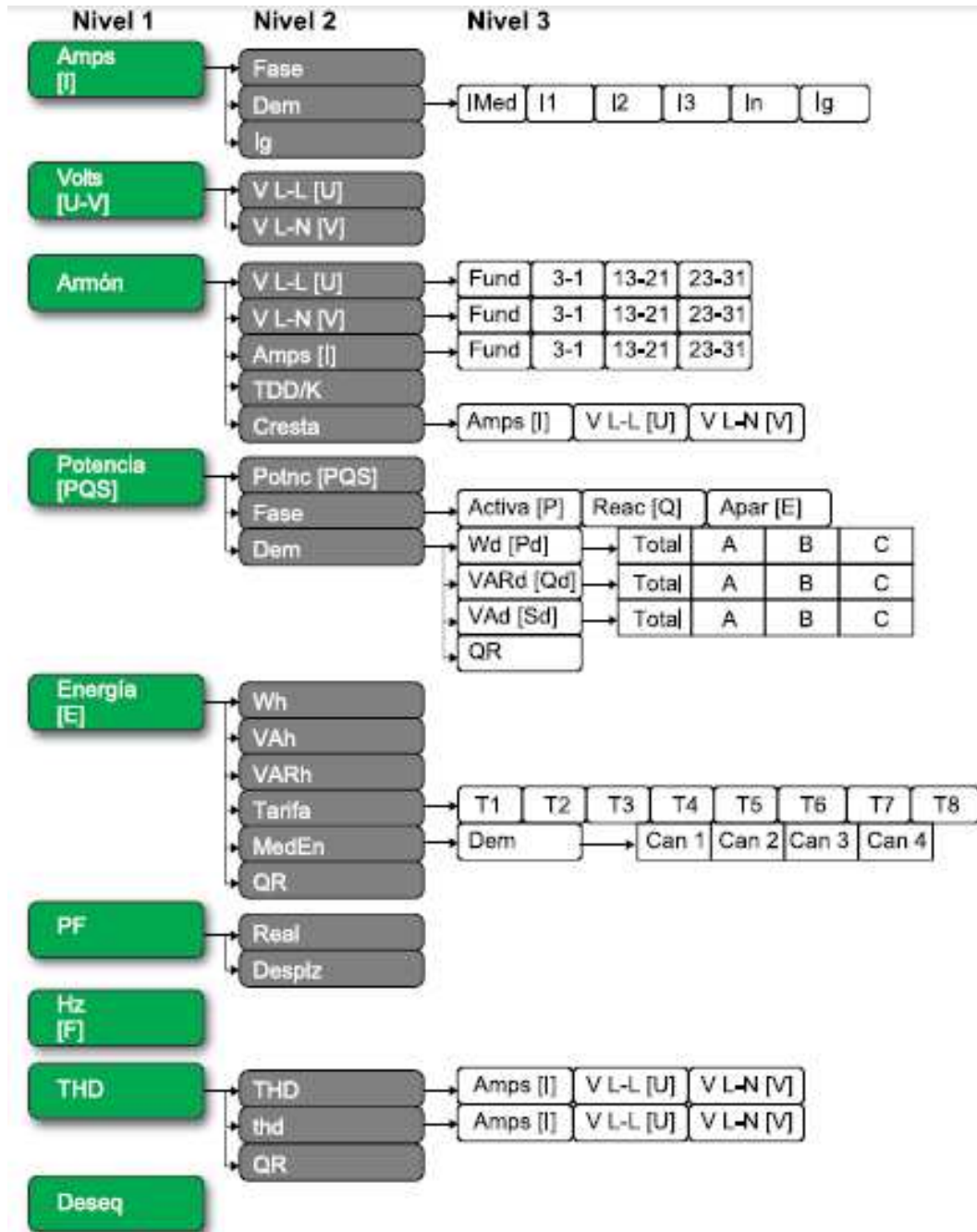


Figura 4.5 Árbol de menús medidor

Fuente: Manual de Usuario [25]

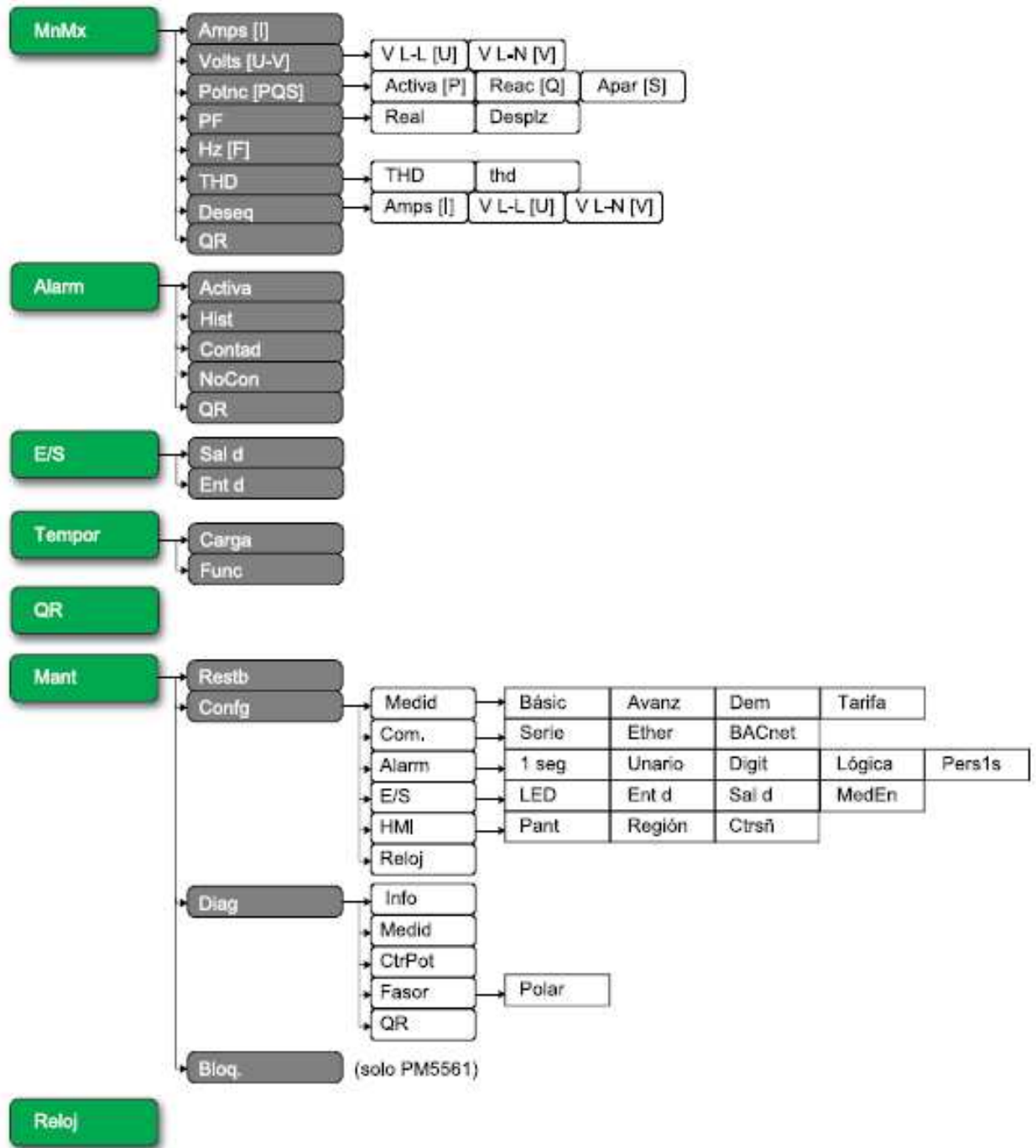


Figura 4.6 Continuación: árbol de menús medidor

Fuente: Manual de Usuario [25]

4.4.4 Configuración Básica

Realizar un ajuste adecuado de los parámetros de configuración básica de la central de medida es esencial para obtener mediciones y cálculos precisos. La pantalla de configuración básica sirve para definir el sistema de alimentación eléctrica que va a supervisar la central de medida.

1. Vaya a **Maint > Setup**.
2. Escriba la contraseña de configuración (la contraseña predeterminada es "0") y, a continuación, pulse **OK**.
3. Vaya a **Meter > Basic**.
4. Desplace el cursor de modo que quede señalado el parámetro que desea modificar y, a continuación, pulse **Editar**.
5. Modifique el parámetro según convenga y, a continuación, pulse **OK**.
6. Desplace el cursor de modo que quede señalado el siguiente parámetro que desea modificar, pulse **Editar**, haga cambios y, a continuación, pulse **OK**.
7. Pulse **Yes** para guardar los cambios.

Todas las opciones disponibles para cada parámetro configurable se encuentran en el manual del medidor.

A continuación se presentan los parámetros asignados para la medición del sistema eléctrico de la planta industrial COFITEX.

Sistema alimentación

Seleccione el tipo de sistema de alimentación (transformador de alimentación) al que se encuentra cableada la central de medida.

CONFIGURADO EN: 3F4H estrella con tierra ; En estrella trifásico de 4 hilos con toma de tierra

TI en terminal

Defina cuántos transformadores de intensidad (TI) se conectan a la central de medida y a qué terminales se conectan.

CONFIGURADO EN: I1 I2 I3 3 TI conectados a los terminales I1, I2 e I3

Primario de TI (A)

CONFIGURADO EN: 300 ; Valor de la capacidad primaria del transformador de Corriente instalado

Secundario de TI (A)

CONFIGURADO EN: 5 ; Valor de la capacidad secundaria del transformador de Corriente instalado

Frecuencia del sistema. (Hz)

CONFIGURADO EN: 50; frecuencia del sistema de alimentación eléctrica en hercios.

Rotación de fases

CONFIGURADO EN: : ABC, rotación de fases del sistema trifásico.

4.5 Mediciones.

Una vez configurado el medidor se tiene la certeza de que los parámetros medidos sean correctos, como se indica en la sección 4.2 de este capítulo, se ve que este medidor incluye muchas funciones, además de tener grandes prestaciones. en la sección siguiente se detalla los valores que se pueden medir con el equipo.

4.5.1 Mediciones instantáneas

La central de medida proporciona mediciones de 1 segundo muy precisas.

Estas mediciones incluyen el RMS (Valor eficaz) real, por fase y total de:

- Tensión trifásica (fase a fase y fase a neutro)
- Intensidad trifásica, intensidad de neutro e intensidad a tierra
- Potencia activa (kW), reactiva (kVAR) y aparente (kVA)
- FP (factor de potencia) real
- FP de desplazamiento
- Frecuencia del sistema
- Desequilibrio de tensión (fase a fase y fase a neutro) e intensidad

Las entradas de tensión e intensidad se supervisan de manera continua a una velocidad de muestreo de 128 puntos por ciclo. Esta capacidad de resolución permite a la central de medida proporcionar mediciones y valores eléctricos calculados con fiabilidad para diversas aplicaciones comerciales, industriales y de edificios.

4.5.1.1 *FP real y FP de desplazamiento*

La central de medida es compatible con valores de factor de potencia real y factor de potencia de desplazamiento:

- El factor de potencia real incluye el contenido armónico.
- El factor de potencia de desplazamiento únicamente tiene en cuenta la frecuencia fundamental.

4.6 Registro de Parámetros Eléctricos.

El registro de los parámetros eléctricos se realizó manualmente pues el modelo del medidor PM5100 instalado no cuenta con una memoria de registro, los modelos 5560 sí pero por cuestión de presupuesto se decidió por la opción indicada.

Es importante resaltar que tras un periodo de prueba y mediciones se ha visto que la variación en el voltaje de línea es mínimo, es por ello que como dato de diseño para el siguiente capítulo se tomará el valor de 380 V.

Los parámetros registrados para interés de dimensionamiento son:

- Potencia Activa: P (kW)
- Factor de Potencia $\cos \varphi$: Adimensional
- Distorsión Armónica en Voltaje y Corriente (THDv y THDi): %

Las mediciones se han tomado durante tres días en los horarios indicados en la sección 3.2 del Capítulo 3. (Aprox. 11 horas de consumo por día)

En la tabla 4.1 se presenta la tabla obtenida del primer día de mediciones, acompañando a la misma, la gráfica de la potencia demandada y la variación del factor de potencia en función del tiempo.

La tabla de la medición y las graficas de los tres días puede verse a detalle en el **ANEXO D**

	HORA	POTENCIA (W)	COS φ	THDi (%)	THDv (%)
Día 1	08:00:00	32,48	0,86	0,08	0,01
	08:30:00	68,74	0,62	1,82	0,31
	09:00:00	65,36	0,56	1,80	0,30
	09:30:00	65,81	0,57	1,81	0,31
	10:00:00	65,32	0,56	1,83	0,33
	10:30:00	66,35	0,57	1,76	0,35
	11:00:00	66,33	0,56	1,84	0,40
	11:30:00	67,62	0,56	1,84	0,40
	12:00:00	56,41	0,61	1,85	0,40
	12:30:00	53,15	0,54	1,23	0,41
	13:00:00	23,31	0,64	1,19	0,41
	13:30:00	25,72	0,77	2,14	0,74
	14:00:00	42,54	0,76	4,31	1,34
	14:30:00	66,46	0,61	4,22	1,30
	15:00:00	101,62	0,64	2,36	0,85
	15:30:00	98,25	0,63	2,64	0,84
	16:00:00	97,57	0,62	2,87	0,85
	16:30:00	82,38	0,72	3,36	1,19
	17:00:00	74,32	0,73	3,39	1,18
	17:30:00	61,58	0,69	4,42	1,29
18:00:00	43,36	0,67	4,50	1,31	
18:30:00	42,24	0,66	0,60	0,16	
19:00:00	0,84	0,92	0,07	0,01	

Tabla 4.2 Mediciones de la potencia demandada factor de potencia y THD

Fuente: Elaboración Propia.

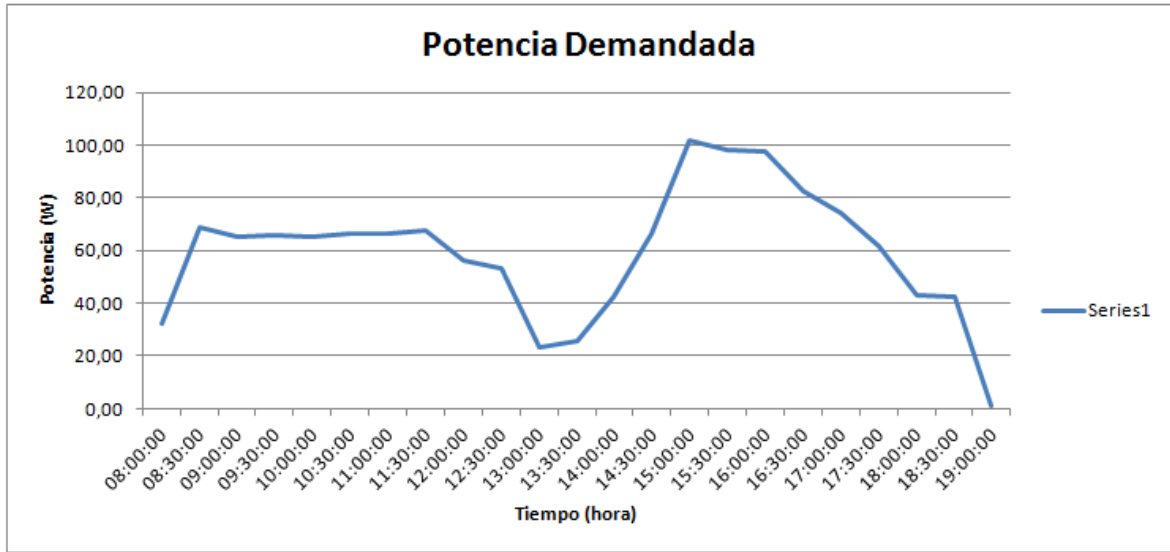


Figura 4.7 Potencias demandadas en un día de trabajo

Fuente: Elaboración Propia.

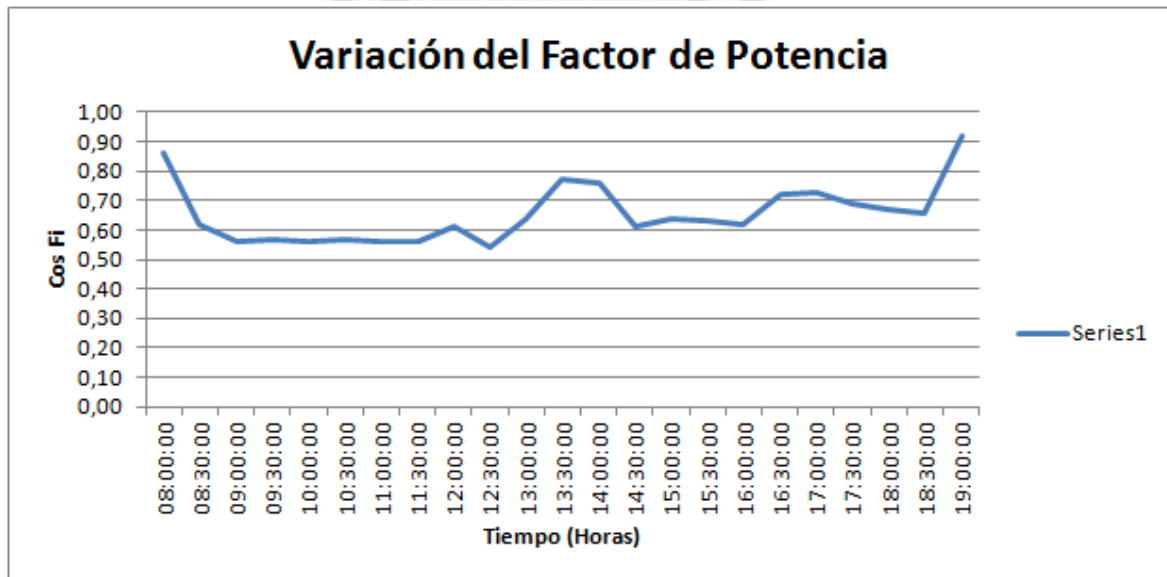


Figura 4.8 Factores de potencia en un día de trabajo

Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo 5. Análisis y Dimensionamiento

En este capítulo se realiza el análisis de los valores obtenidos tras la medición (Capítulo 4), ya que el comportamiento y la tendencia que muestran esos valores podrán aclarar el panorama y dará una idea clara de la dinámica del consumo eléctrico, de ésta manera se podrá dimensionar de mejor manera, la potencia reactiva que requiere la planta industrial para alcanzar el $\cos\phi$ objetivo o superar este valor, con el fin de evitar la penalización económica por parte de la empresa distribuidora DELAPAZ y tener un margen de seguridad en caso de demandar mayor potencia por la instalación de nuevas máquinas a los procesos.

5.1 Análisis.

De toda la información obtenida con referencia a:

- La Potencia total instalada de la planta
- Máxima Demanda de Potencia³
- El histórico de consumo eléctrico (Energía en kWh)
- Las Mediciones realizadas (Potencias y Factor de Potencia)
- Distorsión armónica total en corriente y voltaje (THDi, THDv)

Se pueden concluir los siguientes valores de relevancia para el diseño.

