



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS

CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL
SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO
BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS
MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO
2017”**

Autor:

Navarrete Vele Wilson Javier

Tutor:

Ing. Mg.S. Edwin Moreano

Latacunga - Ecuador

Marzo 2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

En calidad de tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Yo Wilson Javier Navarrete Vele declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO 2017”** siendo El Ing. Mg.S. Edwin Moreano, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, Marzo 2017

El Tutor

Mg. Mg.S. Edwin Moreano

Navarrete Vele Wilson Javier
C.I. 2200023675



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, por cuanto, el

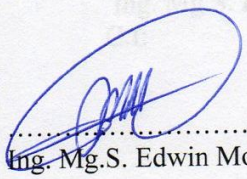
postulante: Navarrete Vele Wilson Javier con el título de Proyecto de titulación: "ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO 2017", de NAVARRETE VELE WILSON JAVIER, de la carrera INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2017

Para constancia firman

Latacunga, Marzo 2017

El Tutor

.....
Ing. Mg.S. Ernesto Abal

.....
Ing. Mg.S. Edwin Moreano
050260750-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, el postulante: Navarrete Vele Wilson Javier con el título de Proyecto de titulación: “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO 2017” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Marzo 2017

Para constancia firman

Ing. Mg.S. Ernesto Abril
C.I:

Ing. Mg.S. Efrén Barbosa
C.I: 0501420723

Ing. Carlos Espinel
C.I: 050268518-3



AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por haberme permitido culminar con una meta más en mi vida.

A mi familia por el apoyo incondicional en los momentos que más los necesite para poder seguir adelante. A mis familiares por la motivación que me brindaron.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido asistir a las aulas y laboratorios, a los docentes que compartieron sus conocimientos los cuales fueron una parte fundamental en mis estudios.

Al Ing. Moreano por el apoyo con sus conocimientos y experiencias para la realización del proyecto. A mis amigos de la Universidad por los buenos momentos que se compartió.

Javier



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios porque me brindo salud y fuerzas necesarias para seguir adelante y culminar con mi carrera.

Esta tesis está dedicada a la persona que me inculco y me formo como una gran persona, la encargada de estar apoyándome hasta el final de mis estudios quien es mi madre. A mis hermanos que siempre estuvieron apoyándome en todo sentido para que pueda salir adelante y poder graduarme.

Con mucho cariño a mis tíos he igual a mis primos quienes me acogieron en su casa y me apoyaron cunado lo necesite, quienes son mi segunda familia, que de una u otra forma influyeron en el triunfo de mi carrera.

Javier



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	2
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
6. OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	4
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	5
EFICIENCIA ENERGÉTICA	5
SUMINISTRO ELÉCTRICO	5
POTENCIAS	6
Potencia activa, real o útil	6
Potencia reactiva	6
Potencia aparente	7
TRIÁNGULO DE POTENCIA	7
Factor de potencia (fp)	8
CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA	8
Beneficios de corregir el factor de potencia	9
Consecuencias por bajo factor de potencia	10
Penalización por bajo factor de potencia	10
MÉTODOS Y TIPOS DE INSTALACIÓN DEL BANCO DE CAPACITOR	11



Capacitor.....	11
Forma de instalación del banco de capacitores	12
Método automático	12
Método fijo.....	12
Tipos de instalación del banco de capacitores.....	12
Instalación individual.....	12
Instalación grupal.....	13
Instalación global o central	14
BALANCE DE CARGA	14
EQUIPOS.....	15
Capacitor.....	15
Controlador de factor de potencia	16
Contactor	17
Elementos de protección.....	17
EQUIPO DE MEDICIÓN.....	18
9. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
DESCRIPCIÓN DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA.....	19
ANÁLISIS DE CONSUMO EN LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA.....	20
Potencia Activa – Aparente – Reactiva y Factor de potencia.....	21
Análisis del factor de potencia.....	22
Análisis de corrientes.....	24
DESBALANCE DE CARGAS	25
DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE CAPACITORES	25
Componentes del banco de capacitores automático	27
Capacitores.....	27
Controlador de factor de potencia.....	28



Contactor.....	30
Elementos de protección	30
Selección de conductores	31
Transformador de corriente.....	32
10. DESARROLLO DE LA PROPUESTA (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS).....	32
BALANCE DE CARGAS.....	32
COMPARACIONES DE RESULTADOS.....	33
SELECCIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES.....	35
11. IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO	35
TÉCNICO	35
ECONÓMICO	36
12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	36
CÁLCULO DE COSTO DE INVERSIÓN	38
VALOR PRESENTE.....	39
VALOR PRESENTE NETO VPN.....	40
RELACIÓN COSTO/BENEFICIO	40
RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	41
13. CONCLUSIONES	42
14. RECOMENDACIONES	42
15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
16. ANEXO.....	43



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de los objetivos.....	4
Tabla 2: Valores actuales de las instalaciones.....	24
Tabla 3: Desbalance de corrientes.....	24
Tabla 4: Valores del banco de capacitores.....	27
Tabla 5: Comparación de balance y desbalance de carga.....	33
Tabla 6: Diferencia con la instalación del banco de capacitores.....	36
Tabla 7: Costo de inversión inicial.....	38
Tabla 8: Costos futuros.....	38



ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Potencia activa.....	21
Gráfica 2: Potencia Activa vs Potencia Aparente.....	21
Gráfica 3: Potencias P, Q Y S.....	22
Gráfica 4: Factor de Potencia	22
Gráfica 5: Fp actual y Potencia Activa	23
Gráfica 6: Factor de Potencia vs Potencia Reactiva actual	23
Gráfica 7: Balance de Corrientes.....	24
Gráfica 8: Q anterior vs Q corregida	33
Gráfica 9: S actual vs S corregida	34
Gráfica 10: Fp actual vs Fp corregido	34



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Triangulo de potencia en retraso	7
Figura 2: Desfase de corriente vs voltaje.....	8
Figura 3: Corrección del factor de potencia	9
Figura 4: Constitución de un capacitor.....	11
Figura 5: Instalación tipo individual.....	13
Figura 6: Compensación grupal.....	13
Figura 7: Instalación tipo global.....	14
Figura 8: Analizador de redes AEMC 3945-b.....	18
Figura 9: Tablero de distribución	20
Figura 10: Instalación del analizador de redes	20
Figura 11: Triángulo de potencia inicial.....	26
Figura 12: Factor de potencia inicial y corregido.....	35



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO 2017”

Autor: Navarrete Vele Wilson Javier

RESUMEN

Un bajo factor de potencia en las industrias ocasiona que consuman una gran cantidad de potencia reactiva (kVAR) innecesaria para los respectivos procesos de transformación de la materia prima, disminuyendo la eficiencia de los motores igualmente el transformador sin poder usarlo a toda capacidad. Para la compensación de la potencia reactiva se realiza un estudio de eficiencia energética la cual da como resultado la implementación un banco de capacitores para la correcta utilización de la energía. La instalación de un banco de capacitores tiene como finalidad de corregir el bajo factor de potencia y evitar la penalización de la misma, además de la correcta utilización de la corriente así como también beneficio económico y la vida útil de las maquinas. En el presente proyecto de investigación se realizó la selección de parámetros como: corriente, voltaje, potencia reactiva, potencia activa y factor de potencia, con el objetivo de determinar la capacidad del banco de capacitores para su respectiva instalación y verificación de los valores corregidos.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF SCIENCE AND ENGINEERING APPLIED

TOPIC: “STUDY OF THE ENERGY EFFICIENCY IN THE ELECTRICAL SUPPLY OF METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. IN STO. DGO. OF THE COLORS TO IMPROVE THE POWER FACTOR OF POWER IN THE PERIOD 2017”

Author: Navarrete Vele Wilson Javier

ABSTRACT

A low power's factor in factories makes them to consume a great amount of reactive power (kVAR) unnecessary for each processes in the transformation of raw material, decreasing the efficiency of engines and the transformer without being able to use it to full capacity as well. To compensate the reactive power needs a study of energy efficiency which one gives a result of implementation of a bank of capacitors for the correct use of energy. The installation of a capacitor bank has the purpose of correcting the low power factor and avoiding the penalty of this one, besides the correct current use and also the economic benefit and the useful life of the machines. In the present project's research the selection of parameters such as: current, voltage, reactive power, active power and power factor was made, with the aim of determining the capacity of a capacitor bank for its respective installation and verification of the right values.



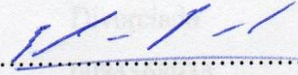
AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **WILSON JAVIER NAVARRETE VELE**, cuyo título versa **“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO 2017”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga febrero de 2017

Atentamente,


Msc. Edison Marcelo Pacheco Pruna
DOCENTE CCI - UTC
C.C. 0502617350

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA CIA. LTDA. EN STO. DGO. DE LOS COLORADOS MEJORANDO EL FACTOR DE POTENCIA EN EL PERIODO 2017”

Fecha de inicio: 3 de enero de 2017

Fecha de finalización: 7 marzo de 2017

Lugar de ejecución: Metal Mecánica Mogro Barriga CIA. Ltd. Santo Domingo-Santo Domingo de los Tsáchilas

FACULTAD que auspicia: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo:

Hoja de vida del docente

1.- DATOS PERSONALES

NOMBRES Y APELLIDOS: Edwin Homero Moreano Martínez
 FECHA DE NACIMIENTO: 1980-08-09
 CEDULA DE CIUDADANÍA: 050260750-0
 ESTADO CIVIL: Divorciado
 NÚMEROS TELEFÓNICOS: 0984568934
 E-MAIL: edwin.moreano@utc.edu.ec

2.- TÍTULOS

PREGRADO: Ing. Electromecánico e Instrumentación
 POSGRADO: Mg.S. Gestión de Energías

Hoja de vida del investigador

1.- DATOS PERSONALES

NOMBRES Y APELLIDOS: Navarrete Vele Wilson Javier
 CEDULA DE CIUDADANÍA: 220002367-5

FECHA DE NACIMIENTO: 03 de Febrero de 1985
ESTADO CIVIL: Soltero
NÚMEROS TELEFÓNICOS: 0987355066
E-MAIL: javiernavarrete1985@hotmail.com

2.- TÍTULOS

PREGRADO: Ingeniero Electromecánico (2017)

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto tiene por finalidad impedir que la industria sea afectada por un mal uso de la potencia reactiva, la misma que es peligrosa porque reduce la vida de los motores, estableciendo un factor de potencia óptimo para las dos partes tanto proveedor del servicio eléctrico como consumidor del servicio, el cual consiste en obtener un determinado número de valores como potencias, corrientes y factor de potencia, obtenidos mediante un analizador de redes que después son indagados, para establecer la capacidad del banco de capacitores a utilizar, mejorando la calidad del producto y aportando con una correcta eficiencia energética a la empresa beneficiada.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La corrección del factor de potencia es muy importante porque permite evitar la penalización por bajo factor de potencia. El análisis de la eficiencia energética contribuye a la prolongación de la vida de los motores y los conductores, beneficio económico, la eficiencia del transformador y una correcta utilización de la energía, mediante una adecuada aplicación de métodos para la obtención de información la cual será analizada e interpretada para determinar las características de los capacitores a utilizar. La importancia del proyecto es la compensación de la potencia reactiva, que permitirá reducir los valores de consumo en la planilla, mejorando el servicio energético y obteniendo un mejor rendimiento de los motores con el fin de satisfacer la necesidad del beneficiario de aumentar el factor de potencia para que no sea penalizado por dicho factor, además para contribuir con el valor establecido por CNEL - ARCONEL.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

El beneficiario del presente proyecto, el Sr. Jaime Mogro Barriga Gerente de la Metalmecánica se beneficia con la no penalización por un bajo factor de potencia de igual

forma, la empresa suministradora de energía CNEL de Santo Domingo de los Colorados la cual mediante el alimentador Centro de la subestación vía Quito suministra este servicio al cliente, por lo tanto es responsable de entregar un producto de calidad para no ser multada por los entes de controles superiores.