En la planta se tiene instalada una potencia total aproximada de 200 kW, la cual estaría compuesta por dos líneas de producción, la línea mayor que es la que actualmente está funcionando y otra más pequeña, sin embargo la última está fuera de servicio desde ya un par de años atrás, esto

³ Es la máxima demanda de Potencia ocurrida en un periodo y sostenida durante quince minutos de manera ininterrumpida.[7]

debido a que el sector textil ha sufrido una caída en el mercado interno y gerencia decidió sacar de funcionamiento esa línea para evitar un consumo innecesario de energía eléctrica, según lo consultado no se tiene la proyección de habilitar esta línea por lo menos en unos cinco años, de todos modos todo dependerá de la situación económica de este sector y de las estrategias que tenga la empresa COFITEX para establecerse en el mercado.

Máxima demanda de Potencia: 105 kW (Potencia más elevada encontrada en una de las facturas pasadas)

Del histórico de consumo eléctrico en la planta que vienen en las facturas podemos observar que existen variaciones y que el consumo y la demanda no son similares mes a mes (en el Anexo E, se aprecia una factura completa), tras una entrevista con el gerente y el encargado de mantenimiento se indica que esto puede ser debido a la oferta y demanda que tiene la empresa respecto a la cantidad material textil que producen.

Observando las graficas que generan las mediciones, tanto en Potencia Demandada como en Factor de Potencia podemos indicar que:

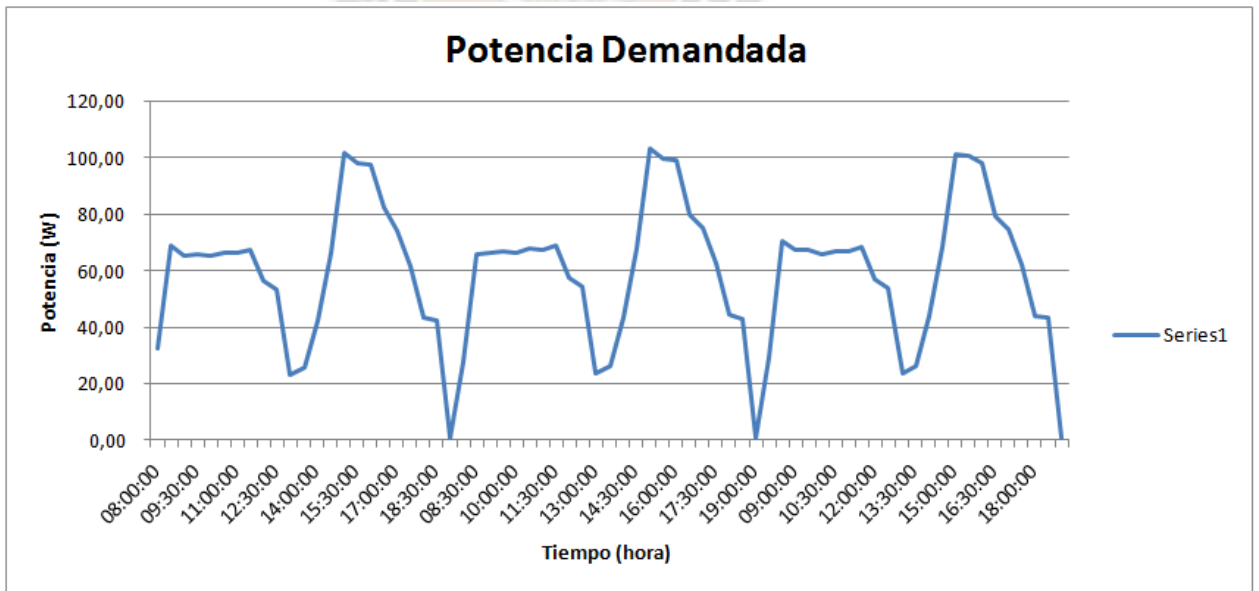


Figura 5.1 Potencia demandada en los tres días de medición

Fuente: Elaboración Propia.

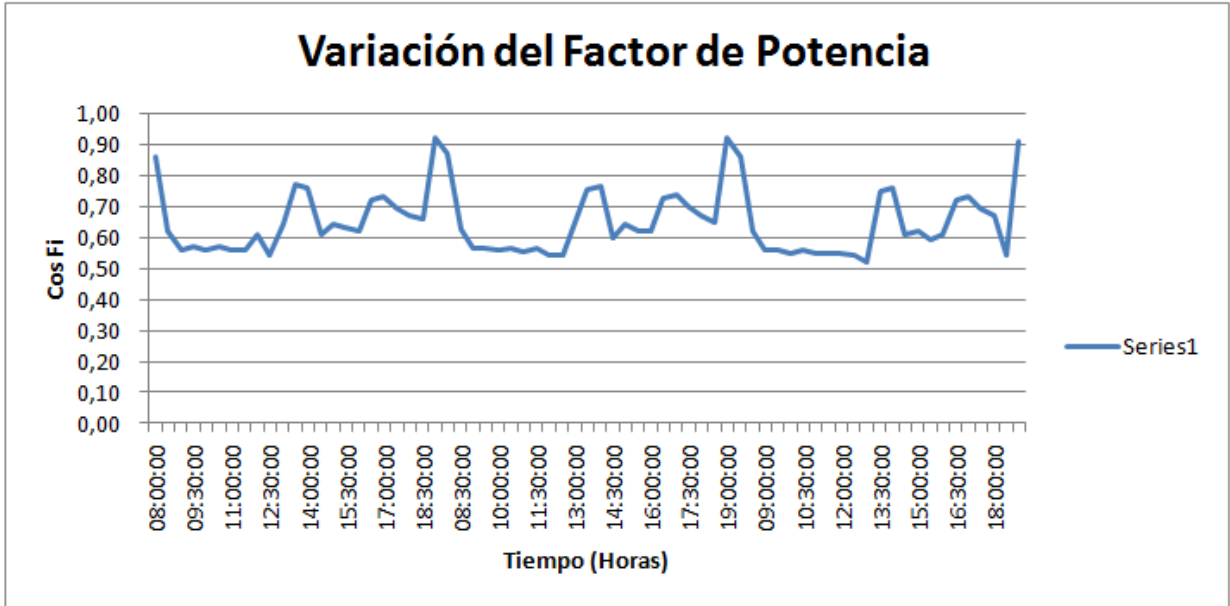


Figura 5.2 Variación del F.P. en los tres días de medición

Fuente: Elaboración Propia.

El comportamiento de la planta respecto a la demanda de potencia es la similar para cada día, es decir que los procesos llevados a cabo en la planta deben ser los mismos cada jornada de trabajo y en caso de aumentar la demanda de potencia (En el caso de 105 kW) es porque otras máquinas se han sumado al proceso de producción o la carga mecánica a aumentado en las máquinas.

El factor de Potencia medido durante los tres días presenta valores diferentes, como mínimo se tiene un valor de 0.52 y como máximo 0.93, pero estos valores por sí solos no son significativos para determinar la potencia reactiva necesaria para llegar a nuestro $\cos\phi$ objetivo (0.9 por ejemplo), sino que es necesario saber a qué potencia activa están ligados.

Por otra parte Gerencia no tiene proyección de implementar más maquinaria o habilitar la segunda línea de producción por ende trabajaríamos sólo con los datos proporcionados por las mediciones.

De la tabla de datos también se observa que la distorsión armónica total para la corriente y el voltaje no es considerable, siendo los valores más altos THDv de 4.5% y un THDi de 1.31% ligados a una potencia activa de 43 kW

Como se indica en la sección 2.8

Si $THD_i < 10\%$ y $THD_v < 5\%$, la tasa armónica es considerada aceptable y no es necesario tomar medidas; en caso contrario, se puede prever el uso de uno o más filtros para los armónicos de amplitud mayor con objeto de devolver los valores de las tasas de distorsión armónica a los límites aceptables.[3]

Por lo tanto para el dimensionamiento será solo necesario calcular la potencia reactiva necesaria considerando que se trabajan con ondas senoidales.

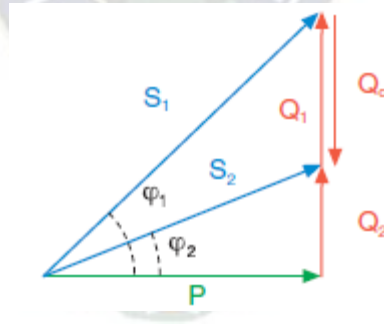
5.2 Dimensionamiento.

Para dimensionar adecuadamente la potencia reactiva total será necesario realizar el cálculo de la cantidad de la potencia reactiva requerida para cada valor medido, es decir para cada caso. Una vez conocido el factor de potencia en cada horario registrado ($\cos\phi_1$) y el que se quiere obtener ($\cos\phi_2$), es posible determinar la potencia reactiva necesaria para alcanzar la corrección.

Primero deduciremos la cantidad de potencia reactiva capacitiva necesaria Q_c partiendo de las ecuaciones (2.11), (2.12) del capítulo 2 y con la ayuda de la figura 2.5 se obtiene (2.13)

$$(2.11): F.P. = \frac{P}{S}$$

$$(2.12): F.P. = \cos\phi$$



$$(2.13): Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot (tg\phi_1 - tg\phi_2)$$

de la relación de (12) se tiene: $\phi = \cos^{-1}(F.P.)$

Reemplazando para cada caso en (2.13):

$$Q_c = P \cdot \left[tg \left(\cos^{-1}(F.P._1) \right) - tg \left(\cos^{-1}(F.P._2) \right) \right] \quad (*)$$

Con la ecuación (*) deducida se podrá hallar la potencia reactiva necesaria en función de la potencia activa (P), el factor de potencia medido (F.P.1) y el factor de potencia objetivo (F.P.2)

Para ello se ejemplifica el cálculo del valor registrado el día uno a horas 11:00

DATOS:

$$P = 66.33 \text{ k}[W]$$

$$F.P._1 = 0.56$$

VALOR OBJETIVO:

$$F.P._2 = 0.9$$

Reemplazando los datos y el valor en (*)

$$Q_c = 66.33 \cdot [tg(\cos^{-1}(0.56)) - tg(\cos^{-1}(0.9))]$$

$$Q_c = 66.33 \cdot 0.995$$

$$Q_c = \mathbf{66.01 \text{ k}[VAr]}$$

Es decir que en este horario serán necesario inyectar 66 kVAr a nuestra carga eléctrica para mejorar nuestro factor de potencia a 0.9.

De la misma manera realizamos el cálculo para cada uno de los valores registrados pero se calculará para dos factores de potencia objetivo, 0.9 y 0.95. En el ANEXO D (b), se tiene el detalle de los valores calculados para cada potencia demandada en cierto periodo de tiempo.

De todos los valores hallados se tiene que el valor máximo de Potencia Reactiva capacitiva se demanda cuando:

$$P = 100.94 \text{ k}[W]$$

$$F.P._1 = 0.59$$

Siendo que para obtener un F.P. igual a 0.9 se requiere:

$$Q_c = \mathbf{89.25 \text{ k}[VAr]}$$

Para las demás potencias demandadas (P), el valor de Q_c será inferior al valor calculado (89.25 kVAr)

Se ha tomado el valor de un factor de potencia objetivo de 0.9 pues de manera holgada se supera los 0.85 requeridos por la empresa distribuidora además se prevé que más adelante la empresa distribuidora DELAPAZ pueda incrementar el valor de este factor con el fin de igualar valores de empresas como lo son la CRE y SEPSA.

Por lo tanto la Potencia Reactiva Capacitiva Máxima del banco de capacitores debe ser de 90 kVAr, para llegar a un Factor de Potencia de 0.9 y así evitar la penalización.

5.3 Estrategia de compensación.

Como se puede observar en las figuras 5.1 y 5.2 la demanda de potencia activa y el factor de potencia son variables durante toda una jornada laboral, sin embargo el comportamiento de la planta parece ser el mismo cada día.

Para definir la estrategia de compensación en la planta industrial de COFITEX LTDA es necesario tener claros los tipos de corrección indicados en el Capítulo 2, para que el diseño propuesto sea óptimo técnica y económicamente hablando.

Por razones de secreto industrial⁴, no se puede realizar un levantamiento de datos de los equipos instalados en la planta industrial es por ello no se tiene el dato de la cargas más significativas, ni el tiempo de funcionamiento de las mismas, por lo tanto una corrección del tipo distribuida o local no aplica para este caso.

La estrategia para este caso particular de la planta será el tipo de **corrección centralizada y automática**, debido a la dinámica del consumo eléctrico que tiene la misma.

El regulador de pasos, controlador de kVAr o equipo de compensación automática debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el $\cos \varphi$ objetivo de la instalación.

⁴ Información confidencial que no se desea que conozca la competencia



PARTE IV. DESARROLLO DEL
PROYECTO: ESTRUCTURA Y DISEÑO

Capítulo 6. Estructura y Componentes de la Compensación Automática

Definida la estrategia de **compensación centralizada y automática** en este capítulo se amplía el detalle de los componentes que intervienen para la implementación con este tipo de solución.

Además de la función de los componentes que intervienen para el armado del tablero de control se seleccionan los dispositivos que conformarán el mismo, se seleccionan componentes de las marcas disponibles en el mercado local, las características técnicas de los elementos elegidos se tienen a detalle en el ANEXO F

6.1 Estructura de la compensación automática.

Acorde a lo indicado en la sección 2.4.5

Un sistema de corrección automática está compuesto por:

- *sensores que detectan las señales de corriente y tensión;*
- *una unidad inteligente que compara el factor de potencia medido con el deseado y ejecuta la inserción o la desconexión de las baterías de condensadores en función de la potencia reactiva necesaria (regulador del factor de potencia);*
- *un cuadro eléctrico de potencia, que incluye los dispositivos de protección y maniobra;*
- *baterías de condensadores.*

Se presenta el Sistema de Compensación de Energía Reactiva y los elementos que la componen.

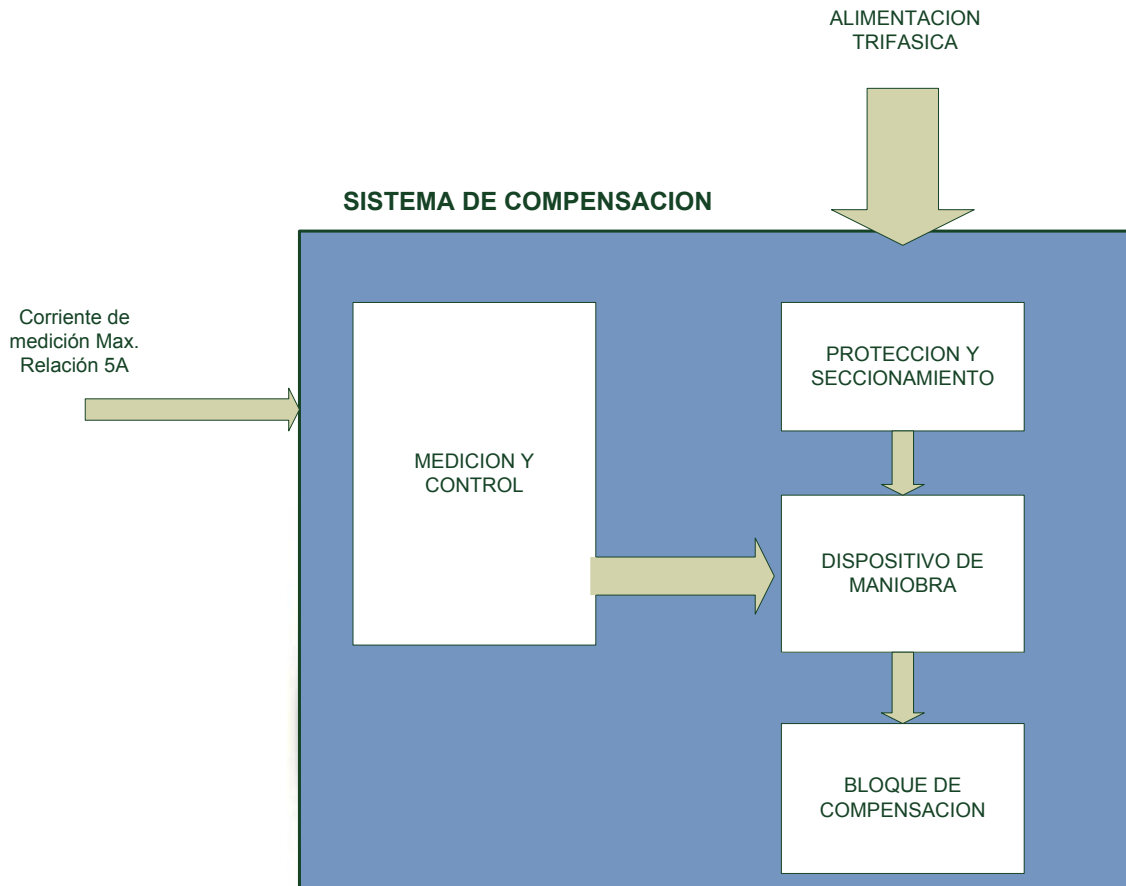


Figura 6.1 Sistema de compensación automática (banco de capacitores)

Fuente: Elaboración Propia

En función a los componentes del sistema:

Medición y Control: Es el dispositivo que se encarga de medir el Factor de Potencia actual, y tras ello realizar el control automático del ingreso, y salida de los elementos que componen el bloque de compensación de energía reactiva necesaria, mediante el dispositivo de maniobra.

Protección y seccionamiento: Es el conjunto de dispositivos que se encargan de la abrir o cerrar de modo manual o automático (En caso de falla eléctrica), y dar paso a la corriente eléctrica hacia bloque de condensadores.

Dispositivo de Maniobra: Son los elementos encargados de conectar los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automática depende de las salidas que dispositivo de control.

Bloque de Compensación: Es el conjunto de capacitores que aportan la energía reactiva a la instalación. La entrada y salida de estos capacitores dependerá de la energía reactiva necesaria para alcanzar el Factor de Potencia objetivo.

Definiendo concretamente los elementos a utilizar se tiene que:

6.1.1 Medición y Control:

La etapa de control o regulador de pasos, al igual que el medidor digital requiere de la medida de los parámetros eléctricos, para ello en primera instancia se utiliza un CT (transformador de corriente) conectada en una de las fases de la red eléctrica.

6.1.1.1 Transformador de Corriente

Los transformadores de corriente para medida son instrumentos que transforman una elevada corriente en otra proporcional pero inferior, la cual es más fácil de trabajar y reduce el tamaño de los equipos de medida.

Para la elección de un transformador las características más importantes son:

- Relación de Transformación: Es la relación entre la corriente nominal de primario y secundario, por ejemplo: 100/5A. Se aconseja escoger un valor primario del transformador acorde al calibre del interruptor automático existente, en cuanto al secundario el más utilizado es el de relación a .../5A.
- Clase de Precisión: Designación aplicada a un transformador de corriente cuyos errores permanecen dentro de los límites especificados para las condiciones nominales. Para el presente proyecto se utiliza un CT clase 1.0 (apto para aplicaciones como monitoreo de corriente, con un error del 1% en la medición para primarios mayor a los 100A)
- Tamaño de las ventana: Superficie útil para el paso de cable o pletinas (Primario del transformador)

En la siguiente figura se aprecia la forma física del



Figura 6.2 Transformador de corriente común

Fuente: Transformador de Corriente 5

El símbolo del transformador de corriente se muestra representado en la siguiente figura por ambos esquemas.

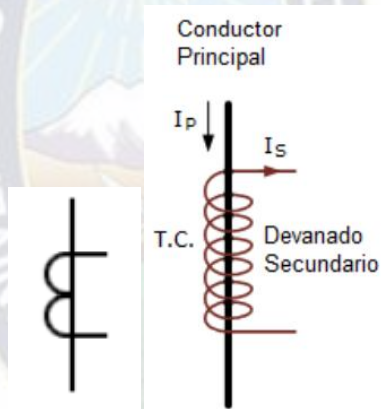


Figura 6.3 Símbolos eléctricos del transformador de corriente

Fuente: "Símbolos eléctricos del transformador de corriente"⁶

MODELO SELECCIONADO: MFO-40

MARCA: Camsco

RELACION: 300/5A

CLASE: 1.0

5

<http://ecommerce.altechmexico.com/ecommerce/site/content/Technical%20Information/Fundamentos%20del%20transformador%20de%20corriente.pdf>

⁶ <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-transformadores-electricos.htm>

En el ANEXO F (a) se encuentran las características técnicas del transformador de corriente instalado.

6.1.1.2 Controlador o Regulador de Pasos.

Es el cerebro del tablero de control, se debe tener especial cuidado con la selección del mismo pues existen diferentes soluciones que van desde las más sencillas hasta las más complejas.

La Función principal es la de controlar la conexión y desconexión de pasos o escalones asociados a los bloques de compensación (Capacitores) esto lo hace midiendo el factor de potencia actual en la planta y comparando con el factor de potencia objetivo (Valor el cual se parametriza en el controlador), tras una comparación entre el valor medido y el valor ajustado éste toma la acción de conectar o desconectar los pasos.

A nivel local se tienen disponibles las siguientes marcas: ABB, Schneider Electric, Lifasa, CHINT, Epcos y Fraco. Los modelos disponibles son de gama media, en la mayoría de los productos ofertados por empresas proveedoras del rubro eléctrico industrial, acorde a las características ha seleccionado trabajar con el controlador de la marca Schneider Electric, pues en relación a las características técnicas y al precio es una de las mejores opciones.

MARCA SELECCIONADA: Schneider Electric.

MODELO: NR6

MARCA: Schneider Electric.

PASOS: 6



Figura 6.4 Regulador de pasos Schneider Electric NR-6

Fuente: ficha técnica controladores [4]

Las características que tiene este controlador y no lo tienen otros son:

Una amplia secuencia de configuraciones para los pasos, siendo las secuencias las siguientes:

- 1.1.1.1.1.1 ● 1.2.3.3.3.3
- 1.2.2.2.2.2 ● 1.2.4.4.4.4
- 1.2.3.4.4.4 ● 1.1.2.3.3.3
- 1.1.2.2.2.2 ● 1.2.4.8.8.8

También cuenta con una serie de programas que optimizan el uso de los capacitores y de manera indirecta prolongan la vida de los mismos.

- linear
- normal
- circular
- optimal.

En caso de que el THD esté por encima de un valor asignado, este emite una señal de alarma y además puede desconectar el banco y así evitar que este pueda sufrir daño alguno por efectos de la resonancia.

Es un controlador que realiza el monitoreo de la capacidad que tiene cada capacitor y lanza alarma en caso de que no se llegue a alcanzar dicho valor, esto es importante porque así se puede realizar un mantenimiento preventivo en el banco de capacitores y realizar el cambio de uno u otro capacitor.

Lleva un termostato incluido, lo cual reduce costos pues no se tiene que adquirir uno por separado.

Realiza las mediciones de los parámetros eléctricos básicos de la red, como ser: Voltajes, corriente, frecuencia y THD

Además de lanzar una serie de alarmas por anomalías en la red eléctrica.

Las características técnicas pueden revisarse a detalle en el ANEXO F (b) y el manual del controlador puede descargarse desde la página web del proveedor, se tiene como referencia [27]

6.1.2 Protección y seccionamiento:

La inserción de una batería de condensadores determina un transitorio eléctrico debido a los fenómenos de carga eléctrica de la batería. De hecho, da lugar a una sobrecorriente de elevada

frecuencia (equivalente en los primeros instantes a un cortocircuito de corta duración), cuya amplitud depende de los parámetros de la red aguas arriba y de las características de la batería.

La maniobra comporta además una sobretensión cuya onda de perturbación se propaga a lo largo de la red. La magnitud de la sobretensión depende de la potencia reactiva Q_c suministrada por la batería de condensadores y del punto de instalación de la misma.

Las sobrecorrientes que pueden tener lugar en el momento de la inserción dependen en gran medida de la inductancia de la red aguas arriba y del número de baterías de condensadores insertadas.

6.1.2.1 Elección del dispositivo de protección

Los dispositivos empleados para la protección de las baterías de condensadores deben ajustarse a las siguientes condiciones:

1. soportar las corrientes transitorias que tienen lugar con la inserción y la desconexión de la batería. Particularmente, las protecciones instantáneas de los relés de protección termomagnéticos y electrónicos no deben interferir con las corrientes de inserción;
2. soportar las sobrecorrientes periódicas o permanentes debidas a los armónicos de tensión y a la tolerancia admitida respecto al valor nominal de la capacidad;
3. estar coordinados con los eventuales aparatos de maniobra externos (contactores).

Además, la capacidad de cierre y de corte del interruptor debe ser proporcional al nivel de cortocircuito de la instalación.

Las normas IEC EN 60831-1 e IEC EN 60931-1 afirman que:

- **los condensadores deben poder funcionar a régimen con una corriente de valor eficaz de hasta un 30% superior a su intensidad nominal I_{cn} (esto se debe a la posible presencia de armónicos de tensión en la red);**
- **se admite una tolerancia (variante 1 de las susodichas normas) del +10% respecto al valor de la capacidad en baterías de hasta 100 kVAr y del +5% para baterías superiores a 100 kVAr.**

En resumen, dependiendo de la potencia reactiva nominal de la batería de condensadores, para la correcta protección contra las sobrecargas:

- la corriente nominal del interruptor deberá ser superior a dichos valores;
- la regulación de la protección contra sobrecargas deberá ser igual a los valores indicados.

La inserción de una batería de condensadores, comparable a un cierre de cortocircuito, va asociada a corrientes transitorias de elevada frecuencia (1 a 15 kHz), de corta duración, con pico elevado (25 a 200.Icn).

Para la protección de la batería de condensadores:

- el interruptor deberá estar dotado de una adecuada capacidad de cierre;
- la regulación de la protección instantánea contra cortocircuitos no deberá generar disparos intempestivos.

La segunda condición es generalmente respetada:

- por los relés de protección termo magnéticos, regulando la protección magnética I_m a valores no inferiores a $10 \cdot I_{cmax}$

$$I_m \geq 10 \cdot I_{cmax} \quad (6.1)$$

- por los relés de protección electrónicos, desactivando la protección instantánea contra cortocircuitos ($I_m = \text{OFF}$).

6.1.2.2 Interruptor Termomagnético.

Acorde a lo indicado en la anterior sección para el diseño del banco de capacitores, con sus respectivas protecciones se ha decidido trabajar con los interruptores de la línea EZC de Schneider que por las características técnicas que tiene cubre el requerimiento para la protección de cargas capacitivas además de ser recomendados por el mismo fabricante para la aplicación, relacionado con el costo son la mejor opción que se sugiere.

PROTECCION: Termomagnética

MODELO: EZC

MARCA: Schneider Electric

PODER DE CORTE: 18 kA a 380 V

VALOR NOMINAL: Acorde a los capacitores a utilizar (20,40,60,80 y 250A) para cada paso y el principal



Figura 6.5 Interruptor automático termomagnético

Fuente: ficha técnica interruptor EZC [20]

En el ANEXO F (c), se tiene la ficha técnica de uno de los interruptores, la de 20A, para los demás interruptores la ficha es la misma, solo cambia el valor de la corriente nominal. Las dimensiones se mantienen para los interruptores de 20,40,60 y 80A

6.1.3 Dispositivo de Maniobra:

El condensador o la batería de condensadores normalmente es controlada por un contactor que, para que funcione correctamente, debe estar dimensionado de manera que pueda:

- soportar el paso permanentemente de una corriente igual a la I_{cmax} del banco de condensadores;
- soportar, sin sufrir daños, la corriente de inserción de los condensadores. Además, el contactor debe estar protegido contra cortocircuitos mediante el dispositivo de protección.

Los condensadores forman, con los circuitos a cuyos bornes están conectados, circuitos oscilantes que pueden producir en el momento de la conexión corrientes transitorias de elevada intensidad ($> 180 I_n$) y de frecuencias elevadas (de 1 a 15 kHz).

Para solucionar este problema sin tener que acudir a contactores extraordinariamente sobredimensionados se aumentaba la inductancia de la línea con el acoplamiento en serie de inductancias de choque. Actualmente se recomienda un contactor específicamente diseñado para el mando de condensadores

Los contactores de Schneider-Electric modelo LC1-D.K. están equipados con un bloque de contactos adelantados y con resistencias de preinserción que limitan el valor de la corriente en la conexión a 60 In.

El diseño patentado del aditivo garantiza la limitación de la corriente de conexión con lo que aumenta la durabilidad de los componentes de la instalación y en particular la de las protecciones y condensadores.

El conjunto de contactores elegidos para cada paso tiene las siguientes características principales.

LÍNEA: LC1D...

MARCA: Schneider Electric

CATEGORIA DE EMPLEO: AC6



Figura 6.6 Contactor para cargas capacitivas

Fuente: ficha técnica del contactor [4]

Condiciones de utilización:

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

Temperatura media sobre 24 h: 45 °C según normas CEI 831 y CEI 70.

Potencias máximas de empleo

400V 440V kVAr	660V 690V kVAr	Referencias Contactor	Int. Aut. Compact NSX
12,5	18	LC1-DFKM7	LV429637
20	30	LC1-DLKM7	LV429636
25	36	LC1-DMKM7	LV429636
33,3	48	LC1-DPKM7	LV429630
40	58	LC1-DTKM7	LV429630
60	92	LC1-DWK12M7	LV430630

Nota: la terminación de la referencia dependerá de la tensión de control.

tabla 6.1 modelos de los contactores

fuelle: ficha tecnica del contactor [4]

Las potencias indicadas en la tabla anterior se entienden para las siguientes condiciones:

Corriente de llamada con cresta presumible de: 200 In.

Cadencia máxima: LC1-DFK, DLK, DMK, DPK: 240 ciclos/hora LC1-DTK, DWK: 200 ciclos/hora.

Resistencia eléctrica a la carga nominal: LC1-DFK (400 V): 300.000 ciclos. C1-DLK, DMK, DPK, DTK, DWK (690 V): 200.000 ciclos.

Circuito de control:

Tensiones disponibles: 24/42/48/110/220/230/240/ 380/400/415/440/500/600 Vca.

Frecuencias: 50 Hz, 60 Hz, 50-60 Hz.

Normas:

Son conformes con las normas: IEC 831

6.1.4 Bloque de Compensación:

El condensador proporciona la energía reactiva necesaria para elevar el factor de potencia al valor deseado.

En la placa de características del condensador figuran los siguientes datos:

- tensión nominal Un;
- frecuencia nominal f;
- potencia nominal Qc, expresada en kVAr (potencia reactiva de la batería de condensadores).

Es preciso subrayar que la potencia reactiva suministrada relativa a la tensión de empleo difiere de la potencia nominal relativa a la tensión nominal; por medio de la siguiente fórmula se puede calcular la potencia efectiva de un condensador o de una batería de condensadores:

$$Q_{sum} = Q_C \cdot \left(\frac{U_e}{U_n}\right)^2 \quad (6.2)$$

donde:

- Q_C es la potencia relativa a la tensión nominal U_n ;
- Q_{sum} es la potencia efectiva relativa a la tensión de empleo U_e .

En un circuito trifásico, los condensadores pueden estar conectados entre sí en estrella o en triángulo; la siguiente tabla muestra los valores de potencia y de intensidad nominal según el tipo de conexión.

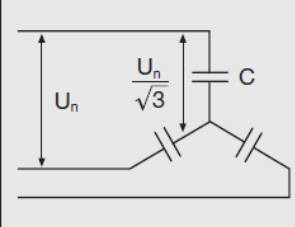
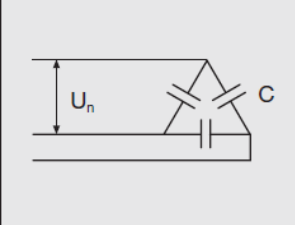
	Intensidad nominal (de línea)	Corriente en los condensadores	Potencia
	$I_{cn} = \omega \cdot C \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}$	$I_c = I_{cn}$	$Q_c = \sqrt{3} \cdot I_{cn} \cdot U_n = \omega \cdot C \cdot U_n^2$
	$I_{cn} = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C \cdot U_n$	$I_c = \omega \cdot C \cdot U_n$	$Q_c = \sqrt{3} \cdot I_{cn} \cdot U_n = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U_n^2$

Figura 6.7 Configuración de los bloques de compensación reactiva

Fuente: Cuaderno de Aplicaciones Técnicas N°8 [3]

6.1.4.1 Descarga de los condensadores

Antes de instalar un condensador, se debe verificar que en el momento de su desconexión este pueda descargarse de manera que no presente en sus extremos una tensión peligrosa que pueda causar lesiones personales y materiales.

Cuando sea necesario el uso de un dispositivo de descarga, este debe reducir la tensión nominal de los terminales del condensador del valor de pico de la tensión nominal a un valor inferior o igual a 50 V en máximo 1 min desde el momento de la desconexión. A veces, puede requerirse un dispositivo de descarga no por motivos de seguridad, sino para evitar un esfuerzo excesivo del condensador: esto ocurre cuando un condensador, desconectado pero aun cargado, es reconectado a otro condensador de diferente polaridad.

Las resistencias anulan en un breve lapso de tiempo la carga residual de las armaduras del condensador una vez que este ha sido desconectado de la red. Es conveniente prever resistencias de descarga para todos los condensadores de potencia superior a 0.5 kvar, independientemente de la tensión de alimentación.

De acuerdo con la norma IEC EN 60831-1 art. 22 "Cada unidad capacitiva y/o batería debe estar dotada de dispositivos que permitan la descarga de las unidades con una tensión igual o menor a 75 V en 3 min a partir de una tensión inicial de pico igual a 2 veces la tensión nominal U_n ", pero es preciso subrayar que en algunos países pueden requerirse tiempos de descarga diferentes.

6.1.4.2 Capacitor seleccionado

Con referencia a lo indicado anteriormente, el capacitor seleccionado para el diseño del banco de capacitores es el siguiente:

MODELO: VarPlus Can

MARCA: Schneider Electric

CAPACIDAD: 10,20,30 y 40 kVAr

VOLTAJE: 400 V



Figura 6.8 Capacitores para la Corrección del Factor de Potencia

Fuente: Ficha Técnica del Capacitor [4]

Las principales características son:

Condiciones de funcionamiento

- Redes con poca contaminación armónica: ($NLL \leq 20\%$).
- Variaciones significativas de tensión en la red. n Temperatura de hasta 55 ° C.

- Cantidad normal de operaciones (7000/año).
- Corriente máxima $1,8 \times IN$ (incluyendo armónicos)

Tecnología

Construidos internamente con tres condensadores monofásicos montados en un diseño altamente optimizado. Cada condensador se fabrica utilizando una película de polipropileno metalizado (dieléctrico) con características que garantizan una mayor tolerancia a la corriente con un menor aumento de temperatura.

Los elementos activos del condensador son recubiertos con una resina viscosa que asegura una alta capacidad de sobrecarga, con buenas propiedades mecánicas y térmicas.

Los terminales del condensador integran las resistencias de descarga, permitiendo además un adecuado apriete para una correcta conexión.

Beneficios

- Seguridad:
 - ✓ Auto-cicatrización
 - ✓ Desconexión por sobre presión
 - ✓ Resistencia de descarga.
- Esperanza de vida útil de hasta 130.000 horas.
- Instalación en cualquier posición.
- Mayor eficiencia térmica.
- Fácil mantenimiento.

Capítulo 7. Diseño del Tablero de Control

Es este capítulo se ve la convergencia de los anteriores capítulos, para dar la solución al planteamiento del problema, pues se basa en la teoría desarrollada, los valores medidos de parámetros eléctricos de la planta, el análisis y las características que deben cumplir los elementos que componen un banco de capacitores automático para la compensación de energía reactiva, en este capítulo se desarrolla finalmente el diseño para la empresa COFITEX LTDA., con el fin de dar solución a su bajo Factor de Potencia.

7.1 Banco de Capacitores Automático.

Tras la obtención de mediciones, el comportamiento de la potencia demandada la variación del Factor de Potencia y el hecho de no tener acceso para el levantamiento de datos de las características técnicas y las potencias de las mismas **se define diseñar un Banco de Capacitores Automático, cuya estrategia de compensación será del tipo centralizada**, es decir que el banco que se diseñará debe ubicarse aguas abajo del tablero de distribución principal.

7.1.1 Valor efectivo de los capacitores.

Como se ha visto en la sección 6.1.4 el valor de la Potencia Reactiva del bloque de compensación (Comúnmente llamado sólo capacitor) varía en función de la frecuencia y del voltaje, además se debe tener claro que los capacitores que se fabrican para las soluciones en baja tensión, la configuración interna que llevan esta en DELTA, esto es importante pues así también se puede medir la capacitancia del capacitor y determinar el estado del mismo.

Como ejemplo en la siguiente figura se muestra los datos técnicos del capacitor anteriormente instalado en la planta de COFITEX.



Figura 7.1 Características Técnicas Capacitor

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los valores de trabajo con referencia al voltaje son distintos a 380V, por lo tanto debe hacerse una corrección para determinar el valor efectivo del capacitor. Con respecto a la frecuencia no habrá problema pues en la red de suministro eléctrico funciona a 50 Hz.

Aplicando la ecuación (6.2), reemplazamos valores

$$Q_{sum} = Q_c \cdot \left(\frac{U_e}{U_n}\right)^2$$

$$Q_{sum} = 10 \cdot \left(\frac{380}{400}\right)^2$$

$$Q_{sum} = 9.025 \text{ k[VA}r\text{]}$$

El valor efectivo del capacitor será de 9 kVA_r, a la tensión de trabajo en la planta industrial de 380 V. Tomar en cuenta esto es muy importante pues no todos los fabricantes de capacitores especifican la potencia reactiva para este voltaje (380V) o en la planta se pueden tener caídas de tensión con valores de funcionamiento menores aún, y el no tomar este dato en cuenta muchas veces ocasiona que se subdimensione el banco de capacitores y no se llegue a compensar el factor de potencia al valor objetivo.