Además el postulante aplicara todos los conocimientos adquiridos en la Universidad y plasmarlos en la práctica para seguir creciendo como profesional.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La empresa suministradora de energía apegada a la ley tiene la obligación de proveer un servicio de calidad y hacer cumplir a los clientes, en especial a los industriales que conserven un producto eficiente, dispuesto por el ente regulador “ARCONEL”.

Las empresas eléctricas deben exigir a los usuarios mejorar el factor de potencia, para no ser penalizados por los entes de control

La presencia de potencia reactiva produce un bajo factor de potencia el cual es penalizado por la empresa suministradora de energía, para evitar estos problemas es recomendable realizar la instalación de un banco de capacitores, el cual evita la caída de voltaje y por ende el aumento de corriente, prolongando la vida de los motores y conductores que pueden ser deteriorados por calentamiento cuando la corriente es alta. Al resolver todos estos factores es un beneficio para el cliente ya que se puede utilizar al transformador a plena carga.

Como ya se mencionó se realizará la instalación de un banco de capacitores para la compensación de la potencia reactiva y mejorara el factor de potencia a un rango establecido por la empresa eléctrica el cual es 0.92 hasta 1.

6. OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar la corrección del factor de potencia mediante el análisis de la eficiencia energética en la metalmecánica Mogro Barriga CI Ltda. de Santo Domingo de los Colorados, mejorando la calidad de la energía.

Objetivos específicos

- Compilar la información de las lecturas actuales que ratifican un bajo factor de potencia en la metalmecánica, tomadas desde el tablero principal de alimentación.
- Analizar las medidas adquiridas mediante el analizador de redes, en el tablero principal de distribución que alimenta a las maquinas, para el dimensionamiento del banco de capacitores.
- Instalar el banco de capacitores para mejorar el factor de potencia y evitar las penalizaciones por la empresa suministradora de electricidad.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1: Operacionalización de los objetivos

Objetivos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
Objetivo 1	Inspección del lugar donde se realizara de mejor manera la obtención de datos para el análisis.	Se obtendrá los parámetros desde el tablero de distribución principal como potencias P, Q, S, además también el factor de potencia y corrientes.	Con el analizador de redes se realizara la obtención de los datos necesarios el cual estará ubicado en un sitio estratégico. .
Objetivo 2	Adquisición de datos tomados del tablero principal de distribución.	Analizar el comportamiento de los parámetros como potencias corrientes voltajes y factor de potencia obtenidos.	Con tablas y representaciones gráficas se lograra obtener el estado actual de las potencias, corrientes y factor de potencia que ocasionan un bajo factor de potencia.
Objetivo 3	Determinar la capacidad del banco de capacitores a utilizar en la corrección del fp	Determinar la capacidad total en kVAR del banco de capacitores y el tipo de capacitor a utilizar, sea este fijo o automático.	Mediante el análisis de las lecturas actuales en el sistema se realiza la capacidad a ser compensada por el banco de capacitores, además de la ubicación óptima a ser instalado. Verificar con el analizador de redes los resultados después de la instalación del banco de capacitores.

Fuente: Investigador

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Eficiencia energética

López (2006) afirma lo siguiente:

Por eficiencia energética se entiende el conjunto de actividades encaminadas a reducir el consumo de energía en términos unitarios, mejorando la utilización de la misma, con el fin de proteger el medio ambiente, reforzar la seguridad del abastecimiento y crear una política energética sostenible. Se trata de utilizar mejor la energía. El objetivo de una política de eficiencia energética es fomentar comportamientos, métodos de trabajo y técnicas de producción que consuman menos energía (pág. 19)

La eficiencia energética es la obtención de los mismos resultados pero con menos energía, alargando la vida de los recursos y costo económico inferior al actual.

La eficiencia energética en el sector industrial es muy importante porque permite optimizar recursos y brindar un producto de calidad, deseable tanto para el proveedor del servicio como para el consumidor.

Suministro eléctrico

Zapata (2010) afirma lo siguiente:

El sistema de suministro eléctrico comprende un conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección. Este es un sistema integrado que además de disponer de sistemas de control distribuido (sistema que realiza las acciones control en forma automática), está regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas. (pág. 21)

El suministro eléctrico es el encargado de proveer del servicio energético a la empresa con un producto de calidad y hacer que este producto sea confiable para el usuario.

Potencias

Es la cantidad de trabajo por unidad de tiempo, que interviene en el funcionamiento de un motor las cuales son:

Potencia activa, real o útil

Es la energía que realmente se aprovecha cuando entra en funcionamiento un equipo eléctrico, además es la capacidad que tiene un circuito de poder transformar la energía eléctrica en trabajo útil.

Su símbolo es la letra P y la unidad en (W)

Esta potencia si se suma a lo largo de un determinado tiempo de consumo es la denominada energía activa (kWh) la que es facturada por la empresa eléctrica.

La potencia instalada (kW) es la suma de todas las potencias nominales de los equipos eléctricos.

Potencia reactiva

Hermosa (2003) afirma lo siguiente:

Como se sabe, en general, en los circuitos de corriente alterna donde hallan componentes reactivos como son los condensadores y las bobinas aparece el concepto de potencia reactiva. Y ello da lugar a una circulación de intensidad reactiva por las líneas cuya energía no es aprovechada por la carga (receptor), que es debida al efecto reactivo (carga-descarga) de los componentes reactivos. Debido a ello puede ser necesario sobredimensionar las líneas, ya que al haber potencia reactiva la intensidad total que tiene que circular por las líneas es mayor a la que circularía de no haber. (pág. 158)

En la industria la potencia reactiva es ocasionada por la maquinaria con motores AC, perjudicando la transmisión de energía en las líneas de distribución, esta potencia fluctúa por la red entre el transformador y las maquinas ya que no produce vatios (w).

Su símbolo es la letra Q y su unidad es el voltamperio reactivo (VAR)

Potencia aparente

Es la potencia total consumida por la carga y se obtiene mediante la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva, esta potencia es la capacidad que tienen los transformadores y generadores.

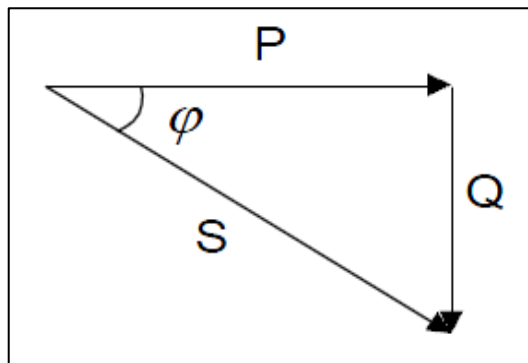
El símbolo de representación es con la letra S y la unidad de medida es volt-amperios (VA).

Potencia aparente instalada en kVA es la sumatoria de los kVA de cada carga, sin embargo los kVA máximos estimados que se entrega a las cargas no son iguales a los totales instalados.

Triángulo de potencia

Es la representación vectorial de los diferentes tipos de potencia como la potencia activa, aparente y reactiva, que intervienen en el funcionamiento de los diferentes elementos eléctricos en C.A, para las cargas inductivas, las ecuaciones se representan a continuación. (Véase la figura 1)

Figura 1: Triangulo de potencia en retraso



Fuente: Corrección del factor de potencia y control de demanda

Dónde:

$$P = \text{potencia activa (W)} \quad P = V \times I \times \cos \varphi \quad (\text{Ecuación } 1)$$

$$S = \text{potencia aparente (VA)} \quad S = V \times I \quad (\text{Ecuación } 2)$$

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

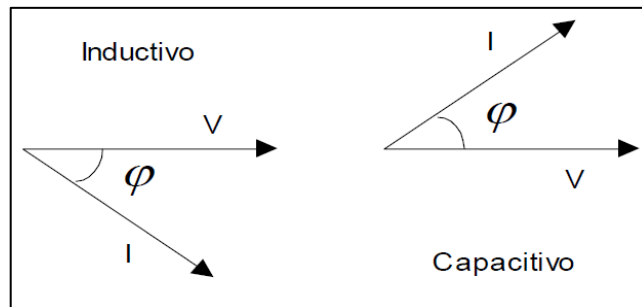
$$Q = \text{potencia reactiva (VAR)} \quad Q = V \times I \times \text{sen } \varphi \quad (\text{Ecuación } 4)$$

$$Q = \tan \varphi \times P \quad (\text{Ecuación } 5)$$

$\cos \varphi$ = factor de potencia

En donde la corriente, existe un desfase (negativo) de retraso con respecto al voltaje, las cargas son inductivas como transformadores y bobinas. Son positivo cuando la carga es capacitiva, la corriente adelanta al voltaje como capacitores. (Véase la figura 2)

Figura 2: Desfase de corriente vs voltaje



Fuente: Corrección del factor de potencia y control de demanda

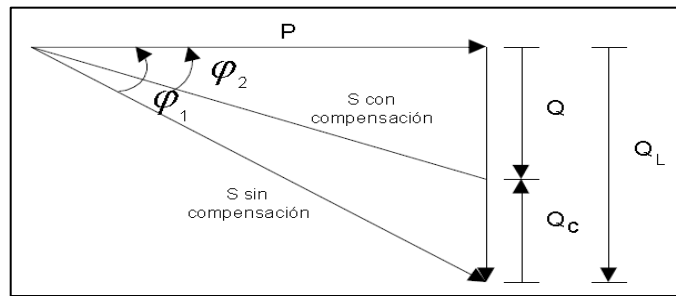
Factor de potencia (fp)

El factor de potencia es el ángulo que se forma por el desfase que existe entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), de modo que el $\cos \varphi$ depende de este desfase. Cuanto mayor sea el desfase entre estas dos cantidades más bajo será el factor de potencia y por lo contrario si es menor el desfase entre las dos variables será mayor el fp, el cual comprende entre un rango de 0 a 1. Siendo uno el fp ideal, esto quiere decir que toda la potencia adquirida de la red o transformador se convierte en trabajo útil.

Las cargas resistivas son la que proporciona un factor ideal igual a uno como son las bombillas incandescentes.