7.1.2 Pasos o escalones del banco de capacitores.

Para definir la cantidad de pasos requeridos primeramente debemos definir la potencia reactiva máxima demandada, en la tabla del ANEXO D (b) se han calculado todas las potencias reactivas necesarias para la compensación y así poder alcanzar un factor de potencia de 0.9 o 0.95, de esta tabla se tiene que:

El valor máximo demandado es de aproximadamente 90 kVAr, para alcanzar un F.P. igual a 0.9

HORA	POTENCIA k(W)	COS ϕ	THDi (%)	THDv (%)	POT Q kVAr PARA fp=0,9	POT Q kVAr PARA fp= 0,95
15:30:00	100,94	0,59	2,68	0,85	89,25	104,96

Tabla 7.1 Potencia Reactiva máxima demandada

Fuente: Elaboración propia

Y para ser más exigentes y llegar a un F.P. de 0.95 necesitaríamos 105 kVAr.

Siendo la parte económica la más importante para la ejecución de este proyecto y la que define la elección de este banco, **se decide dimensionar un banco de Capacitores de 90 kVAr**, ya que alcanzando un factor de potencia de 0.9 se evita la penalización e incluso con esos 90 kVAr se puede sobrepasar el factor de potencia de 0.9 para menores potencias. (Esto puede verse en los cálculos de la tabla completa del ANEXO D (b))

Como también puede observarse en la tabla los valores requeridos de potencia reactiva varían desde los 90 kVAr para abajo, existiendo valores en los rangos de potencia reactiva de 80,70,60,50,40,20,30 y 10

Es por ello que la secuencia en el programa que debe elegirse es la más óptima teniendo muchas opciones en función del número de pasos, las secuencias que ofrece el controlador de Schneider son las siguientes:

- 1.1.1.1.1.1 ● 1.2.3.3.3.3
- 1.2.2.2.2.2 ● 1.2.4.4.4.4
- 1.2.3.4.4.4 ● 1.1.2.3.3.3
- 1.1.2.2.2.2 ● 1.2.4.8.8.8

Pero que es lo que realmente indican esos números, pues todos los fabricantes indican de la misma manera o formato la secuencia de trabajo para sus controladores, aunque ninguno de ellos es claro con esta información, la misma está referida a la relación de potencias de los capacitores instalados, como ejemplo en la secuencia 1.1.1.1...

Sí: $Q_1 = 10 \text{ kVAr}$; $Q_2 = 10 \text{ kVAr}$; $Q_3 = 10 \text{ kVAr}$; $Q_4 = 10 \text{ kVAr}$...

Para la secuencia 1.1.2.3.... se tendría:

Sí: $Q_1 = 10 \text{ kVAr}$; $Q_2 = 10 \text{ kVAr}$; $Q_3 = 20 \text{ kVAr}$; $Q_4 = 30 \text{ kVAr}$...

Analizados todos los programas de trabajo, en función a la potencia reactiva máxima requerida de 90 kVAr, **el diseño propuesto involucra que el banco de capacitores será de 4 pasos la secuencia elegida es: 1.2.3.4.4.4**, con ese escalonamiento se podrán cubrir todos los rangos de potencia reactiva requerida, en la siguiente tabla puede observarse que la combinación de estos cuatro escalones puede generar diez valores de potencia. (Tomando en cuenta el valor efectivo del capacitor mostrado en la figura 7.1, 9 kVAr)

Combinación	POTENCIA	9 kVAr	18 kVAr	27 kVAr	36 kVAr
1	9				
2	18				
3	27				
4	36				
5	45				
6	54				
7	63				
8	72				
9	81				
10	90				

Tabla 7.2 Combinación de los escalones del Controlador

Fuente: Elaboración propia

En color verde se observan los pasos que ingresan a la compensación cuando el controlador lo requiere y la potencia que pueden entregar para la compensación.

Esta es una de las mejores opciones, pero también podríamos obtener la misma cantidad de combinaciones con el escalonamiento 1.1.1.1.1.1 pero se requerirían de diez pasos, lo cual implicaría una mayor cantidad de elementos, mayor dimensión del gabinete, más mano de obra y por ende el costo final sería más elevado.

Finalmente los valores de los bloques de compensación o capacitores serán:

Capacitor	POTENCIA	U (V)	f (Hz)
Q1	9	380	50
Q2	18	380	50
Q3	27	380	50
Q4	36	380	50

Tabla 7.3 Valor efectivo de los capacitores a 380V

Fuente: Elaboración propia

7.1.3 Maniobra y protección

Los dispositivos de maniobra como los contactores de la misma manera que los capacitores vienen referenciados a 400 V como se indica en la ficha técnica de ellos ANEXO F (d), se utilizaron los siguientes valores nominales. (Se debe tomar en cuenta que la capacidad de los contactores categoría AC6, no vienen en Amperios sino directamente en kVAr), su denominación será KM_x

Capacitor	POTENCIA (kVAr)
KM1	10
KM2	20
KM3	30
KM4	40

Tabla 7.4 Valor nominal de los Capacitores

Fuente: Elaboración propia

En la elección de los contactares es suficiente saber que soportaran la capacidad nominal del capacitor elegido.

Es importante elegir la tensión de control, esta está referida a la alimentación de la bobina del contactor y viene en diferentes valores tanto para alimentación de voltaje alterno y continuo.

Voltaje de Control: 220 Vac

Para el dimensionamiento de la protección se debe tomar en cuenta lo indicado en la sección 6.1.2.2 expresando matemáticamente el texto se tiene que la corriente máxima **I_{cm}** que puede absorber cada capacitor será :

$$Q_c \leq 100 \text{ kVAr}: \quad I_{cm} = 1.3 * 1.1 * \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1.43 I_{cn}$$

$$Q_c \geq 100 \text{ kVAr}: \quad I_{cm} = 1.3 * 1.05 * \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1.36 I_{cn}$$

donde:

- Q_c es la potencia reactiva;
- U_n es la tensión de línea nominal;
- I_{cn} es la corriente nominal.

Del fabricante escogido Schneider Electric, se tiene la siguiente tabla para equipamiento estándar como es el presente caso, utilizando el factor de 1.36, se obtienen los valores nominales y comerciales de los interruptores termomagnéticos.

Reactive power (kVAR)	Inc (A)	Inb (A)	Breaking capacity to Circuit Breaker	
			15 kA	30 kA
7.5	11	15	EZC100N3015	EZC100H3015
10	14	20	EZC100N3020	EZC100H3020
15	22	30	EZC100N3030	EZC100H3030
20	29	40	EZC100N3040	EZC100H3040
30	43	60	EZC100N3060	EZC100H3060
40	58	80	EZC100N3080	EZC100H3080
50	72	100	EZC100N3100	EZC100H3100
60	87	118	EZC250F3125	EZC250H3125
75	108	147	EZC250F3150	EZC250H3150
100	144	196	EZC250F3200	EZC250H3200

Tabla 7.5 Valores de protección termomagnética y modelo recomendado.

Fuente: Ficha técnica EZC [20]

El valor de protección y la designación se presenta en la siguiente tabla.

Interruptor	I _n
QF1	20
QF2	40

QF3	60
QF4	80
QF0	250

Tabla 7.6 Valor nominal de los interruptores

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la consideración de la corriente de corto circuito la forntera magnetica de estos interruptores cumple con que I_m es 10 veces la corriente nominal del interruptor.

7.1.4 Configuración del Controlador.

Definidos todos los componentes, sus valores efectivos y comerciales queda por configurar el controlador, toda la información referente se encuentra en el manual de usuario [27]

Se presentan los parámetros configurados más importantes.

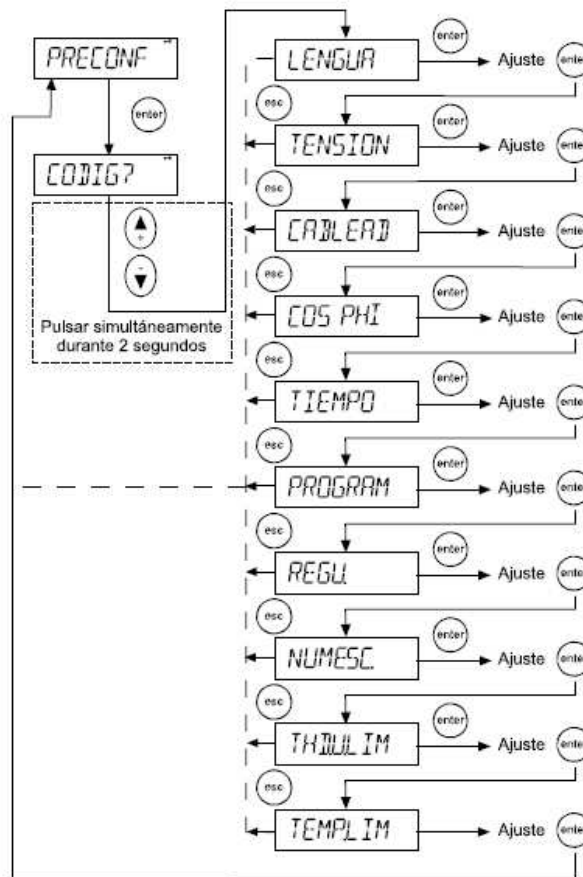


Figura 7.2 Configuración previa del banco de capacitores

Fuente: User Manual NR6/NR12 [27]

En la figura 7.3 es el menú donde en primera instancia deben asignarse los valores que se tienen para nuestra red eléctrica, además de asignar el factor de potencia objetivo y el nivel de THDu máximo admisible, para que en caso de que la distorsión sea mayor al porcentaje asignado, el controlador de una señal de alarma y se desconecte el banco temporalmente hasta que los valores reduzcan.

A través del menú de "Puesta en Marcha" se pone en servicio un regulador configurado previamente. La secuencia contiene una comprobación automática de parámetros para verificar si los parámetros introducidos manualmente coinciden con la red utilizada.

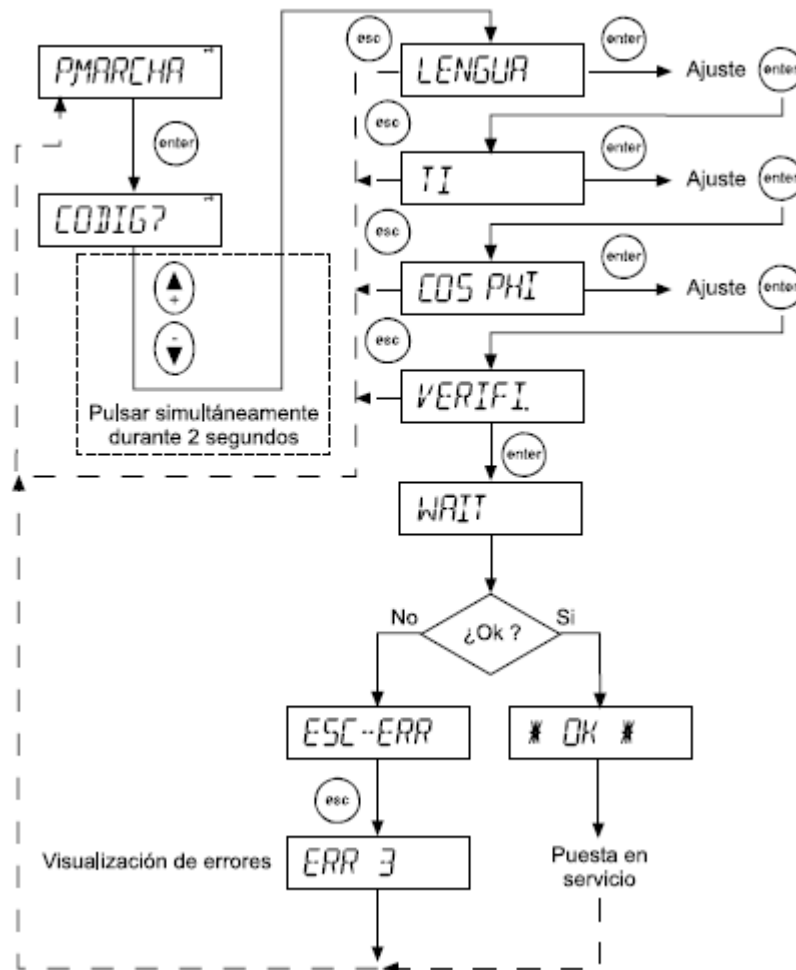


Figura 7.3 Puesta en marcha

Fuente: User Manual NR6/NR12 [27]

7.1.4.1 Menú alarmas

En el menú Alarmas, se puede activar y desactivar cada alarma de forma individual.

Cuando se detecta una condición de alarma, el número de alarma correspondiente aparece en la parte superior de la pantalla con su símbolo encendido. El relé de alarma también se activa.

Alarma N°	Alarma	Causa posible	Acción del regulador
1	Falta de kVAr	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión incorrecta • Tensión FF/FN mal programada • Batería-subdimensionada 	
2	C/K incorrecto	<ul style="list-style-type: none"> • Valor C/K demasiado bajo • Selección de programa incorrecto • Condensadores defectuosos (programa óptimo) • Fluctuaciones bruscas de carga 	Realiza una pausa de 10 minutos en la regulación
3	Cos Φ anormal	<ul style="list-style-type: none"> • Error de cableado • red con capacidad excesiva (contactores soldados) • Corriente demasiado baja: baja carga 	
4	Tensión baja		Desconectar hasta que se restablezca la tensión
5	Sobrecompensación	<ul style="list-style-type: none"> • Programación incorrecta tensión FF/FN • Uso incorrecto de escalones fijos 	
6	Frecuencia incorrecta	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de red incorrecta o inestable detectada en el arranque 	Detenga la regulación. No lleve a cabo un reinicio automático
7	Sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> • TI pequeño 	
8	Sobretensión		Desconexión temporal de los escalones
9	Temperatura elevada	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura ambiente demasiado elevada • Sistema de refrigeración defectuoso 	Desconexión temporal de los escalones
10	Distorsión de tensión THD(U) elevado	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación armónica • Resonancia 	Desconexión temporal de los escalones

Tabla 7.7 Lista de Alarmas

Los contactos de alarma están:

- cerrados cuando el regulador no está alimentado,
- abiertos cuando el regulador está alimentado sin alarma
- cerrados cuando el regulador está alimentado con alarma

ALRM.SET

- informa sobre el estado de cada alarma: activada o desactivada
- permite activar o desactivar cada alarma por separado configurándolas en ON o en OFF.

Si una alarma está configurada en OFF, no puede provocar una alarma en ninguna condición.

Para obtener una respuesta de alarma normal, la alarma correspondiente debe estar activada, esto es, configurada en ON.

Algunos niveles de disparo de alarma se pueden ajustar:

Alarma nº 9 (temperatura excesiva) con ajuste de límite de temperatura

Alarma nº 10 (distorsión de tensión) con ajuste del límite THD (U)

7.1.4.2 Programa óptimo:

El programa óptimo funciona con numerosas configuraciones de escalones:

1.1.1.1.1 1.2.2.2.2 1.2.4.4.4 1.2.4.8.8 1.1.2.2.2

1.1.2.3.3 1.1.2.4.4 1.2.3.3.3 1.2.3.4.4 1.2.3.6.6

El $\cos \varphi$ objetivo se alcanza utilizando el menor número posible de escalones en el menor tiempo posible. Al igual que el programa circular, este algoritmo racionaliza el uso de los escalones.

Este programa utiliza tamaños de escalones seleccionados de forma óptima cuando se aproxima a la potencia objetivo y al mismo tiempo los plazos de respuesta se acortan, especialmente si se necesitan numerosos kVAR o si la red repentinamente pasa a ser capacitiva.

7.1.4.3 Cálculo manual del valor de respuesta C/K

Normalmente, el valor de respuesta, más generalmente conocido como el valor C/K, se configura automáticamente como parte de la secuencia de *Configuración automática*, pero se dan casos en los que estos valores deben introducirse manualmente.

El valor correcto se puede calcular utilizando la ecuación, que necesita el tamaño del primer escalón (en vars), tensión fase-fase de la red utilizada (en voltios) y la relación de TI, siguiente:

$$\frac{C}{K} = \frac{Q_{1st}}{I_1/5 \cdot U_{LL} \cdot \sqrt{3}} \quad (7.1)$$

donde:

Q1st = tamaño del 1er escalón en VAR

ULL = tensión fase-fase voltios

I1/5A = relación TI

Con los valores nominales de nuestra red y el de nuestros elementos podemos reemplazar en la anterior ecuación y determinar el valor C/K

$$\frac{C}{K} = \frac{9000}{300/5 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}}$$

$$\frac{C}{K} = 0.23$$

Este valor es el que se introduce en la sección C/K

Mediante conexiones (o desconexiones) sucesivas de escalones se ajusta la potencia reactiva entre dos límites simétricos correspondientes al valor de respuesta.

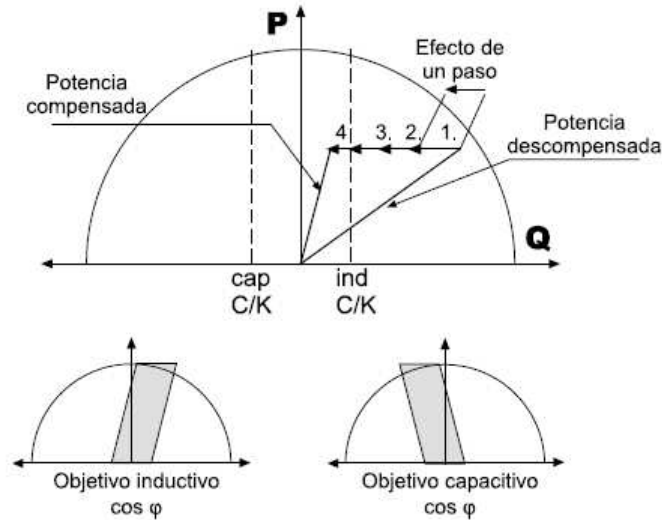


Tabla 7.8 Efectos de la compensación

Fuente: User Manual NR6/NR12 [27]

De manera resumida en la siguiente tabla se tienen los valores a configurar en el controlador.

FUNCION	VALOR ASIGNADO
LENGUA	ESP
TENSION	380
CABLEAD	U.L2.N
COS PHI	0,9
TIEMPO	50
PROGRAM	OPTIM
REGU.	1,2,3,4,4,4
NUMESC.	4
THD.U.LIM	5
TEMP.LIM	50
TI	300
C/K	0,23

Tabla 7.9 Valores configurados

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Plano Eléctrico

Se presenta el plano eléctrico el cual tiene el detalle de todas las conexiones realizadas entre los elementos que componen un banco automático de capacitores.

A continuación el plano se presenta por partes para que puedan apreciarse mejor

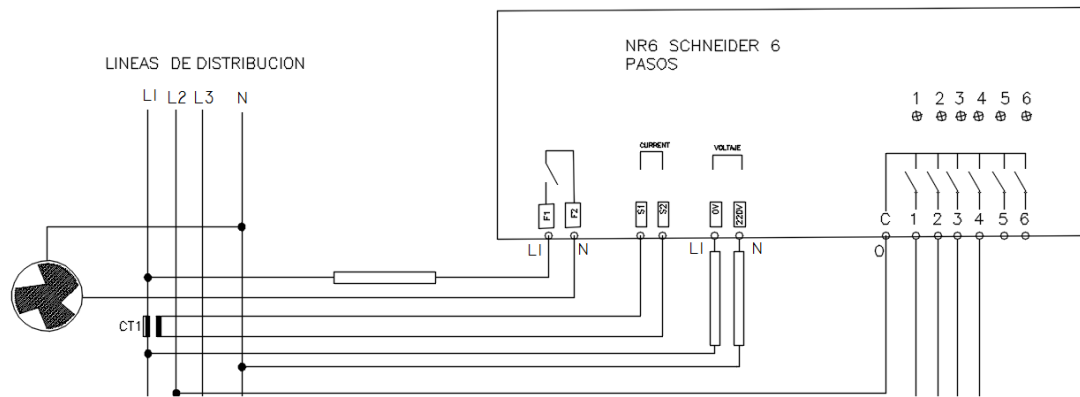


Figura 7.4 Conexiones del controlador

Fuente: Elaboración propia.

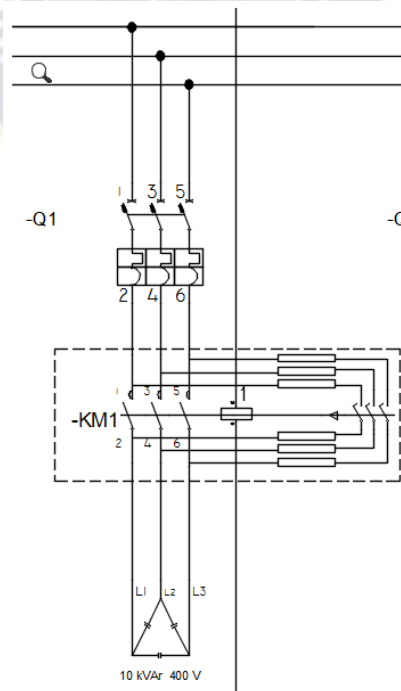


Figura 7.5 Conexiones de la etapa de potencia

Fuente: Elaboración propia.

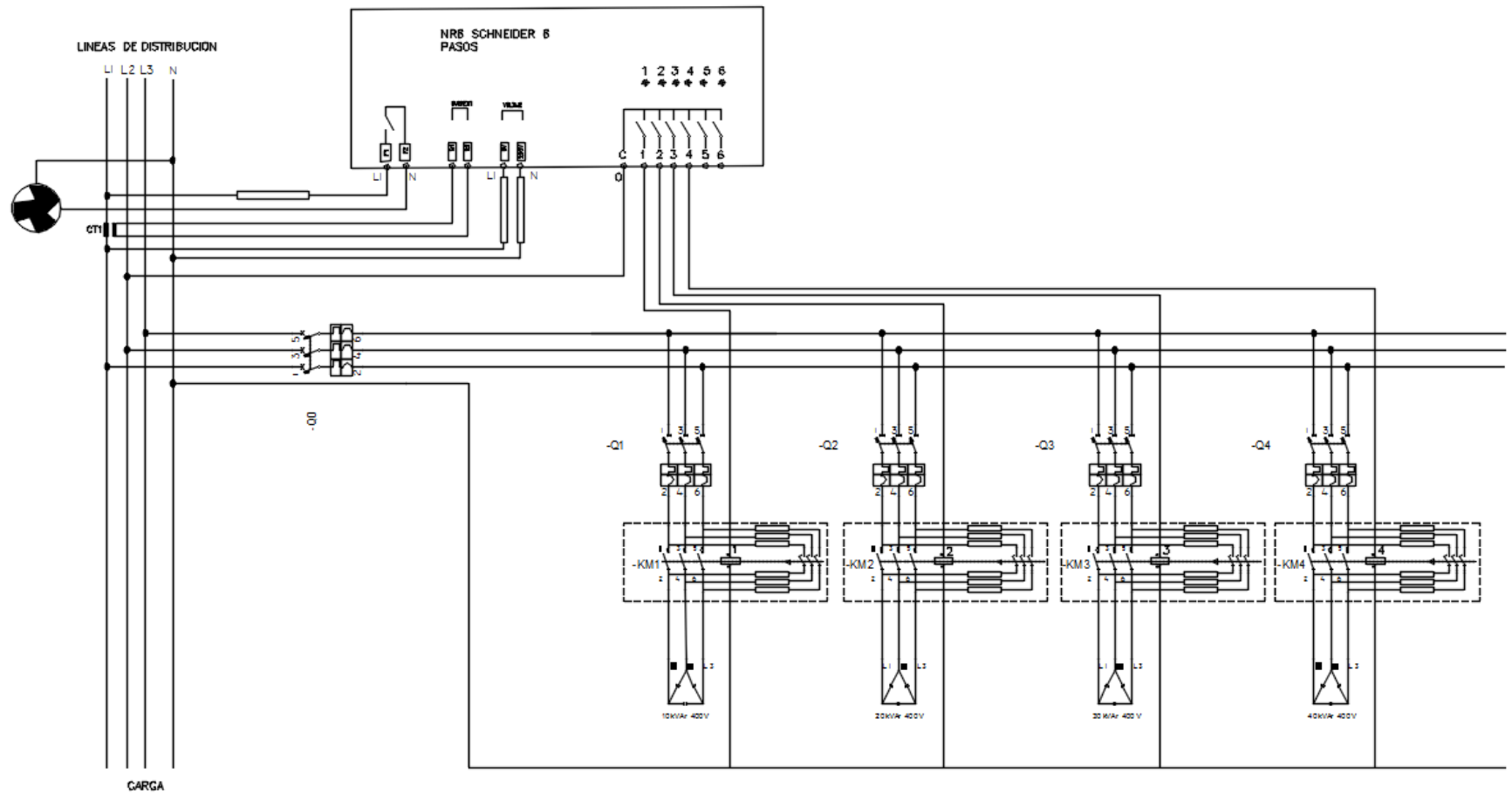


Figura 7.6 Plano de conexiones eléctricas, Banco Automático de Capacitores

Fuente: Elaboración propia.

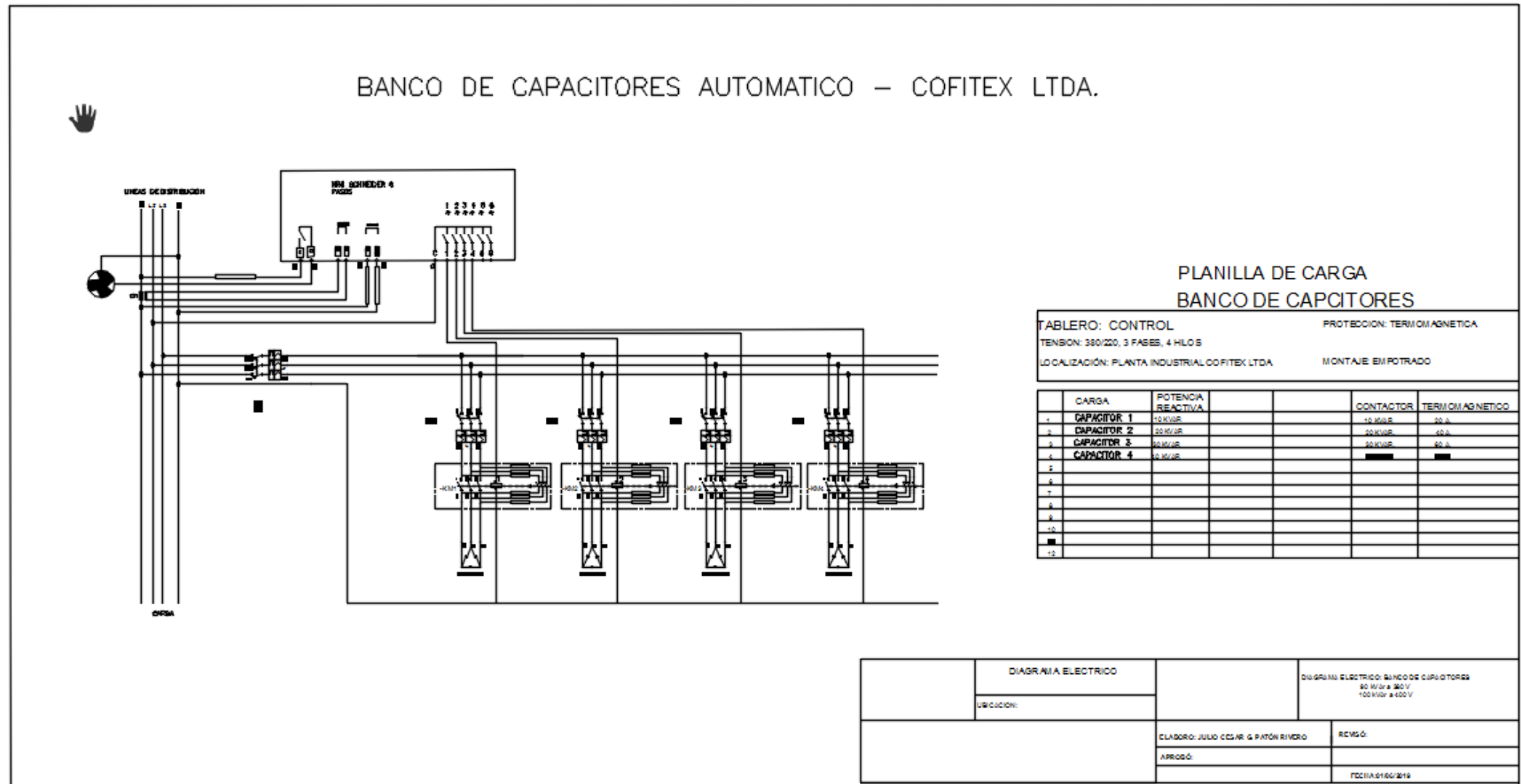


Figura 7.7 Presentación del plano eléctrico completo

Fuente: Elaboración propia

7.3 Plano Esquemático

Este plano se realiza con el fin de presentar la proyección de implementación, se realiza simulando la ubicación de los diferentes elementos dentro del gabinete metálico, para ello cada uno de los elementos tiene las dimensiones reales que tiene el componente o aproximadas, este esquema nos ayuda a dimensionar el gabinete metálico.

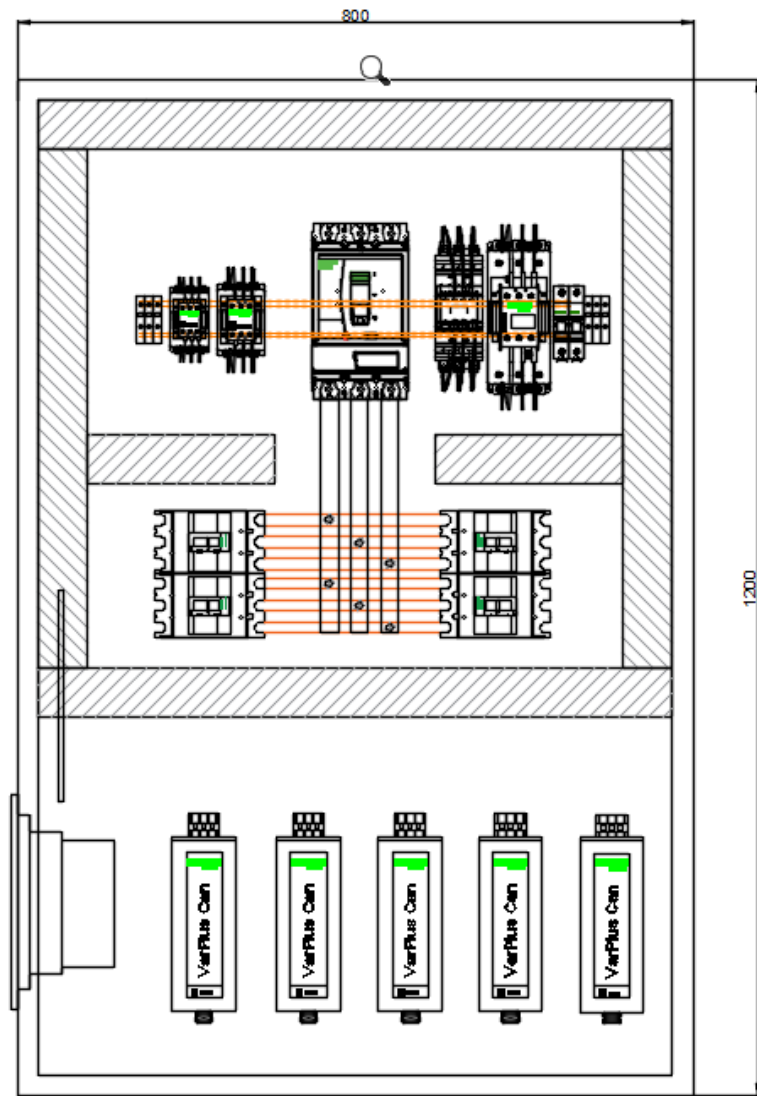


Figura 7.8 Plano esquemático de componentes

Fuente: Elaboración propia

Acorde a los las dimensiones de los elementos y a la ubicación de ellos se decide implementar los mismos en un gabinete de 800*1200 mm

En la siguiente figura se muestra el plano esquemático que se presenta a la empresa

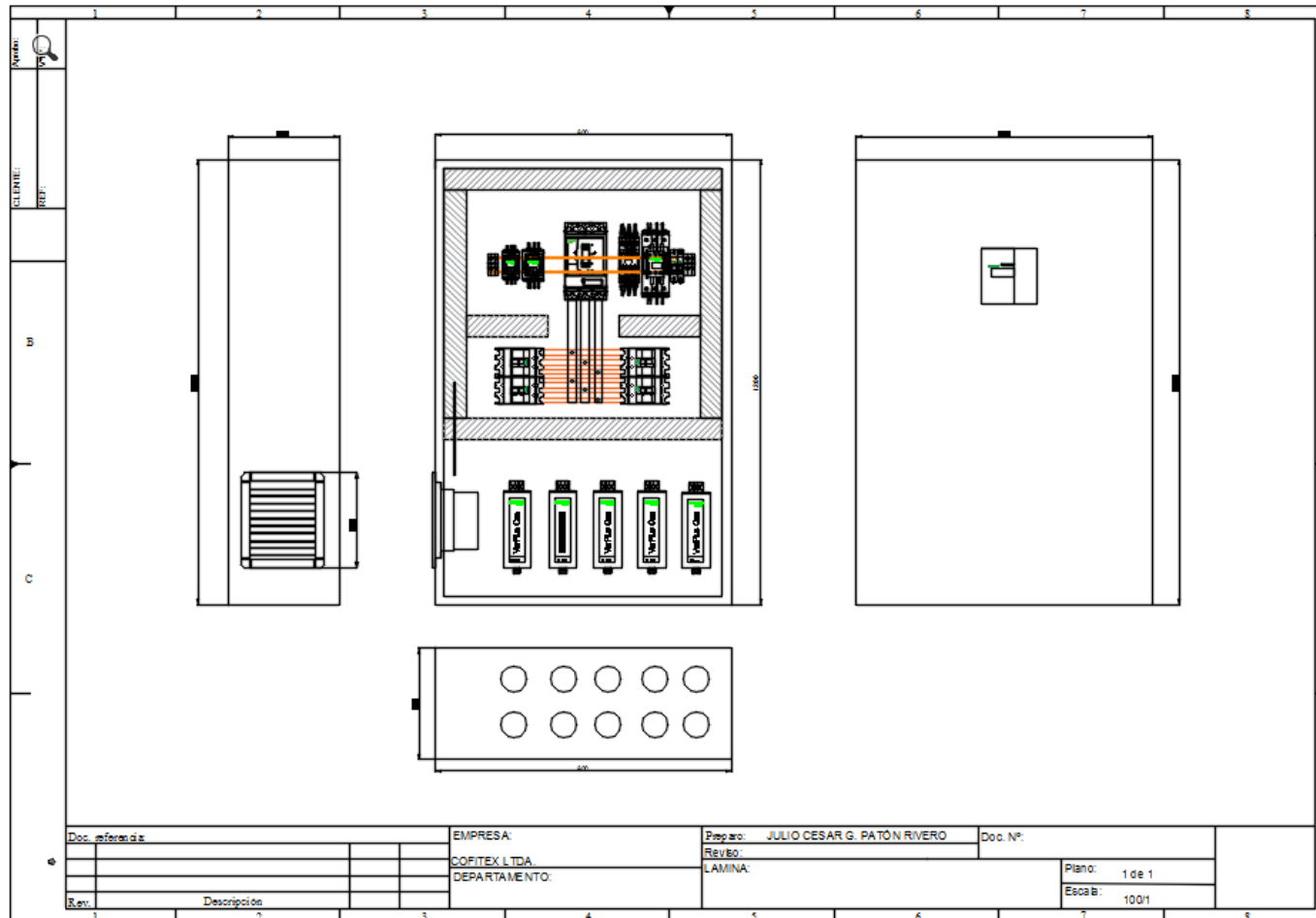


Figura 7.9 Presentación del plano esquemático

Fuente: Elaboración Propia

7.4 Cotización.

Determinados los componentes principales como ser el controlador, las protecciones termo magnéticas, los contactores y los capacitores y el gabinete, para una implementación adecuada deben utilizarse otros componentes como ser borneras, ventilador, fusibles, cable canal, riel DIN, etc. Es por ello que a continuación se presenta la cotización del costo del banco de capacitores.