Corrección del factor de potencia

La corrección para mejorar el factor de potencia consiste en reducir la potencia reactiva la cual no produce ningún trabajo útil sino que esta potencia sirve para crear el campo magnético en los motores de inducción, transformadores etc. para su funcionamiento, a mayor potencia reactiva menor es el factor de potencia. (Véase la figura 3)

Figura 3: Corrección del factor de potencia

Fuente: Corrección del factor de potencia y control de demanda

Además el bajo fp se produce cuando trabajan los motores en vacío, es decir están en funcionamiento pero no con carga, consumiendo usualmente la misma energía reactiva para el funcionamiento, pero no obstantemente así la energía activa la cual es suministrada de acuerdo al trabajo que realiza el motor.

La empresa suministradora de energía le obliga al cliente con bajo factor de potencia a realizar la mejora del fp. Para lo cual se requiere la instalación de un banco de capacitores.

Schneider Electric afirma lo siguiente:

Mejorar el factor de potencia de una instalación consiste en instalar un condensador al lado del consumidor de energía reactiva. Esto se denomina compensar una instalación.
(pág. E/27)

Para obtener la potencia reactiva que necesita el banco de capacitores se obtiene al restar la potencia reactiva total de la potencia calculada con el nuevo fp, se realiza con la ecuación 6.

$$Q_C = Q_L - Q \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Dónde:

Q_C = potencia reactiva del banco de capacitores

Q_L = potencia reactiva inductiva inicial

Q = potencia reactiva inductiva corregida

Beneficios de corregir el factor de potencia

Los beneficios de mejorar el fp para el usuario son muy importantes, porque le permiten una mejor utilización de las instalaciones las cuales son:

- Disminución de la tarifa eléctrica
- Mejor disponibilidad del transformador, generador y líneas.
- Menor dimensionamiento de cables y elementos de protección
- Disminución en la caída de voltaje
- Reducción en pérdidas de los conductores
- Aumento en la vida de las instalaciones

Consecuencias por bajo factor de potencia

Estas consecuencias hacen reducir la vida útil de las instalaciones, produciendo caídas de voltaje que ocasiona sobrecargas (calentamiento de bobinas) en los equipos, como generadores, transformadores y motores reduciendo la potencia de salida de cada equipo, además del calentamiento en los conductores y el deterioro de los aislamientos. Los equipos están diseñados para trabajar a determinada potencia y corriente, que no debe ser superado el límite superior e inferior de trabajo.

Penalización por bajo factor de potencia

Según el ente regulador en el siguiente artículo establece que:

Art. 27.- Cargos por bajo factor de potencia.- Para aquellos consumidores a los cuales el Sistema de Medición fijado por el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, considere la medición de energía reactiva, el distribuidor registrará mensualmente el factor de potencia. Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92, la facturación total mensual será recargada en un factor igual a la relación por cociente entre 0,92 y el factor de potencia registrado. Cualquiera sea el tipo de consumidor, cuando el valor medido del factor de potencia fuese inferior a 0,60, el distribuidor, previa notificación, podrá suspender el servicio eléctrico hasta tanto el consumidor adecue sus instalaciones a fin de superar dicho valor límite.

Para la penalización por bajo fp cuando este es inferior a 0,92 se obtiene mediante la ecuación 7.

$$fp_B = \frac{0,92}{fp_R} - \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Dónde:

FpB = factor de penalización por bajo factor de potencia

Fp = factor de penalización registrado

A este valor se le multiplica por, la suma de cargo por demanda y cargo por energía de la planilla de servicio eléctrico, obteniendo el valor de la penalización por bajo factor de potencia quedando la ecuación 8.

$$fp = fp_B(CD + CE) \quad (\text{Ecuación } 8)$$

Métodos y tipos de instalación del banco de capacitor

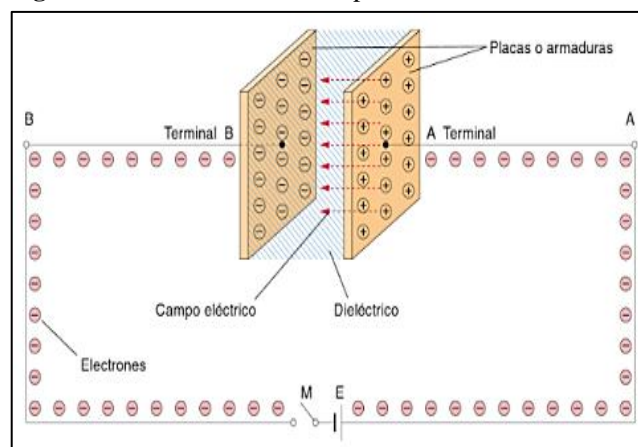
En la corrección del factor de potencia se usa capacitores de potencia, los cuales demuestran menos costos económicos.

Capacitor

Zetina y Zetina (2004) afirman lo siguiente:

A un capacitor básicamente lo constituye un par de placas metálicas separadas por medio de un dieléctrico como el aire, papel, mica, cerámica, vidrio, mylar, etc., cuyo dispositivo tiene como propiedad principal la de almacenar cargas eléctricas, propiedad a la cual se le conoce con el nombre de capacitancia. Su unidad de medida es el FARAD. (Véase la figura 4)

Figura 4: Constitución de un capacitor



Fuente: Santamaría, German; electrotecnia

Es un dispositivo de almacenamiento y descarga que permite compensar cierta cantidad de energía, aplicado a distintos campos.

Forma de instalación del banco de capacitores

Los métodos de instalación del banco de capacitores, dependerán de la demanda de carga producida por las máquinas.

Método automático

Esta forma se utiliza cuando la demanda de potencia reactiva no es constante es decir las cargas son variables, por tal motivo tienen que entrar en funcionamiento dependiendo de las cargas que se generen. Este método va acompañado de un regulador de factor de potencias que compara el fp medido con el deseado para regula los capacitores y que entren en funcionamiento o desconecte según sea la demanda.

Cuando existen variaciones rápidas de potencia es necesario realizar la instalación de contactores que tienen una respuesta de 4 segundos y los tiristores una respuesta de 20milisegundos, en el banco de condensadores.

Método fijo

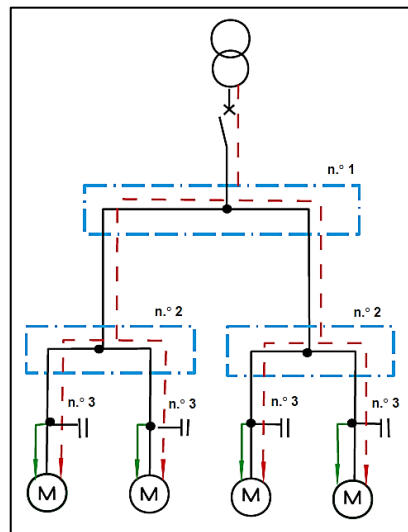
Se realizan donde la potencia reactiva es constante independientemente de la carga, estos capacitores están colocados en paralelo con transformadores y con el motor o motores que funcionen al mismo tiempo y se los manipule manualmente mediante elementos de control.

Tipos de instalación del banco de capacitores

El lugar de la instalación depende de la ubicación donde se necesite controlar la potencia reactiva de la instalación y de la situación económica. A continuación se detallan los siguientes tipos de instalación.

Instalación individual

Este tipo de instalación se realiza directamente en los bornes del motor son recomendadas cuando las cargas son constantes, circulando la Q solamente entre el capacitor y los conductores del motor, además en la utilización de motores de grandes potencias. Evitando completamente las pérdidas resistivas, el sistema de control de la maquina sirve como disyuntor para el capacitor. Las pérdidas por efecto joule se eliminan totalmente. (Véase la figura 5)

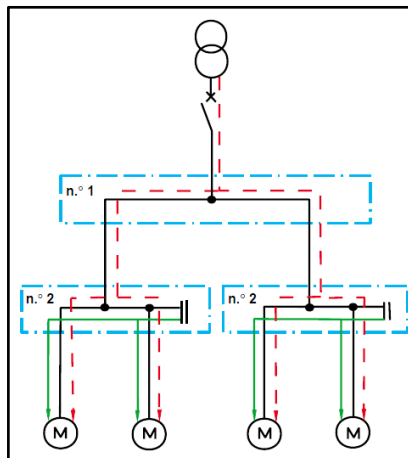
Figura 5: Instalación tipo individual

FUENTE: Schneider Electric; Manual teórico práctico, Instalaciones en baja tensión

Puede ocasionar daños a la instalación eléctrica cuando está trabajando sin carga lo que provoca una sobrecompensación de la carga inductiva provocando variaciones de voltaje, lo que se debe restringir al 90% de la Q del equipo en vacío.

Instalación grupal

La instalación en grupo se realiza cuando la operación de máquinas es simultáneamente su funcionamiento, este banco de capacitores se ubica en el tablero de control de cada conjunto de motores. Se usan solo cuando están en funcionamiento. (Véase la figura 6)

Figura 6: Compensación grupal

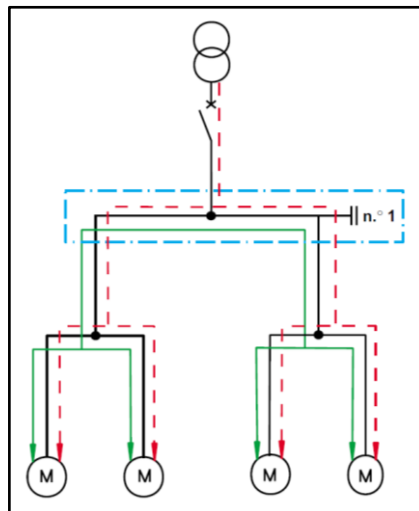
Fuente: Schneider Electric; Manual teórico práctico, Instalaciones en baja tensión

Disminuye las pérdidas por efecto joule, puede haber sobrecompensación cuando existe variaciones de carga grande.

Instalación global o central

Al instalar un banco de capacitores central se evita principalmente la penalización por bajo factor de potencia. Se instala el en tablero de distribución principal de energía, proporcionando la cantidad de energía reactiva que se obtiene del transformador. Esta instalación permite compensar la energía reactiva demandada por todas las máquinas aprovechando de mejor forma los capacitores, ajustando a la necesidad del sistema. (Véase la figura 7)

Figura 7: Instalación tipo global



FUENTE: Schneider Electric; Manual teórico práctico, Instalaciones en baja tensión

Sin embargo la corriente reactiva circula entre el banco de capacitores y los equipos, sin disminuir las pérdidas por efecto joule.

Balance de carga

En las instalaciones de la industria del sistema eléctrico tribásico las líneas de alimentación pueden no estar balanceadas, debido a la conexión de diversos equipos como electrodomésticos de oficina y máquinas monofásicas los cuales no están debidamente distribuida su alimentación, provocando el desbalance de carga entre fases, esto hace que las corrientes que circula por cada una de las fases no sean iguales elevando la corriente del neutro afectando el límite térmico del conductor del neutro.