La misma se ha cotizado con la empresa ELECTRORED BOLIVIA S.R.L., quien es la representante de Schneider Electric para Bolivia.


		esquina Av. Uruguay Central Píloto: (591-2) 2282428 electroredsp@electrored.com.bo	entre Charcas y Puerto Suarez (Zoo Anillo) Central Píloto: (591-2) 3268888 electroredca@electrored.com.bo			
		COCHABAMBA: C. Tumusia N° 36, entre Heronías y Colombia Central Píloto: (591-4) 4883221 electroredcba@electrored.com.bo	EL ALTO: Calle 1 N°3760 entre Av. 6 de Marzo y Evidados del Paraguay (frente estación) Central Píloto: (591-4) 2821322 electroredea@electrored.com.bo			
www.electrored.com.bo						
DATOS CLIENTE CLIENTE/EMPRESA: COFITEX LTDA ATENCION: E-MAIL: SOLICITUD N° : DIRECCION		TELEFONO: FAX: CELULAR: NIT:				
CODIGO ELECTRORED	DESCRIPCION	MARCA	U/M	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	PRECIO TOTAL (Bs)
8762	REGULADOR DE FP SCHNEIDER 6 PASOS 52448	SCHNEIDER	PZA	1	4.231,61	4.231,61
9927	CAPACITOR SCHNEIDER 10,4/12,5 KVAR 380VAC 50/60 HZ BLRCH104A125B40	SCHNEIDER	PZA	1	591,60	591,60
9928	CAPACITOR SCHNEIDER 20/24 KVAR 380VAC 50/60 HZ BLRCH200A240B40	SCHNEIDER	PZA	1	1.057,92	1.057,92
10800	CAPACITOR SCHNEIDER 25/30 KVAR 380VAC 50/60 HZ BLRCH250A300B40	SCHNEIDER	PZA	1	1.535,60	1.535,60
10801	CAPACITOR SCHNEIDER 40/48 KVAR 380VAC 50/60 HZ BLRCH400A480B40	SCHNEIDER	PZA	1	1.870,25	1.870,25
8563	CONTACTOR SCHNEIDER 12.5KVAR 400V. BOBINA 220VAC. LC1DFK11M7	SCHNEIDER	PZA	1	434,65	434,65
8564	CONTACTOR SCHNEIDER 20KVAR 400V. BOBINA 220VAC. LC1DLK11M7	SCHNEIDER	PZA	1	627,86	627,86
8566	CONTACTOR SCHNEIDER 30KVAR 400V. BOBINA 220VAC. LC1DPKM7	SCHNEIDER	PZA	1	1.207,42	1.207,42
8567	CONTACTOR SCHNEIDER 40KVAR 400V. BOBINA 220VAC. LC1DTK12M7	SCHNEIDER	PZA	1	1.725,42	1.725,42
8611	INT. BREAKER FIJO SCHNEIDER 20A 18KA 380V TRIF EZC100N3020	SCHNEIDER	PZA	1	480,59	480,59
8614	INT. BREAKER FIJO SCHNEIDER 40A 18KA 380V TRIF EZC100N3040	SCHNEIDER	PZA	1	480,59	480,59
8616	INT. BREAKER FIJO SCHNEIDER 60A 18KA 380V TRIF EZC100N3060	SCHNEIDER	PZA	1	480,59	480,59
8617	INT. BREAKER FIJO SCHNEIDER 80A 18KA 380V TRIF EZC100N3080	SCHNEIDER	PZA	1	522,00	522,00
8623	INT. BREAKER FIJO SCHNEIDER 250A 25KA 380V TRIF EZC250N3250	SCHNEIDER	PZA	1	1.600,80	1.600,80
8288	BARRA PRINC. ABB cu 250A L=1,2 M A1-A2 F LINK 1SDA066844R1	ABB	PZA	1	742,51	742,51
8292	BARRA DE APOYO ABB PLAST. PARA ASAMB. F. LINK A1-A2 1SDA06684 3R1	ABB	PZA	2	158,49	316,98
8291	BARRA DE FIJACION ABB ALUM L=1,2M A1-A2 F LINK 1SDA066847R1	ABB	PZA	1	223,62	223,62
7361	KIT DE CONEX. SALIDA PARA A1 FOR LINK 1SDA066841R1	ABB	PZA	1	190,33	190,33
8287	KIT DE CONEXION PARA OJALES 250AMP. FORM LINK 1SDA068839R1	ABB	PZA	2	120,13	240,26
9505	SOPORTE MENSULA MECANO 45CM SMS045AG	MECANO	PZA	1	117,90	117,90
5796	CAJA MODULAR ABB SR12830 1200X800X300 IP-65	ABB	PZA	1	3.201,01	3.201,01
593	CABLE FLEX INDUSCABOS 70FC 750V 1 X 1,0 MM2 NEGRO	INDUSCABOS	MTS	10	1,12	11,20

Tabla 7.10 Cotización material banco de capacitores hoja 1

Fuente: Electrored Bolivia S.R.L.

596	CABLE FLEX INDUSCABOS 70°C 750V 1 X 4 MM2 NEGRO	INDUSCABOS	MTS	6	2,43	14,58
597	CABLE FLEX INDUSCABOS 70°C 750V 1 X 10 MM2 NEGRO	INDUSCABOS	MTS	6	6,51	39,06
598	CABLE FLEX INDUSCABOS 70°C 750V 1 X 16 MM2 NEGRO	INDUSCABOS	MTS	6	6,51	39,06
599	CABLE FLEX INDUSCABOS 70°C 750V 1 X 25 MM2 NEGRO	INDUSCABOS	MTS	6	17,70	106,20
10417	VENTILADOR CON FILTRO FINDER 230 M3/H, 230VAC 250 X 250 MM 7F5082304230	FINDER	PZA.	1	1.054,59	1.054,59
P044	MANO DE OBRA					7000
SUBTOTAL						30.144,20
DESCUENTO						27.129,78
TOTAL						27.129,78

RESPONSABLE Y CONSULTA
 NOMBRE: EJECUTIVO DE VENTAS VLP03
 CARGO:
 CELULAR:
 E-MAIL:

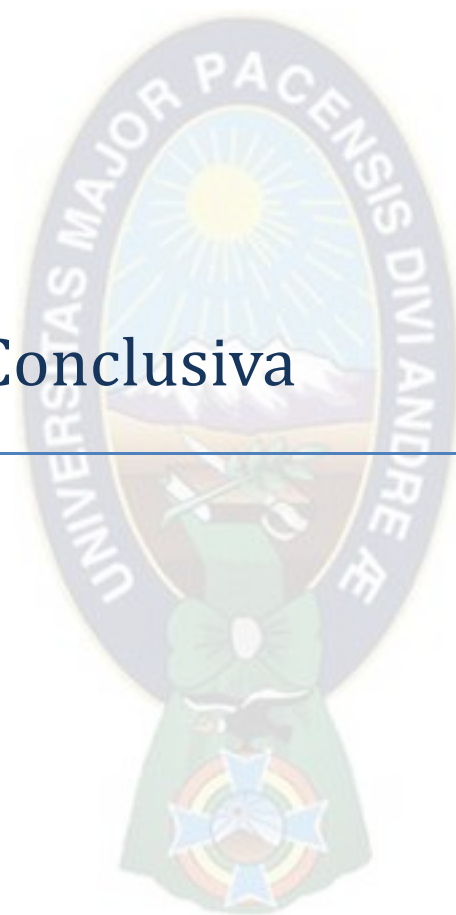
FECHA DE COTIZACION : 13/05/2019

Tabla 7.11 Cotización material banco de capacitores hoja 2

Fuente: Electrored Bolivia S.R.L.



PARTE V. Conclusiva



Capítulo 8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Se diseñó un banco de capacitores automático, el cual por las características que tiene resulta ser la mejor opción técnica y económicamente hablado, pues se ha optimizado el uso de recursos gracias a las capacidades que tiene el controlador y a las consideraciones técnicas aplicadas tras el estudio de cada elemento que compone el banco de capacitores, por ende la mano de obra para la implementación del mismo es menor, representando menor inversión económica para la empresa.
- Se presentó los resultados obtenidos durante tres días de mediciones con un intervalo de 30 minutos entre cada valor registrado, la medición completa de los parámetros de mayor importancia como ser, la potencia demandada, el factor de potencia y los niveles de distorsión armónica en corriente y voltaje para el desarrollo del proyecto, los mismos pueden revisarse en el ANEXO D (a). Las mediciones se han logrado instalando un medidor de panel electrónico que por las características del mismo funciona como un analizador de redes, siendo ésta una de las novedades dejando de lado la utilización de un analizador de redes eléctricas que tiene un costo elevado sólo por el alquiler del mismo.
- Se analizaron los datos registrados en el periodo de medición y tras graficar los mismos, se ha podido determinar la dinámica del consumo eléctrico de la planta industrial, y se aprecia que los procesos llevados durante cada jornada de trabajo en la planta es similar, entrando y saliendo de funcionamiento maquinas en determinados horarios, haciendo que el factor de potencia varié para cada potencia demandada. Del análisis realizado se ha visto por conveniente, realizar el cálculo de la potencia reactiva para cada período de

tiempo y así alcanzar un factor de potencia de 0.9, llegando a determinar que como máximo se requiere una potencia reactiva de 90 kVAr.

- Se definió la compensación centralizada y automática, pues por restricciones de gerencia de Cofitex Ltda. no es permitido realizar un levantamiento a detalle de la maquinaria con la que ellos realizan sus procesos de producción, Siendo la estrategia la más adecuada para la generación de energía reactiva de manera local.
- Se estudiaron las características técnicas y los nuevos productos disponibles en el mercado local para la solución, esto es de lo más importante pues conociendo las características de los componentes se puede elegir aquellos que más se adecuan a las necesidades técnicas y económicas de la empresa Cofitex Ltda.
- Se eligieron los componentes principales que conforman la estructura de un banco de capacitores automático, el detalle de valores puede revisarse en la sección 7.1
- Se propuso el armado del tablero automático, basados en la elección de los componentes que satisfacen la demanda de potencia reactiva, para ello se ha realizado el plano de instalación eléctrica de el circuito de control y el circuito de potencia, se presentó el esquema de la ubicación de los componentes en el tablero y se presentó la cotización de los componentes y accesorios necesarios para la implementación del banco de capacitores automático.

8.2 Recomendaciones

A partir de los resultados alcanzados en el presente proyecto, se pueden señalar las siguientes recomendaciones.

- Siempre es necesaria realizar la medición de los parámetros eléctricos, pues así se puede conocer cuáles son las características en cuanto a calidad de energía eléctrica que se suministra a la planta y como esta es aprovechada por el usuario, pues el dato entregado

por la empresa distribuidora de energía es un valor promedio basado en el cálculo de consumo de energías en el periodo de un mes aproximadamente.

- Si bien dimensionar una batería de capacitores puede hacerse teniendo en cuenta las capacidades del transformador de distribución, la mayor potencia demandada en la planta y considerar el valor más bajo del factor de potencia puede que dependiendo de las características de la planta el banco de capacitores sea sobredimensionado, resultando un precio elevado la adquisición de un banco de capacitores.
- Si bien el nivel de distorsión armónica no es de consideración en la planta y se puede llegar a despreciar, esto no significa que no existan soluciones para proteger de mejor manera el banco de capacitores, sino que hacer una inversión de este tipo cuando no se amerita puede elevar mucho más el precio final del banco.
- Un banco de capacitores diseñado para trabajar en una planta específica no puede reinstalarse en otra planta que tenga "similar factor de potencia", pues puede que no se alcance al factor de potencia objetivo, ya que la potencia del banco está directamente ligada a la potencia activa demandada.

Material Anexo y Complementario

Bibliografía.

- [1]. Schneider Electric España, S.A., "Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010 según normas internacionales IEC" Cuarta Edición, Abril de 2010
- [2]. ABB SACE, "Manual técnico de instalaciones eléctricas. Aparatos de protección y maniobra. La instalación eléctrica" ,Segunda edición en español, Octubre 2007
- [3]. Asea Brown Boveri S.A., "Cuaderno de aplicaciones técnicas N°8 Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas", Low Voltaje Products.
- [4]. Schneider Electric Industries SAS, "Guide for the Design and Production of LV Power Factor correction cubicles", Panel Builder Guide 2015
- [5]. LIFASA Reactive Power Solutions, "Compensación de Energía Reactiva y Filtros Armónicos", www.lifasa.com
- [6]. IBNORCA, "Norma Boliviana NB777, Diseño y Construcción de Instalaciones Eléctricas interiores en Baja Tensión"
- [7]. DELAPAZ, "Presentación: Sistema Tarifario de distribución de Energía Eléctrica", Abril 2016
- [8]. ABB, "Motores de baja tensión. La guía del Motor", 2014 www.abb.com/motors&generators
- [9]. ABB, "Baja Tensión. Motores de aplicación general en hierro fundido", www.abb.com/motors&generators
- [10]. P. Ferracci & Centro de Formación Schneider Electric, "Cuaderno Técnico N°199: La Calidad de la Energía Eléctrica"
- [11]. Cooperativa Rural de Electrificación R.L. "Manual del Consumidor", Bolivia
- [12]. Total Ground, "Manual de Operación e Instalación de Capacitores Automáticos"
- [13]. Sanchez Norato Cesar, "Capitulo 6 Circuitos RLC"
- [14]. Merlin Gerin, Schneider Electric, "Complementos técnicos de la Calidad de la Energía"
- [15]. Schneider Electric, "Serie Power Logic pm5500, Manual de Usuario", febrero 2016
- [16]. Lifasa, "Power Factor Regulator MCE-ADV", Manual de Usuario
- [17]. Schneider Electric Industries SAS, "Varlogic NR6, NR12 Power Factor Controller, User Manual"

- [18]. Asea Brown Boveri, "Envolventes metálicas para Automatización"
- [19]. Un proyecto de la unidad de planeacion Minero energetica de Colombia (UPME) y el instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas", "Correccion del factor de Potencia y Control de la Demanda", Universidad del Atlantico, Universidad Autónoma de Occidente
- [20]. Schneider Electric, "Capacitor Protection, Installation Guide"
- [21]. Escuela Politécnica Superior Universidad de Sevilla, "Circuitos de corriente alterna Sinusoidal"
- [22]. Usaola García Julio, Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, "Apuntes de teoría de circuitos", 2002

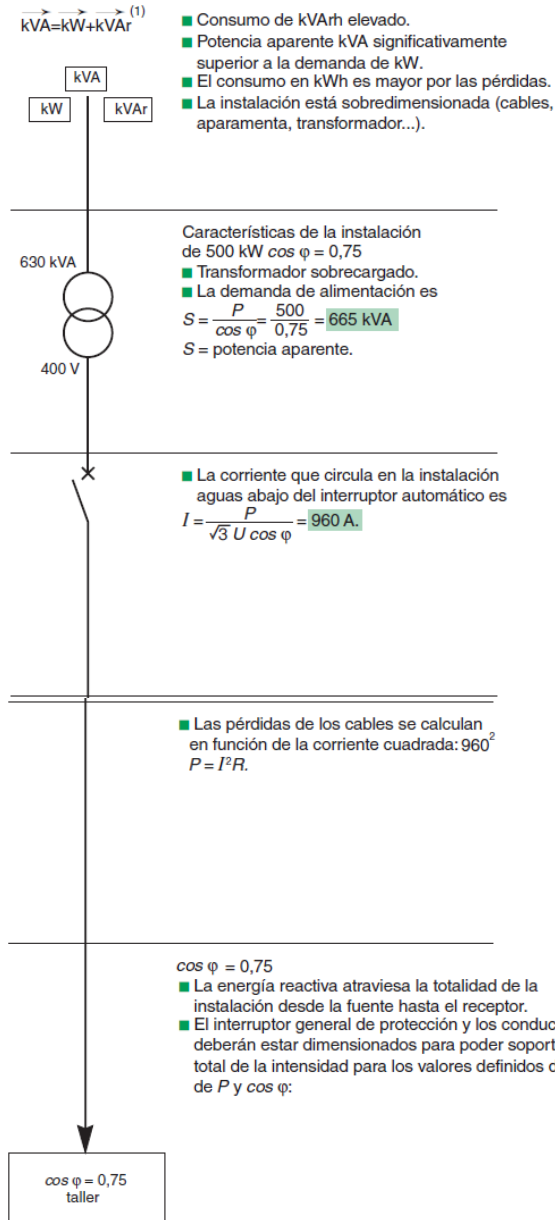
- [23]. Jaramillo M. (2001), México: Facultad de Ingenieria Trillas, *Electricidad y Magnetismo*.
- [24]. Rodríguez P. Ángel, Universidad de Cantabria, "Circuitos de Corriente Alterna Trifásica"
- [25]. Schneider Electric, Serie PowerLogic PM5500, "Manual de usuario"
- [26]. Schneider Electric, Serie PowerLogic PM5560, "Manual de Instalacion"
- [27]. Schneider Electric, Varlogic NR6,NR12, Power Factor Controller User Manual

ANEXO A: Tabla del Factor K

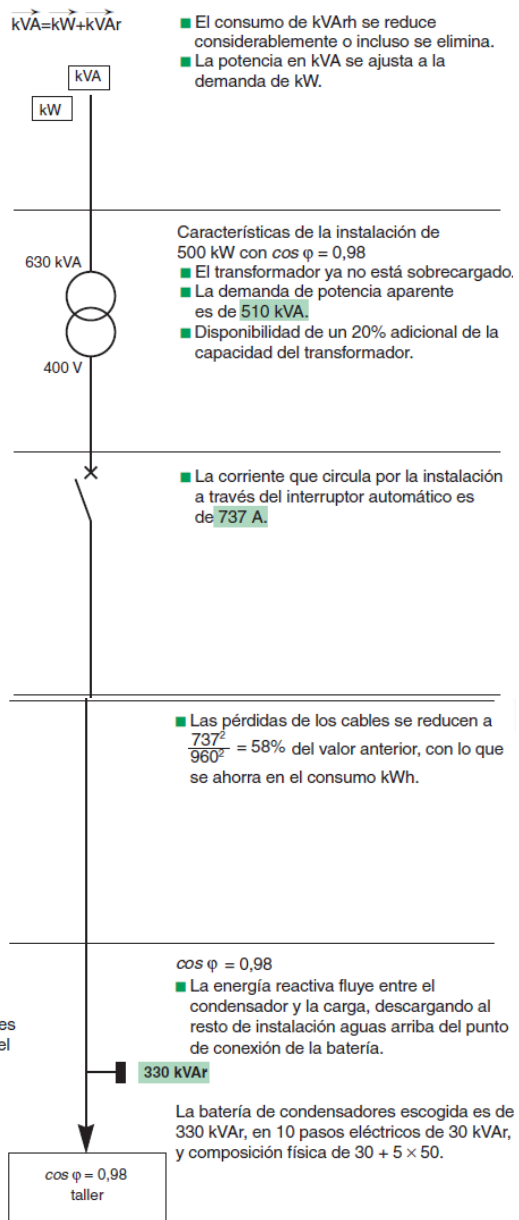
Antes de la compensación		Especificación de kVAR de una batería de condensadores que se van a instalar por kW de carga para mejorar $\cos \varphi$ (el factor de potencia) o $\tan \varphi$ con un valor determinado													
		$\tan \varphi$	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1	
2,29	0,40	1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288	
2,22	0,41	1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,082	2,225	
2,16	0,42	1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164	
2,10	0,43	1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107	
2,04	0,44	1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041	
1,98	0,45	1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,628	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988	
1,93	0,46	1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929	
1,88	0,47	1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881	
1,83	0,48	1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826	
1,78	0,49	1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782	
1,73	0,50	0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732	
1,69	0,51	0,936	1,087	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686	
1,64	0,52	0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644	
1,60	0,53	0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600	
1,56	0,54	0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559	
1,52	0,55	0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519	
1,48	0,56	0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480	
1,44	0,57	0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442	
1,40	0,58	0,655	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405	
1,37	0,59	0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368	
1,33	0,60	0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334	
1,30	0,61	0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299	
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265	
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233	
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200	
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169	
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138	
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108	
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079	
1,05	0,69	0,299	0,449	0,566	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049	
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020	
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992	
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963	
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936	
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909	
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882	
0,86	0,76	0,106	0,256	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855	
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829	
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803	
0,78	0,79	0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776	
0,75	0,80		0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750	
0,72	0,81		0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724	
0,70	0,82		0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698	
0,67	0,83		0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672	
0,65	0,84		0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645	
0,62	0,85		0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620	
0,59	0,86			0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593	
0,57	0,87			0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567	
0,54	0,88			0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538	
0,51	0,89			0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512	
0,48	0,90				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484	

ANEXO B: Ejemplo de una instalación antes y después de la compensación de la energía reactiva

Instalación sin compensar



Instalación compensada



Nota: en realidad, el $\cos \phi$ del taller, se mantiene en 0,75, pero el $\cos \phi$ aguas arriba de la batería de condensadores es 0,98. Tal como se menciona en el subapartado 6.2, el $\cos \phi$ en el lado de MT del transformador, punto de lectura de la compañía, es ligeramente inferior, debido a las pérdidas de potencia reactiva en el transformador.

Fig. L26: Comparación técnico-económica de una instalación antes y después de la corrección del factor de potencia.

ANEXO C: Configuración de los parámetros del medidor



Cambie la configuración regional (si fuera necesario):

1. Vaya a **Mant > Config > HMI > Región**.
2. Utilice los botones **Editar** y **+ o -** para modificar el valor de los parámetros **Idioma**, **Fecha**, **Hora Formato** o **Modo HMI**.

Para restablecer el idioma predeterminado (inglés) de la central de medida, mantenga pulsados los dos botones exteriores durante 5 segundos.

Realice la configuración básica:

1. Vaya a **Mant > Config > Medid > Básic**.
2. Edite todos los parámetros de modo que se correspondan con los de su sistema de alimentación y su cableado eléctrico.
3. Salga y guarde sus parámetros.

Configure las comunicaciones:

1. Vaya a **Mant > Config > Com**.
2. Seleccione **Serie** para editar los parámetros de Modbus/RS-485 de modo que coincidan con sus comunicaciones de red.
3. Salga y guarde sus parámetros.

Para configurar la comunicación Ethernet, repita los pasos anteriores pero seleccionando **Ether** y edite los parámetros IP conforme a las asignaciones que su administrador de redes haya realizado respecto de la central de medida.

ANEXO D: Mediciones y Cálculos

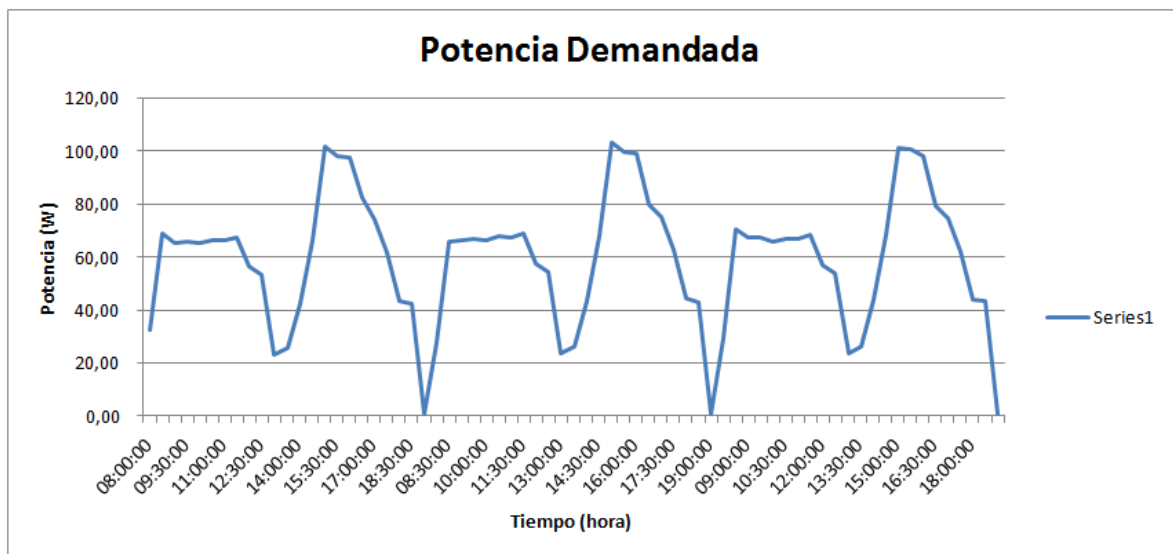
a) VALORES MEDIDOS EN LOS TRES DIAS

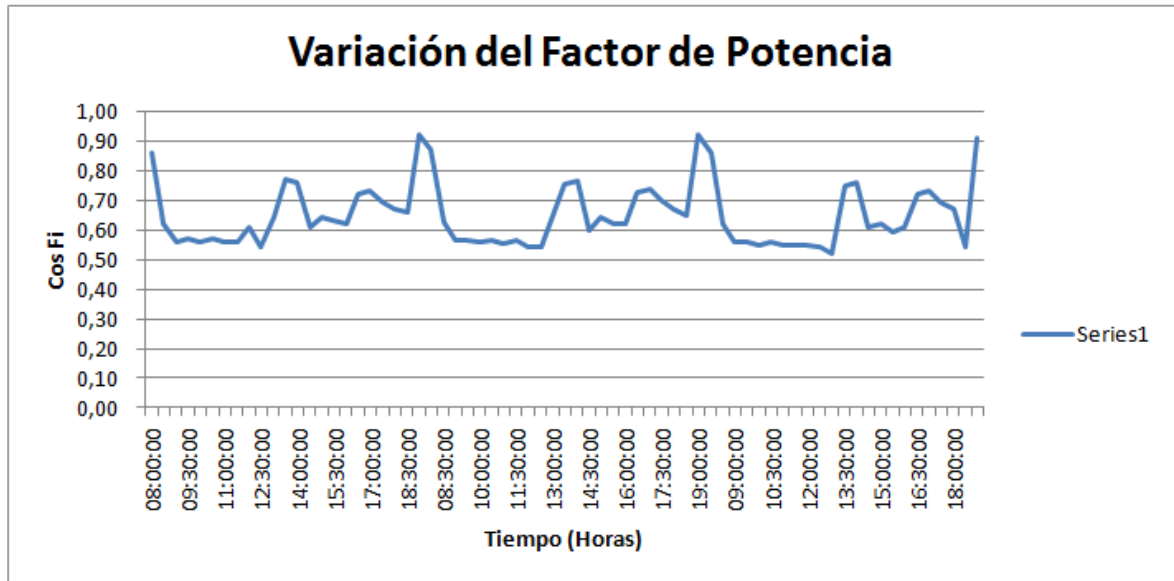
	HORA	POTENCIA (W)	COS φ	THDi (%)	THDv (%)
Día 1	08:00:00	32,48	0,86	0,08	0,01
	08:30:00	68,74	0,62	1,82	0,31
	09:00:00	65,36	0,56	1,80	0,30
	09:30:00	65,81	0,57	1,81	0,31
	10:00:00	65,32	0,56	1,83	0,33
	10:30:00	66,35	0,57	1,76	0,35
	11:00:00	66,33	0,56	1,84	0,40
	11:30:00	67,62	0,56	1,84	0,40
	12:00:00	56,41	0,61	1,85	0,40
	12:30:00	53,15	0,54	1,23	0,41
	13:00:00	23,31	0,64	1,19	0,41
	13:30:00	25,72	0,77	2,14	0,74
	14:00:00	42,54	0,76	4,31	1,34
	14:30:00	66,46	0,61	4,22	1,30
	15:00:00	101,62	0,64	2,36	0,85
	15:30:00	98,25	0,63	2,64	0,84
	16:00:00	97,57	0,62	2,87	0,85
	16:30:00	82,38	0,72	3,36	1,19
	17:00:00	74,32	0,73	3,39	1,18
	17:30:00	61,58	0,69	4,42	1,29
18:00:00	43,36	0,67	4,50	1,31	
18:30:00	42,24	0,66	0,60	0,16	
19:00:00	0,84	0,92	0,07	0,01	

Día 2	08:00:00	27,58	0,87	0,08	0,01
	08:30:00	65,87	0,63	1,84	0,31
	09:00:00	66,33	0,56	1,82	0,30
	09:30:00	66,79	0,56	1,83	0,31
	10:00:00	66,29	0,56	1,86	0,33
	10:30:00	67,67	0,56	1,78	0,35
	11:00:00	67,65	0,55	1,87	0,41
	11:30:00	68,97	0,56	1,87	0,41
	12:00:00	57,53	0,54	1,88	0,41
	12:30:00	54,20	0,54	1,25	0,42
	13:00:00	23,78	0,65	1,21	0,42
	13:30:00	26,23	0,76	2,17	0,75
	14:00:00	43,39	0,77	4,37	1,36
	14:30:00	67,78	0,60	4,28	1,32
	15:00:00	103,13	0,64	2,39	0,86
	15:30:00	99,71	0,62	2,68	0,85
	16:00:00	99,02	0,62	2,91	0,86
	16:30:00	80,02	0,73	3,41	1,21
	17:00:00	75,42	0,74	3,44	1,19
	17:30:00	62,81	0,70	4,48	1,31
18:00:00	44,22	0,67	4,56	1,33	
18:30:00	43,08	0,65	0,61	0,16	
19:00:00	0,86	0,92	0,07	0,01	
Día 3	08:00:00	29,43	0,86	0,08	0,01
	08:30:00	70,62	0,62	1,85	0,31
	09:00:00	67,15	0,56	1,83	0,30
	09:30:00	67,61	0,56	1,84	0,31
	10:00:00	65,73	0,55	1,86	0,33
	10:30:00	67,10	0,56	1,79	0,35
	11:00:00	67,08	0,55	1,87	0,41
	11:30:00	68,39	0,55	1,87	0,41

	12:00:00	57,05	0,55	1,88	0,41
	12:30:00	53,75	0,54	1,25	0,42
	13:00:00	23,58	0,52	1,21	0,42
	13:30:00	26,01	0,75	2,17	0,75
	14:00:00	43,92	0,76	4,37	1,36
	14:30:00	68,62	0,61	4,28	1,32
	15:00:00	101,28	0,62	2,40	0,86
	15:30:00	100,94	0,59	2,68	0,85
	16:00:00	98,18	0,61	2,91	0,86
	16:30:00	79,35	0,72	3,41	1,21
	17:00:00	74,79	0,73	3,44	1,20
	17:30:00	62,28	0,69	4,49	1,31
	18:00:00	43,85	0,67	4,57	1,33
	18:30:00	43,62	0,54	0,61	0,16
	19:00:00	0,71	0,91	0,07	0,01

b) Gráficas de la potencia demandada y variación del factor de potencia en los 3 días de medición





c) Cálculo de las Potencias reactivas necesarias para llegar a un factor de potencia de 0.9 ó 0.95

	HORA	POTENCIA k(W)	COS ϕ	POT Q kVar PARA fp=0,9	POT Q kVar PARA fp= 0,95
Día 1	08:00:00	32,48	0,86	3,54	8,60
	08:30:00	68,74	0,62	53,70	64,40
	09:00:00	65,36	0,56	65,04	75,22
	09:30:00	65,81	0,57	62,99	73,24
	10:00:00	65,32	0,56	65,00	75,17
	10:30:00	66,35	0,57	63,51	73,84
	11:00:00	66,33	0,56	66,01	76,33
	11:30:00	67,62	0,56	67,29	77,82
	12:00:00	56,41	0,61	45,96	54,74
	12:30:00	53,15	0,54	57,10	65,37
	13:00:00	23,31	0,64	16,70	20,33
	13:30:00	25,72	0,77	8,86	12,86

	14:00:00	42,54	0,76	15,78	22,40
	14:30:00	66,46	0,61	54,14	64,49
	15:00:00	101,62	0,64	72,79	88,61
	15:30:00	98,25	0,63	73,53	88,82
	16:00:00	97,57	0,62	76,22	91,41
	16:30:00	82,38	0,72	39,50	52,33
	17:00:00	74,32	0,73	33,59	45,15
	17:30:00	61,58	0,69	34,77	44,36
	18:00:00	43,36	0,67	27,04	33,79
	18:30:00	42,24	0,66	27,63	34,20
	19:00:00	0,84	0,92	-0,05	0,08
Día 2	08:00:00	27,58	0,87	2,27	6,57
	08:30:00	65,87	0,63	50,36	60,62
	09:00:00	66,33	0,56	64,86	75,18
	09:30:00	66,79	0,56	65,30	75,70
	10:00:00	66,29	0,56	65,97	76,28
	10:30:00	67,67	0,56	66,17	76,70
	11:00:00	67,65	0,55	68,77	79,30
	11:30:00	68,97	0,56	67,44	78,17
	12:00:00	57,53	0,54	60,79	69,74
	12:30:00	54,20	0,54	57,27	65,71
	13:00:00	23,78	0,65	16,28	19,98
	13:30:00	26,23	0,76	10,00	14,08
	14:00:00	43,39	0,77	15,38	22,13
	14:30:00	67,78	0,60	57,55	68,09
	15:00:00	103,13	0,64	73,87	89,92
	15:30:00	99,71	0,62	77,89	93,40
	16:00:00	99,02	0,62	77,35	92,76
16:30:00	80,02	0,73	37,08	49,54	
17:00:00	75,42	0,74	32,86	44,60	
17:30:00	62,81	0,70	34,45	44,23	

	18:00:00	44,22	0,67	27,58	34,46
	18:30:00	43,08	0,65	29,50	36,21
	19:00:00	0,86	0,92	-0,05	0,08
Día 3	08:00:00	29,43	0,86	3,21	7,79
	08:30:00	70,62	0,62	55,17	66,16
	09:00:00	67,15	0,56	66,82	77,27
	09:30:00	67,61	0,56	67,29	77,81
	10:00:00	65,73	0,55	67,98	78,21
	10:30:00	67,10	0,56	66,78	77,22
	11:00:00	67,08	0,55	69,37	79,81
	11:30:00	68,39	0,55	70,72	81,37
	12:00:00	57,05	0,55	59,00	67,88
	12:30:00	53,75	0,54	57,74	66,11
	13:00:00	23,58	0,52	27,31	30,98
	13:30:00	26,01	0,75	10,34	14,39
	14:00:00	43,92	0,76	16,29	23,12
	14:30:00	68,62	0,61	55,90	66,58
	15:00:00	101,28	0,62	79,12	94,88
	15:30:00	100,94	0,59	89,25	104,96
	16:00:00	98,18	0,61	79,99	95,27
	16:30:00	79,35	0,72	38,05	50,40
	17:00:00	74,79	0,73	33,80	45,44
	17:30:00	62,28	0,69	35,17	44,86
18:00:00	43,85	0,67	27,35	34,17	
18:30:00	43,62	0,54	46,86	53,65	
19:00:00	0,71	0,91	-0,02	0,09	


ANEXO E: Factura COFITEX LTDA.

FACTURA
1020613020
126866
296401700003546
ORIGINAL
ELECTRICA

ID: 914036

IND. TEXTIL
2103 - 120

Peter Mamani



DELAPAZ
DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD LA PAZ S.A. DELAPAZ
Av. Illimani N° 1987 - Tel. 222 2200
La Paz - Bolivia
www.delapaz.bo

Sucursal 0
SFC: 05

FACTURA
NIT: 1020613020
FACTURA N°: 589758
AUTORIZACIÓN 296401600003546
ORIGINAL

GENERACIÓN, CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

DATOS DEL CONSUMIDOR

Fecha de emisión: La Paz 31 de Enero de 2011
Señor (a): COFITEX LTDA

NIT / Cl: 1008661024 N° Cliente: 549420-1-9 N° Medidor: 914036
Dirección: ACHACHIC, AV. CHACALTAYA 2103

Ciudad o localidad: LA PAZ Actividad: IND. TEXTIL
Carta Factura: 15012 Remesa y Ruta 22 - 2103 - 120

Mes de la factura: ENERO-2011
Categoría tarifaria: I-GD-MT Industrial Mayor

Fecha de lectura	Anterior	Actual	
29-Dic-10	1913	1915	120 kWh
Bloque Alto	922	1128	12360 kWh
Bloque Medio	527	529	120 kWh
Bloque Bajo			
Tipo de Lectura	Lectura Normal		
Multiplicador	60		
Energía consumida en (28) días	12600 kWh		
Perdidas en el Transformador	582 kWh		
Total Energía a Facturar	13182 kWh		
Potencia leída	Bloque Alto	Bloque Medio	Bloque Bajo
	11 kW	87 kW	2 kW
Potencia de Punta a Facturar	20 kW		
Exceso de potencia fuera de punta	70 kW		
Energía reactiva	16820 KVAh Factor de potencia 0.62		

DETALLE DE FACTURACIÓN

Importe por Energía	Bs	495.80
Importe por Energía - Bloque Alto	Bs	56.13
Importe por Energía - Bloque Medio	Bs	5,053.79
Importe por Energía - Bloque Bajo	Bs	42.04
Importe por Potencia	Bs	1,475.08
Importe por Exceso de Potencia Fuera de Punta	Bs	2,352.78
Importe por Consumo	Bs	9,475.62
Importe por bajo factor de potencia	Bs	871.75
Importe Total por Consumo	Bs	10,347.37
Mas Intereses por Mora	Bs	57.79
Importe Total por el Suministro	Bs	10,405.16
Tasas para el Gobierno Municipal		
Por Alumbrado Público	Bs	905.94
Por Aseo Urbano	Bs	612.00
Importe Total Factura	Bs	11,923.10

SON: ONCE MIL NOVECIENTOS VEINTITRES, CON 10/100. Bolivianos

Importe del mes a cancelar Bs 11,923.10

DEUDA PENDIENTE DE PAGO

Mas Deuda(s) Pendiente(s) de Energía (1)	Bs	12,395.70
Deuda(s) Pendiente(s) de Tasa de Aseo (1)	Bs	612.00

Importe total a cancelar Bs 24,930.80
Son: VENTICUATRO MIL NOVECIENTOS TREINTA, CON 80/100. Bolivianos


Importe base para Crédito Fiscal Bs 10,405.16

HISTORICO	Mes / Año	Consumo kWh
01/20		15420
02/20		14340
03/20		12540
04/20		11520
05/20		11520
06/20		10500
07/20		12660
08/20		13620
09/20		13920
10/20		16260
11/20		15360
12/20		16620
01/20		13182

La falta de pago en término de dos facturas dará lugar al corte del servicio.
Fecha de vencimiento: 02/03/11
Fecha estimada próxima medición: 28/02/11
Fecha estimada próxima emisión: 28/02/11

Señor (a) cliente: Los reclamos por servicio deben ser presentados en el sistema ODECO de DELAPAZ en forma verbal o escrita. En caso de no tener respuesta en el plazo establecido, o que ésta no sea satisfactoria para Ud., puede acudir a la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad o comunicarse a la "Línea Naranja" 800-10-2407.

CÓDIGO DE CONTROL: C1-48-2A-10-CD
FECHA LÍMITE DE EMISIÓN: 01/02/11



*ESTA FACTURA CONTRIBUYE AL DESARROLLO DEL PAÍS. EL URO SUJETO DE ESTA SERÁ FIANCIADO DE ACUERDO A LA LEY 1974/03. Los usuarios deben suministrar en contribución de acuerdo a sus posibilidades.