Para determinar el desbalance de carga que existe en un sistema de alimentación se puede utilizar la ecuación 9 y 10

$$I_{.pro} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \quad (\text{Ecuación } 9)$$

$$D = \frac{[(I_a - I_{.pro}), (I_b - I_{.pro}), (I_c - I_{.pro})]}{I_{.pro}} * 100\% \quad (\text{Ecuación } 10)$$

Dónde:

D = % desbalance

I_a, I_b, I_c = Magnitud de la corriente en cada fase (A)

I_{.pro} = Magnitud promedio de la corriente (A)

Con esta comprobación se determina el porcentaje que esta desbalanceado para determinar las respectivas soluciones en el sistema de alimentación para los equipos. Se puede redistribuir las líneas de fase que alimentan a cada carga.

Equipos

Los equipos que conforman el banco de capacitores son:

- Capacitor
- Controlador de factor de potencia
- Elementos de protección

Capacitor

El capacitor de potencia es el elemento encargado de compensar la energía reactiva que proporciona el transformador, para evitar la penalización por bajo factor de potencia el cual tiene valores en kVAR.

Para determinar la corriente nominal por fase, para cada capacitor trifásico se obtiene mediante la ecuación 11:

$$I_n = \frac{KVAR}{\sqrt{3} \times KV} \quad (\text{Ecuación } 11)$$

Dónde:

I_n = corriente de fase nominal

kVAR = potencia reactiva nominal del capacitor

kV = voltaje fase-fase

Con este valor de corriente nominal permitirá la elección de los elementos de control para el banco de capacitores. Además con la misma ecuación 11 se determina la I_n del banco de capacitores.

Controlador de factor de potencia

Es un dispositivo encargado de suministrar la cantidad de energía reactiva necesaria al sistema con el fin de que no produzca daños a los equipos.

Este dispositivo permite controlar el factor de potencia medido por el dispositivo y compararlo con el valor asignado de 0,99 también los valores mínimos y medios del fp para conectar y desconectar los pasos según sea la demanda de potencia reactiva. La selección del controlador es el de menores pasos.

En la programación se tendrá en cuenta los aspectos principales como el factor de potencia deseado y la sensibilidad (relación C/K).

La sensibilidad se determina mediante la entrada de intensidad al regulador por medio de un transformador de intensidad de corriente con relación X/5, para saber cuál es la intensidad reactiva que proporcionara para la compensación, este debe estar en el secundario del TI porque es el valor que lee. La fórmula para calcular es con la ecuación. 12

$$\frac{C}{K} = \frac{Q1/(\sqrt{3} \times V)}{R_{TI}} \quad \text{(Ecuación. 12)}$$

Dónde:

C/K = sensibilidad

Q1 = potencia reactiva del primer escalón (VAr)

V = voltaje F-F (alimentación a la industria “V”)

RTI = relación TI (X/5)

Contactador

LlumiQuinga (2012) afirma lo siguiente:

Estos contactores se caracterizan por disponer de unos contactos auxiliares equipados con resistencias de pre-carga. Estos contactos se cierran antes que los de potencia. A continuación se cierran los contactos de potencia, dejando de actuar las resistencias durante el funcionamiento normal del capacitor. El empleo de estos contactores es altamente recomendable pues limita muy notablemente las sobrecorrientes. pág. 67.

Es un contactor especial con resistencias que permite controlar las elevadas corrientes que produce un banco de capacitores. Entrando primero en funcionamiento los contactos de las resistencias que limitan la corriente al momento que entran en funcionamiento, para luego activarse los contactos de potencia y posterior mente desactivarse los de las resistencias, permitiendo realizar la conexión y desconexión de los capacitores para suministrar la potencia reactiva.

Elementos de protección

Los elementos de protección que están en el banco de capacitores son interruptor principal, contactor y fusibles.

Interruptor termomagnéticos

Debe proteger contra cortocircuitos con corriente de 10 veces I_n del capacitor a utilizar, el valor de protección debe ser de 1,43 veces la corriente del banco de capacitores. Utilizando un interruptor C60N, protegiendo de sobrecargas y cortocircuitos.

Fusible

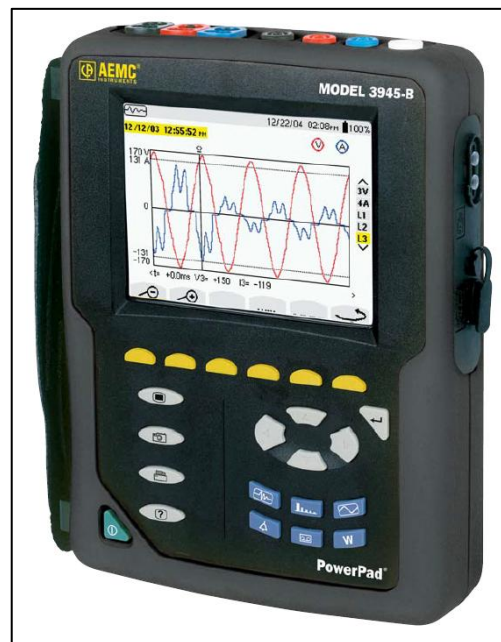
Para las protecciones individuales de los capacitores se emplean fusible para cada fase del capacitor, para desactivarlos cuando ocurra una falla y evitar daños a los demás capacitores, al resto de quipos y conductores. Se usan fusibles gL (g = fusibles de uso general; L = cables y conductores) contra cortocircuitos, con un rango de selección de 1,7 a 2 veces la corriente nominal I_n del capacitor, son recomendados utilizar fusibles NH.

Equipo de medición

El usado en la toma de datos es el Analizador de Calidad de Energía Eléctrica Trifásico AEMC PowerPad modelo 3945-B, que permite registrar datos de tendencia durante días, semanas o incluso meses. Este equipo permite tomar datos suficientes para realizar la corrección del factor de potencia, los datos como formas de ondas, potencia y energía presente como Watts, VARs y VA por fase y total, acumula totales y ve si la energía es inductiva o capacitiva.

Además usa sensores de corriente que configura automáticamente el rango y la escala de corriente del instrumento, tiene todas las opciones para capturar, presentar, bajar, analizar y almacenar datos. (Véase la figura 8).

Figura 8: Analizador de redes AEMC 3945-b



Fuente: www.aemc.com

Las principales características del equipo son:

- Formas de ondas en color en tiempo real
- Ajustes en pantalla fácil de usar
- Mediciones de RMS verdadero mono-, bi- y trifásicas a 256 muestras/ciclos, más CC
- Reconocimiento del sensor de corriente y ajustes de escala automáticos
- Mide volts, Amps y potencias CC

- Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia hasta el orden de 50st incluyendo dirección en tiempo real
- Presentación de diagrama de fasores
- Voltaje y corriente de pico
- Frecuencia nominal de 40 a 70 HZ
- VA, VAR y W por fase y totales
- kVAh, kVARh y kWh por fase y totales
- Presentación de factor K de transformador
- Presentación de Factor de potencia, FP de desplazamiento
- Desbalance de fases (corriente y voltaje)

Aplicaciones

- Verificación de circuitos de distribución de energía eléctrica
- Medición y registro de la calidad de los sistemas de potencia (kW, VA, VAR)
- Medición de energía (kVAh, kVARh, kWh)
- Monitoreo de desbalance de fases
- Determinación del factor de K de transformadores

En el anexo 1 se especifica, funciones de pantalla, especificaciones técnicas y construcción.

9. DISEÑO EXPERIMENTAL

Descripción de la metalmecánica Mogro Barriga

La metalmecánica Mogro Barriga C.I Ltda., es una empresa dedicada a construcciones metálicas de maquinarias para procesos alimenticios, transportadores, trabajos en acero inoxidable, autoclaves etc.

Empresa fundada desde hace 40 años, expertos en la fabricación productos en base a los requerimientos del cliente, a través de una organización eficiente en el desarrollo de la producción y comercialización de sus productos, así como ofrecer asesoría sobre el uso y tratamiento adecuado de los equipos. En el anexo 2 se puede observar las instalaciones de la empresa.

Entre sus actividades constan:

- Montaje e instalación de elementos prefabricados
- Carpintería metálica
- Confección de maquinarias agroindustriales
- Mantenimiento a extractoras de aceite
- Equipos para la industria alimenticia

Análisis de consumo en la metalmecánica Mogro Barriga

El consumo de energía es deficiente en el momento actual de la empresa registrando datos por debajo de lo permitido, los datos principales registrados por el analizador de carga con fecha de 4-01-2017 hora 16:40:00 hasta 11-01-2017 hora 15:30:00, son con un intervalo de cada 10 minutos el tiempo que es establecido por ARCONEL, el equipo se instaló en el tablero principal de alimentación. (Véase la figura 9 y 10)

Figura 9: Tablero de distribución



Fuente: Investigador

Figura 10: Instalación del analizador de redes



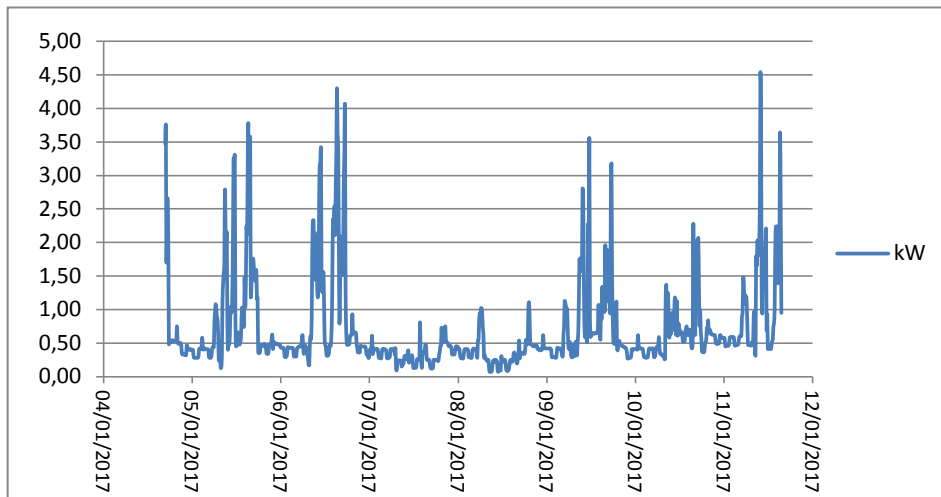
Fuente: Investigador

El levantamiento de carga se muestra en el anexo 3 correspondientes al tablero de distribución, donde fue realizada las mediciones para el dimensionamiento del banco de capacitores.

Potencia Activa – Aparente – Reactiva y Factor de potencia

Con los registros obtenidos desde el tablero de distribución principal se logró la adquisición de dato como potencia activa, reactiva, aparente y el factor de potencia. Estos datos permiten observar el comportamiento de las potencias y bajo fp.

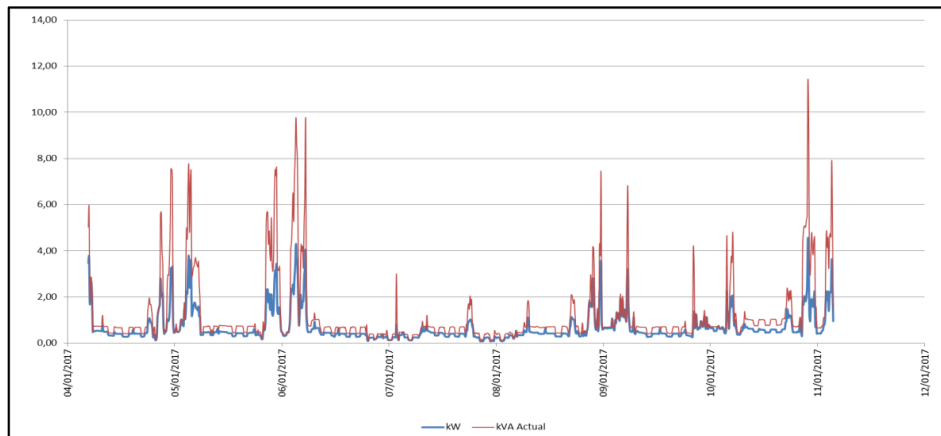
Gráfica 1: Potencia activa



Fuente: Investigador

El consumo mostrado en la gráfica 1 es relacionado a todo el periodo de recolección de datos del tablero principal de energización, con un valor máximo de 4,538 kW correspondiente al día 11-01-2017 a las 9:50:00.

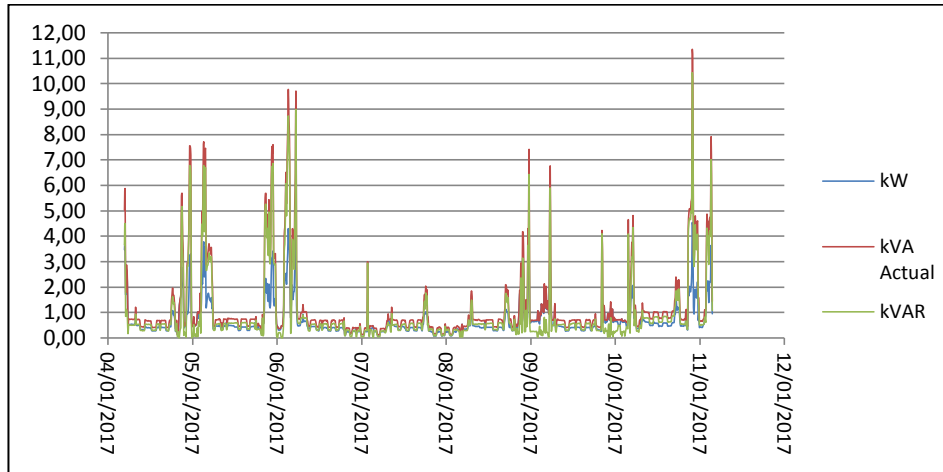
Gráfica 2: Potencia Activa vs Potencia Aparente



Fuente: Investigador

En la gráfica 2 se observa todos los días de medición. La potencia aparente máxima es de 11,532 kVA, es bastante la diferencia con respecto a la potencia real máxima de 4,538 kW debido a la gran cantidad de la potencia reactiva comprendido al día 11-01-2017 a las 9:50:00.

Gráfica 3: Potencias P, Q Y S



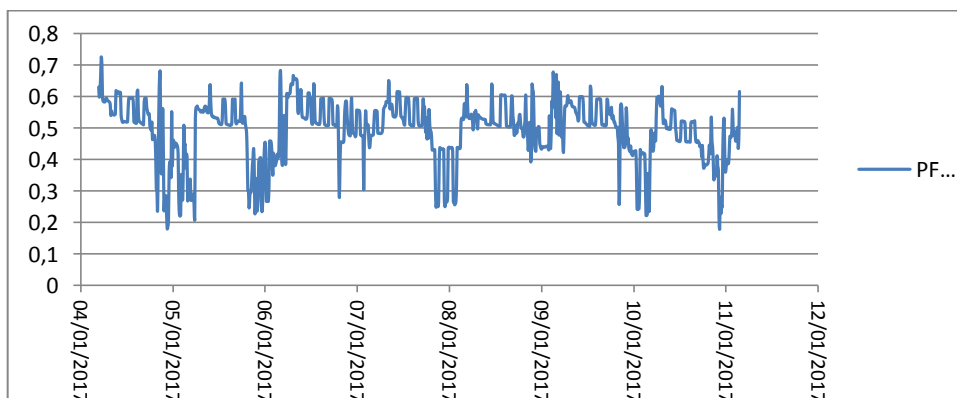
Fuente: Investigador

En la gráfica 3, se representa las tres potencias durante todo el periodo de mediciones donde se denota la diferencia de la potencia útil con la potencia reactiva que ocasiona un bajo factor de potencia, las que con un nuevo factor de potencia se corregirá, la potencia reactiva máxima es de 10,435 kVAR al día 11-01-2017 a las 9:50:00.

Análisis del factor de potencia

El fp durante toda la medición llegó a un valor mínimo de 0.178, el valor medio de 0.516, el máximo de 0,726 y el factor promedio de 0,493, lo que no es permitido por ninguna razón por la empresa suministradora de energía, por lo que el factor de potencia debe estar en un rango establecido por normas existentes iguales o superiores al 0.92, (véase la gráfica 4).

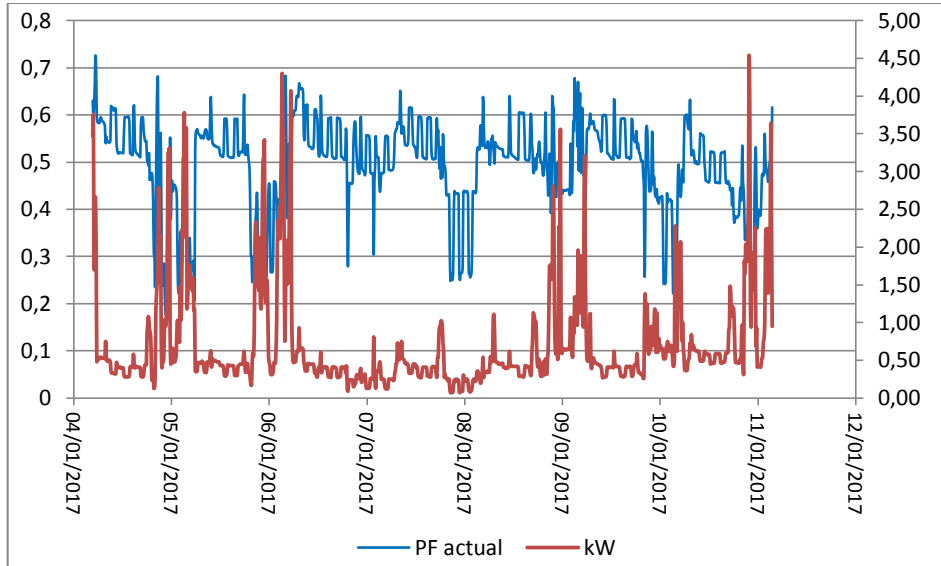
Gráfica 4: Factor de Potencia



Fuente: investigador

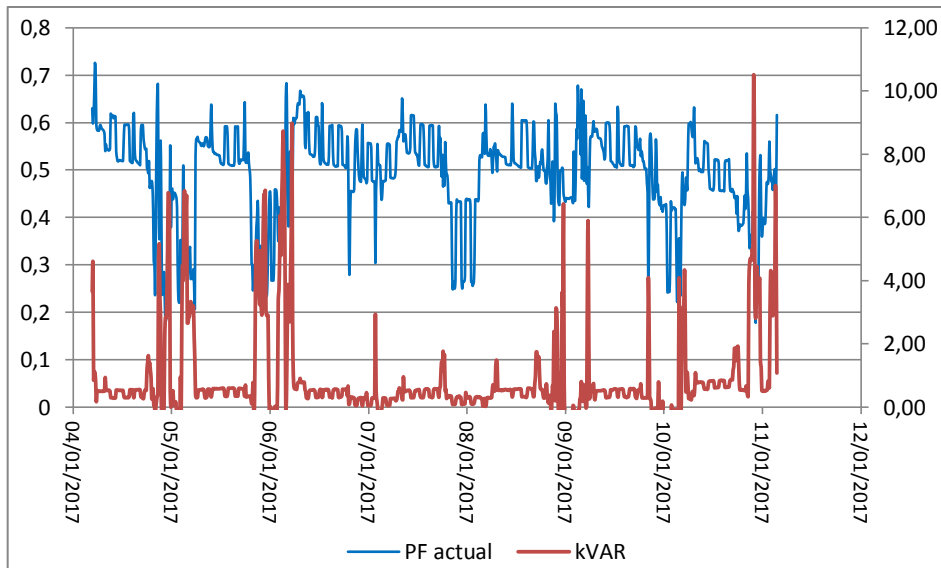
En la siguiente gráfica se muestra el fp con respecto a la potencia reactiva en los días laborables como en los días de descanso. (Véase la gráfica 5)

Gráfica 5: Fp actual y Potencia Activa



Fuente: Investigador

Gráfica 6: Factor de Potencia vs Potencia Reactiva actual



Fuente: Investigador

La relación entre las tres potencias y el fp se muestra la gráfica del anexo 4.

De todas las mediciones de datos se realizó una tabla con la potencia activa, reactiva, aparente y el factor de potencia sacando el máximo, medio y mínimo de valores actuales en la empresa, (Véase la tabla 2)

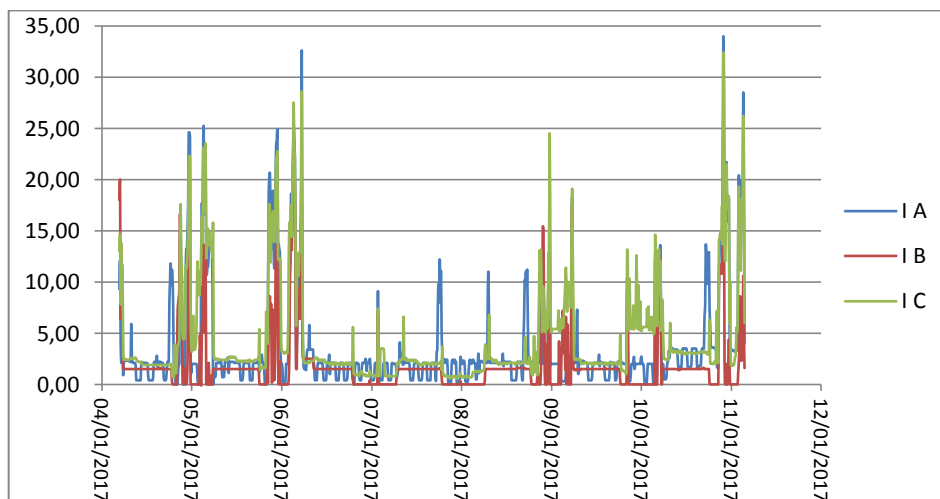
Tabla 2: Valores actuales de las instalaciones

	Potencia activa P (kW)	Potencia aparente S (kVA)	Potencia reactiva Q (kVAR)	Factor de potencia fp
Máxima	4,54	11,532	10,434	0,726
Medio	0,475	0,770	0,5243	0,5115
Mínima	0,07	0,108	0,082	0,178

Fuente: Investigador

Análisis de corrientes

En el análisis de las corrientes por fase se observó que no están balanceadas las fases, ya que una línea está más cargada que otra, se estable los valores de dato de todos los días de medición. (Véase la gráfica 7)

Gráfica 7: Balance de Corrientes

Fuente: Investigador

Se puede determinar la corriente máxima en la línea A que tiene 33,60 Amp y una corriente media de todos los días de 2,1 Amp. Se puede observar en la tabla siguiente los valores. (Véase la tabla 3)

Tabla 3: Desbalance de corrientes

	IA (Amp)	IB (Amp)	IC (Amp)
MÁXIMO	33,6	26,3	32
MEDIO	2,1	1,5	2,3
MÍNIMO	0	0	0,6

Fuente: Investigador

Desbalance de cargas

Para que las líneas se balanceen es necesario realizar una distribución correcta de las cargas que estén a estas fases con el fin de evitar calentamiento en los conductores y evitar daños a los equipos.