Mes Factura: ENE 2011
N° Cliente: 549420-1-9
N° Factura: 589758
Importe Bs: 24,930.80

CÓDIGO DE COBRANZA: 20170200002809

TALÓN NO VÁLIDO PARA CRÉDITO FISCAL (Y TALÓN EN PUNTO DE COBRANZA)

ANEXO F: Fichas Técnicas

a) Transformador de corriente

MFO SERIES

- VOLT : 600V AC
- FREQUENCY : 50/60 HZ



MFO-20
WITH BUSBAR

MODEL NO.	RATIO	CONDUCTOR THROUGH	BURDEN VA	CLASS	DIMENSIONS	UNIT:mm.
MFO-20A	10/5A	4T	1.5 VA	1.0		
MFO-20A	20/5A	2T	1.5 VA	1.0		
MFO-20A	30/5A	2T	2.5 VA	1.0		
MFO-20A	40/5A	1T	1.5 VA	1.0		
MFO-20A	50/5A	1T	2.5 VA	1.0		
MFO-30	60/5A	1T	2.5 VA	1.0		
MFO-30	75/5A	1T	2.5 VA	1.0		
MFO-30	80/5A	1T	2.5 VA	1.0		
MFO-30	100/5A	1T	2.5 VA	1.0		
MFO-30	120/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-30	150/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-30	200/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-30	250/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-30	300/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-40	150/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-40	200/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-40	250/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-40	300/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-40	400/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-40	500/5A	1T	10 VA	1.0		
MFO-40	600/5A	1T	10 VA	1.0		
MFO-60	400/5A	1T	5 VA	1.0		
MFO-60	500/5A	1T	10 VA	1.0		
MFO-60	600/5A	1T	10 VA	1.0		
MFO-60	800/5A	1T	10 VA	1.0		
MFO-60	1000/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	800/5A	1T	10 VA	1.0		
MFO-100	1000/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	1200/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	1500/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	1600/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	2000/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	2500/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-100	3000/5A	1T	15 VA	1.0		
MFO-20	30/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	40/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	50/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	60/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	75/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	80/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	100/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	150/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	200/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		
MFO-20	250/5A	WITH BUSBAR	5 VA	0.5		

★ WITH BUSBAR

b) Regulador de pasos NR-6

Component
Selection guide
PF Controller

Offer overview - Varlogic power factor controller

Technical data

General data

- operating temperature: 0...60 °C
- storage temperature: -20° C...80 °C
- colour: RAL 7016
- standard:
 - EMC: IEC 61326
 - electrical: IEC/EN 61010-1.
- panel mounting
- mounting on 35 mm DIN rail (EN 50022)
 - protection class in panel mounting:
 - front face: IP41
 - rear face: IP20.
- display
 - NR6, NR12 type: backlighted screen 65 x 21 mm
 - NRC12 type: backlighted graphic screen 55 x 28 mm.
 - languages: English, French, German, Portuguese, Spanish
- alarm contact
- temperature internal probe
- separate contact to control fan inside the power factor correction bank
- access to the history of alarm.



Varlogic NR6/NR12

Inputs

- phase to phase or phase to neutral connection
- insensitive to CT polarity
- insensitive to phase rotation polarity
- current input:
 - NR6, NR12 type: CT... X/5 A
 - NRC12 type: CT... X/5 A et X/1 A.

Outputs

- potential free output contacts:
 - AC : 1 A/400 V, 2 A/250 V, 5 A/120 V
 - DC : 0,3 A/110 V, 0,6 A/60 V, 2 A/24 V.

Settings and parameters

- target $\cos \varphi$ setting: 0.85 ind...0.9 cap
- possibility of a dual $\cos \varphi$ target (type NRC12)
- manual or automatic parameter setting of the power factor controller
- choice of different stepping programs:
 - linear
 - normal
 - circular
 - optimal.



Varlogic NRC12



- main step sequences:
 - 1.1.1.1.1.1 • 1.2.3.3.3.3
 - 1.2.2.2.2.2 • 1.2.4.4.4.4
 - 1.2.3.4.4.4 • 1.1.2.3.3.3
 - 1.1.2.2.2.2 • 1.2.4.8.8.8
- personalized sequences for NRC12 type
- delay between 2 successive switch on of a same step:
 - NR6, NR12 type: 10 ... 600 s
 - NRC12 type: 10 ... 900 s
- step configuration programming (fixed/auto/disconnected) (NRC12 type)
- 4 quadrant operation for generator application (NRC12 type)
- manual control for operating test.

Range

Type	Number of step output contacts	Part number
NR6	6	52448
NR12	12	52449
NRC12	12	52450
RT6	6	51207
RT8	8	51209
RT12	12	51213
Accessories		
Communication RS485 Modbus set for NRC12		52451
Temperature external probe for NRC12 type in addition to internal probe allows measurement at the hottest point inside the capacitor		52452

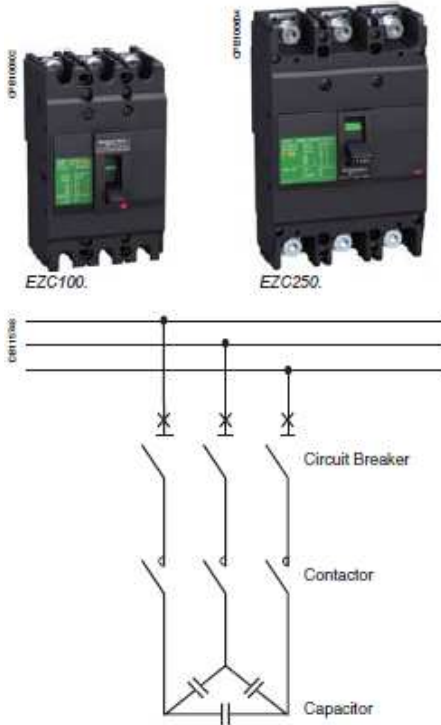
Varlogic - Technical characteristics

General characteristics			
Output relays			
AC	5 A / 120 V	2 A / 250 V	1 A / 400 V
DC	0.3 A / 110 V	0.6 A / 60 V	2 A / 24 V
Protection Index			
Front panel	IP41		
Rear	IP20		
Measuring current	0 to 5 A		
Specific features	RT6	NR-6/12	NRC12
Number of steps	6	6 / 12	12
Supply voltage (V AC)		88 to 130	88 to 130
50 / 60 Hz	185 to 265 320 to 460	185 to 265 320 to 460	185 to 265 320 to 460
Display			
4 digit 7 segment LEDs	•		
65 x 21 mm backlit screen		•	
55 x 28 mm backlit screen			•
Dimensions	143 x 143 x 67	155 x 158 x 70	155 x 158 x 80
Flush panel mounting	•	•	•
35 mm DIN rail mounting (EN 50022)		•	•
Operating temperature	0 °C - 55 °C	0 °C - 60 °C	0 °C - 60 °C
Alarm contact			
Internal temperature probe			
Separate fan relay contact			
Alarm history		Last 5 alarms	Last 5 alarms
Type of connection			
Phase-to-neutral		•	•
Phase-to-phase	•	•	•
Current input			
CT... 10000/5 A	•		
CT 25/5 A ... 6000/5 A		•	•
CT 25/1 A ... 6000/5 A			•
Target cosφ setting			
0.85 ind. ... 1	•		
0.85 ind. ... 0.9 cap.		•	•
Possibility of a dual cosφ target			•
Accuracy	±2 %	±5 %	±2 %
Response delay time	10 to 1800 s	10 to 120 s	10 to 180 s
Reconnection delay time			
10 to 1800 s	•		
10 to 600 s		•	
10 to 900 s			•
4-quadrant operation for generator application			•
Communication protocol			Modbus

c) Protección Termo magnética

Installation guide

Capacitor protection



EasyPact EZC circuit breaker is suitable for capacitor protection following the rules below:

■ **I_{nc}** = Nominal current of the capacitor

$$I_{nc} = \frac{Q_c}{U\sqrt{3}}$$

I_{nc} = Nominal Current Capacitor (A)
Q_c = Reactive power (kVAR)
U = Nominal Voltage (V)

■ **I_{nb}** = Nominal current of the circuit breaker (EZC)

- I_{nb} = 1.36 x I_{nc} for standard equipment
- I_{nb} = 1.5 x I_{nc} for overrated type equipment
- I_{nb} = 1.12 x I_{nc} for detuned type equipment: 2.7 tuning
- I_{nb} = 1.19 x I_{nc} for detuned type equipment: 3.8 tuning
- I_{nb} = 1.31 x I_{nc} for detuned type equipment: 4.3 tuning
- the short-circuit (magnetic) protection-setting thresholds must enable passage of the energising transients: 10 x I_{nc} for standard, overrated and detuned type equipment.

■ **I_{cu}** = Ultimate breaking capacity of the circuit breaker (EZC)

I_{cu} short-circuit level is given by the installation.

Example:

Table at 400 V AC - 3 phases 50 Hz for standard equipment.

Reactive power (kVAR)	I _{nc} (A)	I _{nb} (A)	Breaking capacity to Circuit Breaker	
			15 kA	30 kA
7.5	11	15	EZC100N3015	EZC100H3015
10	14	20	EZC100N3020	EZC100H3020
15	22	30	EZC100N3030	EZC100H3030
20	29	40	EZC100N3040	EZC100H3040
30	43	60	EZC100N3060	EZC100H3060
40	58	80	EZC100N3080	EZC100H3080
50	72	100	EZC100N3100	EZC100H3100
60	87	118	EZC250F3125	EZC250H3125
75	108	147	EZC250F3150	EZC250H3150
100	144	196	EZC250F3200	EZC250H3200

Product data sheet
Characteristics

EZC100N3020
circuit breaker EasyPact EZC100N - TMD - 20 A -
3 poles 3d



Main

Range of product	EasyPact
Product or component type	Circuit breaker
Device short name	Easypact EZC100N
Circuit breaker name	Easypact EZC100N
Device application	Distribution
Poles description	3P
Protected poles description	3t

Network type	AC DC
Network frequency	50/60 Hz
[In] rated current	100 A (40 °C)
[U _i] rated insulation voltage	690 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
[U _{imp}] rated impulse withstand voltage	6 kV conforming to IEC 60947-2
[U _e] rated operational voltage	250 V DC conforming to IEC 60947-2 550 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
Breaking capacity code	N
Breaking capacity	10 kA I _{cu} at 440 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 15 kA I _{cu} at 400...415 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 18 kA I _{cu} at 380 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 25 kA I _{cu} at 110...130 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 25 kA I _{cu} at 220...240 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 5 kA I _{cu} at 125 V DC 1P conforming to IEC 60947-2 5 kA I _{cu} at 250 V DC 2P conforming to IEC 60947-2 5 kA I _{cu} at 550 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
[I _{cs}] rated service breaking capacity	I _{cs} 5 kA 440 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 9 kA 380 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 12.5 kA 110/130 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 12.5 kA 220/230/240 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 2.5 kA 125 V DC conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 2.5 kA 250 V DC conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 2.5 kA 550 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2 I _{cs} 7.5 kA 400/415 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
Suitability for isolation	Yes conforming to IEC 60947-2
Utilisation category	Category A
Trip unit name	TM-D
Trip unit technology	Thermal-magnetic

May 30, 2019

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications.

Trip unit rating	20 A (50 °C)
Protection type	Overload protection Short-circuit protection
Pollution degree	3 conforming to IEC 60664-1 3 conforming to IEC 947-1

Complementary

Control type	Toggle
Mounting mode	Fixed
Mounting support	Backplate
Upside connection	Front
Downside connection	Front
Mechanical durability	8500 cycles
Electrical durability	Category A : 1500 cycles 415 V AC 50/60 Hz conforming to IEC 60947-2
Connection pitch	25 mm
Local signalling	Positive contact indication
Neutral protection setting	Without protection
Earth-leakage protection	Without
Height	130 mm
Width	75 mm
Depth	60 mm

Environment

Standards	EN/IEC 60947-1 EN/IEC 60947-2 JIS C8201-2-2 GB/T 14048.2
IP degree of protection	IP20 conforming to IEC 60529
IK degree of protection	IK07 conforming to IEC 62262
Ambient air temperature for operation	-25...70 °C
Ambient air temperature for storage	-35...85 °C

d) Ficha Técnica del Contactor

Product data sheet
Characteristics

LC1DTK12M7

TeSys LC1D.K capacitor duty contactor - 3P - 40
kVAR - 415 V - 220 V AC coil



Main

Range	TeSys
Product name	TeSys LC1D.K
Product or component type	Capacitor duty contactor

see products for specific user applications

Product or component type	Capacitor duty contactor
Device short name	LC1DTK
Contact application	Power factor correction
Poles description	3P
Power pole contact composition	3 NO
[Ue] rated operational voltage	<= 690 V AC 50/60 Hz for power circuit
Reactive power rating	40 kvar at 400...440 V AC 50/60 Hz <= 55 °C 58 kvar at 660...690 V AC 50/60 Hz <= 55 °C 25 kvar at 220...240 V AC 50/60 Hz <= 55 °C
Control circuit type	AC 50/60 Hz
[Uc] control circuit voltage	220 V AC 50/60 Hz
Auxiliary contact composition	1 NO + 2 NC
Mounting support	Plate Rail
Standards	IEC 60070 IEC 60831 NF C 54-100 VDE 0560
Product certifications	CSA UL
Connections - terminals	Power circuit : connector 1 cable(s) 2.5 mm ² - cable stiffness: flexible - with cable end Power circuit : connector 1 cable(s) 4 mm ² - cable stiffness: solid - with cable end Power circuit : connector 2 cable(s) 1.5 mm ² - cable stiffness: flexible - with cable end Power circuit : connector 2 cable(s) 4 mm ² - cable stiffness: solid - with cable end
Tightening torque	Power circuit : 5 N.m - on connector
Complementary	
Auxiliary contacts type	Type mechanically linked (1 NO + 1 NC) conforming to IEC 60947-5-1 Type mirror contact (1 NC) conforming to IEC 60947-4-1

May 28, 2019

Life is On | 

1

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these pro

Environment

IP degree of protection	IP2x conforming to IEC 60529 IP2x conforming to VDE 0106
Protective treatment	TH conforming to IEC 60068-2-30
Ambient air temperature for operation	-5...60 °C
Ambient air temperature for storage	-60...80 °C
Operating altitude	3000 m without derating
Height	180 mm
Width	75 mm
Depth	150 mm
Product weight	1.3 kg

Offer Sustainability

Sustainable offer status	Green Premium product
RoHS (date code: YYWW)	Compliant - since 0950 - Schneider Electric declaration of conformity Schneider Electric declaration of conformity
REACH	Reference not containing SVHC above the threshold Reference not containing SVHC above the threshold
Product environmental profile	Available Product Environmental Profile
Product end of life instructions	Need no specific recycling operations

Contractual warranty

Warranty period	18 months
-----------------	-----------

e) Ficha técnica del Capacitor

Component
Selection guide
Capacitors

VarPlus Can

VarPlusCan2 (30kvar)



Technical specifications

General characteristics

Standards	IEC 60831-1/2	
Voltage range	230 to 830 V	
Frequency	50 / 60Hz	
Power range	1 to 50 kvar	
Losses (dielectric)	< 0.2W/kvar	
Losses (total)	< 0.5W/kvar	
Capacitance tolerance	-5%, +10%	
Voltage test	Between terminals	$2.15 \times U_N$ (AC), 10 s
	Between terminal & container	≤ 525 V: 3 kV (AC), 10 s or 3.66 kV (AC), 2 s > 525 V: 3.66 kV (AC), 10 s or 4.4 kV (AC), 2 s
	Impulse voltage	≤ 690 V: 8 kV > 690 V: 12 kV

Discharge resistor Fitted, standard discharge time 60 s

Working conditions

Ambient temperature	-25 / 55 °C (Class D)
Humidity	95 %
Altitude	2,000 m above sea level
Overvoltage	$1.1 \times U_N$ 8 h in every 24 h
Overcurrent	Up to $1.8 \times I_N$
Peak inrush current	$250 \times I_N$
Switching operations (max.)	Up to 7,000 switching operations per year
Mean Life expectancy	Up to 130,000 hrs
Harmonic content withstand	$N_h \leq 20$ %

Installation characteristics

Mounting position	Indoor, upright & horizontal
Fastening	Threaded M12 stud at the bottom
Earthing	
Terminals	CLAMPTITE - three-way terminal with electric shock protection (finger-proof) and, double fast-on terminal in lower kvar and stud type above 30kvar

Safety features

Safety	Self-healing + Pressure-sensitive disconnecter + Discharge device
Protection	IP20 (for fast-on and clampite terminal)

Construction

Casing	Extruded Aluminium Can
Dielectric	Metallized polypropylene film with Zn/Al alloy. Special resistivity & profile, special edge (wave-cut)
Impregnation	Non-PCB, polyurethane sticky resin (Dry)

Hoja de características del
producto
Características

BLRCH104A125B40
Condensador trifásico VarplusCan HDuty
10.4/12.5 kvar 400V 50/60Hz



Principal

Gama de producto	VarPlus Can
Tipo de producto o componente	Condensadores
Frecuencia de red	50/60 Hz
Gama de producto	VarPlus Can
Tipo de producto o componente	Condensadores
Frecuencia de red	50/60 Hz
Nombre de serie	HDuty
Contenido de armónicos de la red	<= 20 %
Parámetros eléctricos	380 V - 50 Hz : 9.4 kvar 380 V - 60 Hz : 11,3 kvar 400 V - 50 Hz : 10.4 kvar 400 V - 60 Hz : 12.5 kvar 415 V - 50 Hz : 11.2 kvar 415 V - 60 Hz : 13.5 kvar
Tensión máxima admisible	1,1 x Un 8 horas en 24 horas
Capacidad de sobrecarga permanente	1.8 x In
Tensión nominal	380...415 V CA 50/60 Hz

Complementario

Pérdidas dieléctricas	< 0.2 W/kvar
Pérdidas de potencia	< 0,5 W/kVA
Tolerancia sobre o valor de la capacidad	- 5 % a 10 %
Test de tensión	2.15 Un CA (entre terminales para 10 s) <= 660 V - 3 kV CA (entre o terminal y o contenedor para 10 s) >= 660 V - 6 kV CA (entre o terminal y o contenedor para 10 s)
Corriente de inserción	250 x In
Cantidad de operaciones por año	<= 7000
Vida útil en horas	130000 H
Material dieléctrico	Film polipropileno metalizado con una aleación de Zn/Al, resistencia y perfil especial, borde especial (wave cut)
Material impregnado	Sin PCB resina seca PUR Biodegradable

Aviso Legal: Esta documentación no pretende sustituir ni debe utilizarse para determinar la idoneidad o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de los usuarios

Material Anexo y Complementario

Tipo de instalación	Instalación interior
Conexiones - terminales	Terminal tipo Clamptite
Tipo de montaje	Vertical / horizontal
Diámetro	75 mm
Altura	233 mm
Peso del producto	1,2 kg

Entorno

Normas	IEC 60831-2 IEC 60831-1
Grado de protección IP	IP20
Altitud máxima de funcionamiento	2000 m
Clasif. de temperatura	D
Temperatura ambiente de funcionamiento	-25...55 °C
Humedad relativa	95 %

Sostenibilidad de la oferta

Estado de la oferta sostenible	Producto Green Premium
RoHS (código de fecha: AASS)	Conforme - desde 1236 - Declaración de conformidad de Schneider Electric Declaración de conformidad de Schneider Electric
REACH	La referencia no contiene SVHC La referencia no contiene SVHC
Perfil ambiental del producto	Disponible
Instrucciones para el fin del ciclo de vida del producto	DISPONIBLE

Información Logística

País de Origen	India
----------------	-------