Para determinar el porcentaje de desbalance se empleó las ecuaciones 9 y 10

$$I.pro = \frac{Ia + Ib + Ic}{3}$$

$$I.pro = \frac{33,6 + 26,3 + 32}{3}$$

$$I.pro = 30,63$$

$$D = \frac{[(Ia - I.pro), (Ib - I.pro), (Ic - I.pro)]}{I.pro} * 100\%$$

$$D = \frac{[(33,6 - 30,63), (26,3 - 30,63), (32 - 30,63)]}{30,63} * 100\%$$

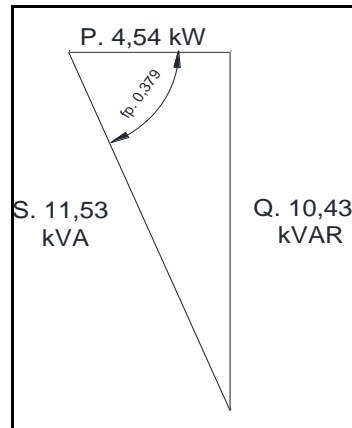
$$D_{F.A} = 9,69\% \quad D_{F.B} = 14,13\% \quad D_{F.C} = 4,47\%$$

Dimensionamiento del banco de capacitores

Con los datos recolectados por el analizador de carga del tablero principal de distribución se procedió al dimensionamiento del banco de capacitores. Con el fin de evitar ser penalizado por bajo factor de potencia se obtienen los principales datos a utilizar como son la potencia activa P, la potencia aparente S, la potencia reactiva Q y el factor de potencia ($\cos \phi$) que se demostró anteriormente en la tabla 2.

En el triángulo de potencia se muestra los valores iniciales antes de ser corregido el factor de potencia (véase la figura 11).

Figura 11: Triángulo de potencia inicial



Fuente: Investigador

Además el nuevo factor de potencia a utilizar para la corrección es de 0,99, de esta manera se evitara ser penalizado por bajo factor de potencia cual es el propósito de este proyecto.

Con la ecuación 5 anterior se determinó los valores para el banco de capacitores, donde φ es el ángulo del nuevo factor de potencia. Se tomó la máxima potencia activa consumida y registrada por el analizador,

$$Q = \tan \varphi \times P \quad Q = \tan 8,1096 \times 4,54 \quad Q = 0,6469 \text{ KVAR}$$

La potencia reactiva corregida útil que necesitará los motores es de 0,6469 kVAR

Para el cálculo se tomó el valor de la máxima potencia reactiva Q inductiva medido por el analizador de carga y el valor de potencia reactiva calculado con el nuevo fp . Dando como resultado la capacidad que se necesita corregir “compensar”, con la ecuación 6.

$$Q_c = Q_L - Q$$

$$Q_c = 10,434 - 0,6469$$

$$Q_c = 9,79 \text{ KAVr}$$

La nueva potencia aparente entregada siendo la necesaria para las máquinas se determinó con la ecuación 3 o también se puede hacer con la ecuación 1.

$$S = \sqrt{Q^2 + P^2}$$

$$S = \sqrt{(0,6469)^2 + (4,54)^2}$$

$$S = 4,59 \text{ KVA}$$

En el anexo 6 se muestra una gráfica general con los nuevos valores de potencia P, S, Q y el factor de potencia

El banco de capacitores para compensar toda la potencia es de 9,79 kVAR pasándole al inmediato superior de 10 kVAR con un nuevo fp . En la siguiente tabla se muestra los valores para el banco de capacitores en estado mínimo, medio y máximo. (Véase la tabla 4)

Tabla 4: Valores del banco de capacitores

	P (kW)	Q _C (kVAR)	Cos ϕ
Máximo	4,54	9,79	0,99
Promedio	0,692	0,75	0,99
Mínimo	0,07	0	0,99

Fuente: investigador

Estos valores se obtuvieron por medio de una hoja de cálculos en Excel.

Componentes del banco de capacitores automático

Los componentes del banco de capacitores a utilizar en la metalmecánica para mejorar el factor de potencia son:

- Capacitores
- Controlador de factor de potencia
- Contactores
- Dispositivos de protección

Capacitores

Los capacitores como ya se dimensionó la capacidad total que es de 10 kVAR, para lo cual se seleccionó dos de 2,5 kVAR y otro de 5 kVAR a 220v trifásicos, de la marca Disproel en el anexo 7 se muestra las características generales y rangos de operación, estos capacitores son capaces de soportar un voltaje máximo de 1,1 veces el voltaje nominal (U_N) y la corriente máxima de operación es de 1,35 I_N .

Para determinar la corriente nominal de cada capacitor se empleó la ecuación 11, con el fin de poder seleccionar los elementos de protección.

$$I_n = \frac{KVAR}{\sqrt{3} \times KV}$$

Fase A

$$I_n = \frac{2,5KVAR}{\sqrt{3} \times 0,22KV}$$

$$I_n = 6,56 \text{ Amp}$$

Fase B

$$I_n = \frac{2,5KVAR}{\sqrt{3} \times 0,22KV}$$

$$I_n = 6,56 \text{ Amp}$$

Fase C

$$I_n = \frac{5KVAR}{\sqrt{3} \times 0,22KV}$$

$$I_n = 13,12 \text{ Amp}$$

La corriente nominal del banco de capacitores es.

$$I_n = \frac{10 KVAR}{\sqrt{3} \times 0,22KV}$$

$$I_n = 26,24 \text{ Amp}$$

Controlador de factor de potencia

Para determinar el accionamiento del primer capacitor o paso, primero se obtiene la relación X/5, donde X es la corriente nominal $I_n = 295$ Amp del secundario a 220v / 127v del transformador de 112,5 kVA con voltaje primario $V_p = 13,2$ kV tomado de la placa del transformador trifásico (véase anexo 8) quedando $295/5 = 59$, entonces aplicamos la ecuación 12:

$$\frac{C}{K} = \frac{2500VAR / (\sqrt{3} \times 220)}{59}$$

$$\frac{C}{K} = 0,11$$

Con el valor de C/K encontrado que es de 0,11 el primer capacitor de 2,5 kVAR entrara en funcionamiento cuando la potencia reactiva supere los 0,28 kVAR ($0,11 \times 2,5 \approx 0,28$) evitando una sobrecompensación por una mínima carga de potencia reactiva. Cuando el controlador registra una demanda inferior a lo establecido para que entre en funcionamiento este dispositivo cerrara el circuito.

Cuando el factor de potencia sea mínimo entonces la demanda de carga reactiva es la máxima con lo que la potencia reactiva a compensar son los 10 kVAR. Para el caso cuando se tenga una demanda medio el controlador compensara los dos primeros capacitores, porque si se tiene una demanda mínima existirá una sobrecompensación con los dos capacitores en funcionamiento.

El controlador de factor de potencia es Schneider VL06 6 pasos 90/480VAC.

Los parámetros a introducir en el controlador de factor de potencia son los siguientes:

1) **P.01 Corriente primario TC**

Es de donde está alimentada la metalmecánica que es del secundario del transformador que comprende los 295 Amp

2) **P. 02 Potencia del paso más pequeño del banco de capacitores**

Potencia más pequeña del capacitor en este caso es de 2,5 kVAR

3) **P.03 Voltaje nominal del capacitor**

Voltaje nominal de la placa del capacitor 220 v

4) **P.04 Tiempo de reconexión**

Es el tiempo mínimo que se demora en descargar el banco de capacitores antes de conectarse nuevamente, este tiempo es que tarda para conectarse nuevamente y es de 60 seg.

5) **P.05 Sensibilidad**

Es el tiempo en que se demora para conectar el controlador la demanda de potencia reactiva si es mayor la demanda se demora menos y si es menor la demanda se demora más tiempo. Con un tiempo de 60seg, donde el capacitor menor es de 2,5 kVAR y la demanda máxima es de 10 kVAR, entonces $60 / 3 = 20$ seg, son 20 segundos antes de dar inicio de conectar el capacitor.

6) **P.06 LED 1.....n Coeficiente de paso**

Es la relación de cada paso de mayor potencia con el paso de menor potencia y se fija en P. 02. Cuando un paso es igual al paso de menor potencia entonces el coeficiente es 1, pero si un paso es el doble del paso de menor potencia el coeficiente es 2. En este proyecto se regulara a un patrón de 1:1:2 porque los capacitores son dos de 2,5kVAR y uno de 5 kVAR dando un total de 10 kVAR

Conexión para red trifásica, el controlador de factor de potencia se debe conectar a las dos fases de las líneas A y B, la fase C va conectado al transformador de corriente (intensidad) y este a su vez a la entrada de intensidad del controlador de voltaje. No es relevante la polaridad de entrada de Amp.

Contactor

Debido a las elevadas corrientes transitorias que producen un banco automático de capacitores además la que proviene de la red, los valores de cresta de sobrecorriente pueden alcanzar de 150 a 200 I_n , causando daños a los contactos de los contactores y capacitores. La norma **CEI 831** determina el que el valor de cresta de sobrecorriente debe ser inferior a 100 I_n .

La corriente de cortocircuito es de 4,23 kA

Los contactores a utilizar deben soportar una sobrecorriente de $2I_n$ del capacitor, como la corriente nominal de cada capacitor es de 6,56 Amp y 13,12 Amp entonces:

$$2 \times I_n$$

$2 \times 6,56 = 13,12 \text{ Amp}$ para los capacitores de 2,5 kVAR y de $2 \times 13,12 = 26,24 \text{ Amp}$ para el de 5 kVAR.

Los contactores a utilizar son de marca LS Industrial Systems, tipo MC9 de 14amp, para los dos de 2,5 y para el de 5 kVAR es MC22 de 26 Amp., en el anexo 9 se muestra la tabla de selección de los contactores.

Elementos de protección

Los elementos de protección constan un interruptor principal para todos los capacitores y un para cada capacitor.

Interruptor principal

Como ya se determinó anteriormente la I_n del banco de capacitores que es de 26,24 Amp, entonces el valor de protección del interruptor principal es de:

$$I_n = 1,43 \times 26,24$$

$$I_n = 37,52 \text{ A}$$

Seleccionado un interruptor tipo D de 37,52 Amp pasándolo al inmediato superior que es C60N 3P40 Amp a 220v.

Fusibles

Los fusibles a utilizar deben soportar 1,7 veces la corriente nominal del capacitor, se selecciona de la siguiente forma.

$$I_{n_{fusible}} = 1,7 \times 6,56$$

$$I_{n_{fusible}} = 1,7 \times 13,12$$

$$I_{n_{fusible}} = \mathbf{11, 15A.}$$

$$I_{n_{fusible}} = \mathbf{22, 30A.}$$

Entonces los fusibles a utilizar son: tipo NH con base 00 de 16Amp para los capacitores de 2,5 kVAR y para el de 5 kVAR es NH con base 00 de 25 Amp, estos valores son los existentes en el mercado. Para un futuro cambiar a interruptores termomagnéticos

Selección de conductores

Según Schneider Electric pág. E/74, la selección de conductores debe soportar un 30% la I_N del capacitor o $1,5 I_N$.

En la selección se realizará para los capacitores de 2,5 kVAR, para el de 5 kVAR y para todo el banco de capacitores.

$$1,5 \times 6,56 = 9,84 \text{ A}$$

La selección de los conductores para el capacitor de 2,5 kVAR es de 9,84 Amp o un conductor al inmediato superior.

$$1,5 \times 13,12 = 19,68 A$$

El conductor para el capacitor de 5 kVAR es 19,68 Amp o al inmediato superior.

En la selección del conductor que soportara a los tres capacitores con un total de 26,24 Amp es de:

$$1,5 \times 26,24 = 39,36 A$$

Con la tabla expuesta en el anexo 10 se muestra una tala con las características de los conductores a ser utilizados y el anexo 11 el diagrama de conexión de los capacitores y las protecciones.

Transformador de corriente

El transformador de corriente, para el controlador de factor de potencia fue seleccionado en base con la corriente nominal del secundario del transformador $I_n=294A$ que suministra a la Metalmecánica Mogro Barriga. Seleccionando el de 300/5 A existente en el mercado.

10. DESARROLLO DE LA PROPUESTA (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS)

Balance de cargas

Con las cargas anteriores de la instalación se pudo comprobar que existe un desbalance en cada fase por encima de lo permitido que es del 5%,

Las cargas deben estar por debajo del 5% de desbalance, se pudo constatar que la fase B esta desbalanceada con 14,13% respecto a la fase A y la fase A con 9,69% respecto a la fase C con 4,47% que está por debajo del 5% de desbalance.

Con el balance de las cargas que se realizó y se muestra en al anexo 5 el diagrama unifilar con las cargas balanceadas.

Con las cargas equilibradas por cada fase, se reduce a un 4,23% de la fase más desbalanceada, en la tabla 5 se muestra la comparación del desbalance de cargas.

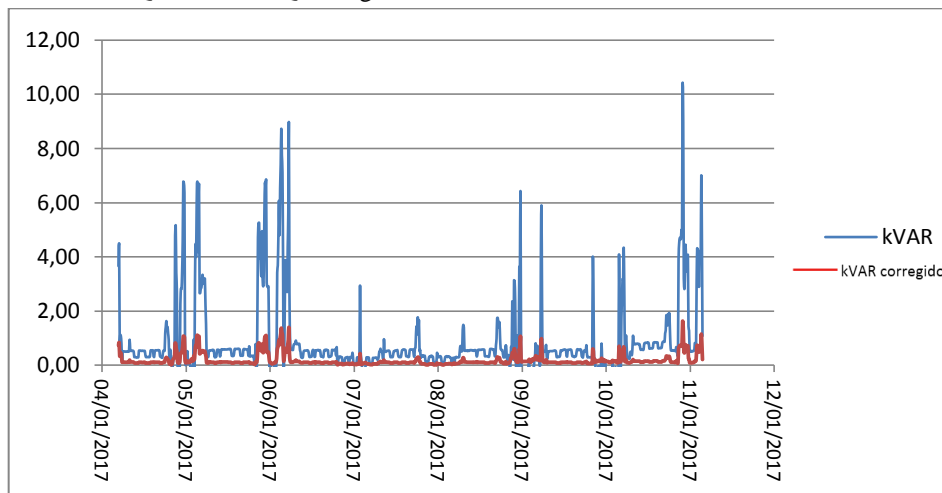
Tabla 5: Comparación de balance y desbalance de carga

FASE	DESBALANCE DE CARGA (%)	BALANCE DE CARGAR (%)
A	9,69%	4,23%
B	14,13%	2,08%
C	4,47%	2,08%

Fuente: investigador

Comparaciones de resultados

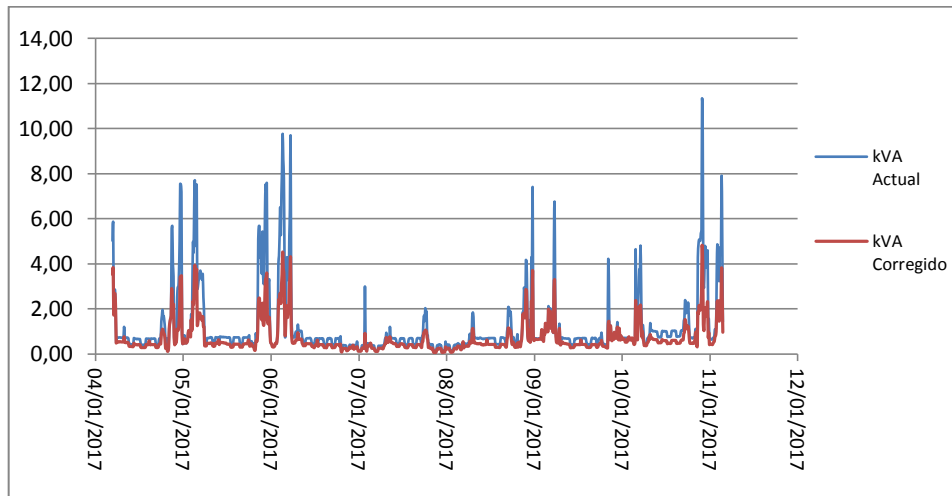
La comparación de la potencia reactiva anterior que fue tomada por el analizador de redes es de 10,43 kVAR y la potencia Q corregida con el nuevo factor de potencia es de 0,647 kVAR. Dando una diferencia de 9,79 kVAR, siendo la potencia a ser compensada.

Gráfica 8: Q anterior vs Q corregida

Fuente: Investigador

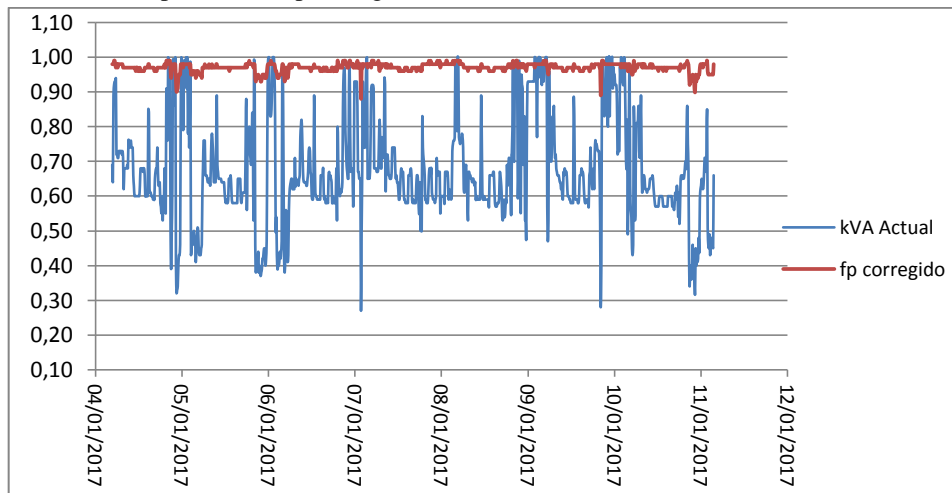
Con la potencia aparente S entregada anteriormente al sistema de 11,53 kVA y la nueva potencia aparente S de 4,59 kVA la diferencia es de 6,94 kVA que se libera del transformador.

En la gráfica 9 se puede observar las curvas de la potencia S anterior con la potencia S corregida.

Gráfica 9: S actual vs S corregida

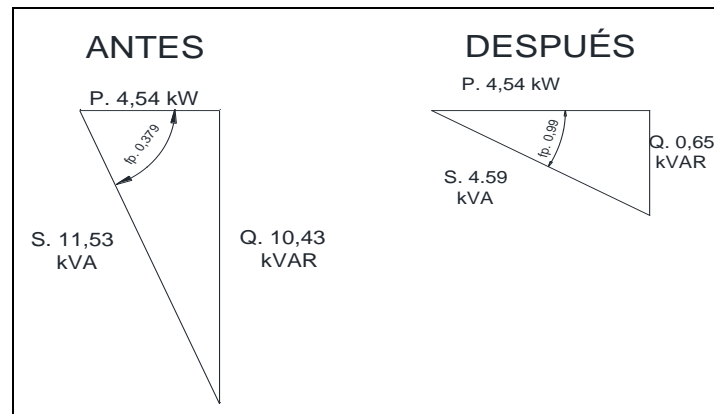
Fuente: Investigador

En la gráfica 10 se muestra el factor de potencia anterior durante todos los días de medición y el nuevo factor de potencia corregido durante los mismos días.

Gráfica 10: Fp actual vs Fp corregido

Fuente: Investigador

Con la corrección de factor de potencia se puede mostrar las diferencias en el triángulo de potencia, de los valores iniciales antes de la corrección y después de la corrección con un nuevo fp, (véase la figura 12).

Figura 12: Factor de potencia inicial y corregido

Fuente: Investigador

Selección del banco de capacitores

Con el dimensionamiento del banco de capacitores a partir de las lecturas del analizador de carga se determinó que las cargas de potencia reactiva son variables por lo que se estableció utilizar un banco de capacitores automático, ya que este permite regula la entrada de potencia reactiva según sea la demanda.

Este método permite utilizar un regulador de factor de potencia que ayuda a mantener un fp previamente establecido que es de 0,99 cuando las cargas sean mínimas, con el fin de evitar daños a las maquinas, el funcionamiento es de pasos que consiste en abrir o cerrar el contactor, cuando se necesite de demanda máxima el fp es mínimo entonces se utiliza todos los capacitores o mínima el fp se aproxima a la unidad utilizando un capacitor. Si la carga no es superada por el valor mínimo establecido en el controlador de fp a compensar este se desconecta.

Utilizando un tipo central el cual es colocado en paralelo con el tablero principal de distribución, para compensar todos los motores en utilización de la metalmecánica.

11. IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO

Técnico

Con la obtención de una adecuada eficiencia energética se logra eliminar las penalizaciones por bajo factor de potencia, obteniendo una reducción de la potencia reactiva consumiendo lo necesario y liberando la potencia del transformador para aplicar más cargas con el mismo equipo. Alargando la vida útil de las maquinas. (Véase la tabla 6)

Tabla 6: Diferencia con la instalación del banco de capacitores

ESTADO	P. ACTIVA kW	P. REACTIVA kVAR	P. APARENTE kVA
ACTUAL	4,54	10,43	11,53
CORREGIDA	4,54	0,647	4,59
DIFERENCIA	4,54	9,787	6,94

Fuente: Investigador

Económico

Los impactos económicos al incorporar un banco de capacitores son aceptables y muy beneficiosos para la Empresa Mogro Barriga reduciendo el pago en la planilla de energía. El pago por penalizaciones en el año es de USD 1.104,4 y en toda la vida de uso del banco de capacitores que es de 10 años que asciende a un valor de USD 11.044. Con el costo de inversión total de USD 1.725,14 menos lo representado durante los diez años, $11.044 - 1.725,14 = 9.318,86$ USD que se ahorra con la instalación del banco de capacitores automático de 10 kVAR.

12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El proyecto tiene que justificar la inversión realizada, para mejorar el factor de potencia y evitar la penalización por la empresa eléctrica, analizando los beneficios económicos que se obtenga.

Este análisis consiste en evaluar los costos y beneficios de la incorporación de un banco de capacitores automático de 10 kVAR, para un periodo de duración de 10 años.

La empresa durante los últimos 12 meses ha cancelado USD \$ 1.104,91 por penalización de bajo factor de potencia y durante los 10 años de vida útil del equipo llegaría a USD 11.049, en el anexo 12 se detalla una tabla del consumo y pago por este concepto. Así como la lista de los materiales del banco de capacitores.

Para desarrollar el análisis económico se analiza los principales conceptos a intervenir.

El valor presente (VP), es el valor de un flujo de dinero futuro a lo largo de un tiempo constante generado por una inversión, que se determina con la ecuación 13. Para traer un valor presente, que no es constante durante un tiempo si no que es en un determinado tiempo, diferente del tiempo inicial se determina con la ecuación 14.

$$VP = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad \text{(Ecuación. 13)}$$

$$VP = AIn \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad \text{(Ecuación. 14)}$$

Dónde:

VP = valor presente

A = es la unidad que se requiere traer a valor presente

i = tasa de interés / inversión anual

n = periodo en años

AIn = valor que se requiere traer al valor presente

El valor presente neto (*VPN*) es la diferencia entre *VP* y el costo de inversión *CI*.

La relación beneficio/costo *B/C*, es la razón de los beneficios del proyecto con los costos del proyecto con una misma tasa de interés $RCB = B/C$. Son aceptables los proyectos con valores superiores a uno.

Recuperación de capital (*RC*), es el valor total de la inversión y el valor total de los beneficios, con este resultado se determina el periodo de recuperación de toda la inversión.

Los valores como: el banco de capacitores se muestran en la tabla 7, mantenimiento y cambio de materiales por avería además del retiro al final de su vida útil se detalla en la tabla 8.

Se realizó con una tasa de interés de 12% anual.

Los valores de: mano de obra, mantenimiento y retiro del equipo fueron facilitados por el Ing. Vicente Rojas, de la CONSTRUCTORA ELÉCTRICA ROJAS, Av. Tsáchilas 701 y Rio Aguarico, telefax 2759-184. Santo Domingo de los Colorados.

Tabla 7: Costo de inversión inicial

DESCRIPCIÓN	VALOR USD
COSTO DE MATERIAL	892,28
MANO DE OBRA	223,07
TRANSPORTE	0
DIRECCIÓN TÉCNICA	0
UTILIDADES	0
TRAMITES	0
SUBTOTAL	1.115,35
IVA 14%	156,15
TOTAL	1.271,50

Fuente: investigador

Tabla 8: Costos futuros

DESCRIPCIÓN	VALOR USD
Mantenimiento preventivo por año	60
	SUBTOTAL 60
	IVA 14% 8,4
	TOTAL 68,4
Mantenimiento correctivo, cambio de elemento	115
	SUBTOTAL 115
	IVA 14% 13,8
	TOTAL 128,8
Retiro del equipo al final de su vida útil	70
	SUBTOTAL 70
	IVA 14% 9,8
	TOTAL 79,8

Fuente: investigador

Cálculo de costo de inversión

Como ya se conoce el costo de inversión inicial que es de 1.271,50 del banco de capacitores y para saber el costo de inversiones secundarias que está a lo largo de un tiempo se tiene que traer estos valores presentes *VP* para formar el costo de inversión total.

Inversión del equipo (IVN). El valor presente del proyecto como es el actual, no es necesario traerlo al presente entonces:

$$VP = INV = CI_1 = 1.271,5 \text{ USD}$$

Para encontrar el valor presente durante toda la vida útil del equipo se realizó con la ecuación. 13 y 14

VP₁: mantenimiento preventivo por año (CI₂)

$$VP = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$VP = 68,40 \left[\frac{(1+0,12)^{10} - 1}{0,12(1+0,12)^{10}} \right] \quad VP = 386,48 \text{ USD}$$

VP₂: mantenimiento correctivo a los 5 años (CI₃)

$$VP = A \ln \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$VP = 128,8 \left[\frac{1}{(1+0,12)^{10}} \right] \quad VP = 41,47 \text{ USD}$$

VP₃: Retiro del equipo al final de su vida útil (CI₄)

$$VP = A \ln \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$VP = 79,8 \left[\frac{1}{(1+0,12)^{10}} \right] \quad VP = 25,69 \text{ USD}$$

El costo de la inversión total es de:

$$CI = CI_1 + CI_2 + CI_3 + CI_4$$

$$CI = 1.271,50 + 386,48 + 41,47 + 25,69$$

$$CI = 1.725,14 \text{ USD}$$

Valor presente

Las penalizaciones por bajo factor de potencia genera valores en USD cada mes, sumando un total de \$ 1.104,4 al año, estos valores para traerlos al presente *VP* durante los diez años de

vida útil del banco de capacitores se da con la ecuación siguiente.

VP: Penalización anual por bajo fp

$$VP = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

$$VP = 1104,4 \left[\frac{(1+0,12)^{10} - 1}{0,12(1+0,12)^{10}} \right]$$

$$VP = 6.240,10 \text{ USD}$$

Valor presente neto VPN

Este valor es la diferencia, entre el valor presente producido por un flujo de efectivo futuros menos el costo de inversión total del proyecto.

$$VPN = VP - CI$$

$$VPN = 6.240,10 - 1.725,14$$

$$VPN = 4.514,96 \text{ USD}$$

Entonces si el $VPN > 0$ la inversión producirá ganancias, como el valor de VPN es de 4.514,96 USD el proyecto es aceptable.

Relación costo/beneficio

Es relación ante el valor presente VP y el costo de inversión, con este factor se determina si es aceptable o no el proyecto.

$$\frac{B}{C} = \frac{VP}{CI}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{6240,10}{1725,14}$$

$$\frac{B}{C} = 3,62$$

Si $B/C > 1$ es rentable el proyecto, para el presente proyecto el valor de B/C es de 3,62.

Recuperación de la inversión

Es el periodo en que se demora la recuperación de la inversión del banco de capacitores que es de 10 kVAR, el cual es de la división de CI/VP .

$$RC = \frac{CI}{VP}$$

$$RC = \frac{1725,14}{6240,10}$$

$$RC = 0,276 \text{ meses}$$

Si el valor de RC es = 1 año se recupera el capital invertido en un tiempo razonable.

13. CONCLUSIONES

- Con la información tomada con el analizador de redes desde el tablero principal de distribución que suministra a las maquinas se obtuvo un factor de potencia promedio de todos los días medidos de 0,493.
- Con el análisis de las variables se determinó que las cargas no son constantes, con estos valores se seleccionó del tipo de banco de capacitores a utilizar, siendo un banco de capacitores automático.
- La instalación del banco de capacitores a ser utilizado es de 10 kVAR, conectado en paralelo al tablero de suministro eléctrico de la empresa, para compensar la potencia reactiva que era suministrada por el transformador, logrando mantener una eficiencia energética adecuada con un factor de potencia por encima de lo permitido por la empresa suministradora de electricidad y ARCONEL.
- Mejorado el factor de potencia con un banco de capacitor automático, el factor de potencia se incrementó a 0,98.
- En el análisis económico se determinó que el proyecto es aceptable y rentable generando un ahorro de 9.318,86 USD en el periodo de 10 años.

14. RECOMENDACIONES

- Se pide a la empresa realizar una renovación en los tableros de fuerza y control que permitan una mejor utilización de los equipos. Además de la renovación del tablero principal de distribución.
- El mantenimiento del banco de capacitores se realizara cada año con el fin de prevenir daños, este mantenimiento lo debe realizar un técnico calificado.
- Se debe realizar una renovación de los conductores de fuerza debido al deterioro producido por calentamientos y tiempo de utilización, además de un redimensionamiento de los conductores que alimentan al tablero principal.
- Al momento de utilizar cargas monofásicas se recomienda realizar una correcta distribución de las cargas que permitan mantener equilibradas las líneas.
- El banco de capacitores debe de estar libre de obstáculos que puedan ocasionar un peligro como, líquidos y materiales pesados.

15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, Juan y otro (2007). Corrección del factor de potencia y control de demanda. Universidad del atlántico – Universidad del Occidente.
- FOWLER, R (1994). Electricidad principios y aplicaciones. Barcelona – España: editorial Reverté S.A,
- HERMOSA, D. A. (2003). Principios de electricidad y electrónica. Barcelona España. Marcombo, S.A.
- LLUMIQUINGA, F. (2012). Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- LÓPEZ Jimeno Carlos. (2006); Guía de Ahorro Energético en las Instalaciones Industriales. Madrid España: Editorial Graficas Arias Montano S. A.
- SANTAMARÍA, German; Electrotecnia, electricidad y electrónica. Madrid-España: editorial Editex S. A
- SCHNEIDER Electric (2010). Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010. Cuarta edición. Barcelona-España: editorial Tecfoto S.L.
- SCHNEIDER Electric (2003). Manual teórico practico, instalaciones en baja tensión. Primera edición. Barcelona España: editorial Tecfoto S.L.
- SEVILLEJA A. (2011). Eficiencia energética en el sector industrial, departamento de Ingeniería eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid – Leganés.
- ZAPATA, O. (2010). ANÁLISIS ELECTRÓNICO DE LAS SOLUCIONES QUE EXISTEN EN CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA”. Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfciz.35a/doc/bmfciz.35a.pdf>.

16. ANEXO

ANEXOS

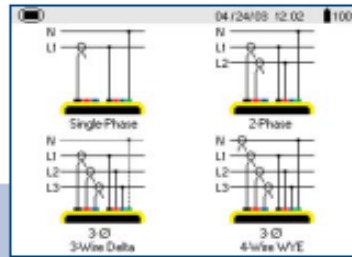
ANEXO 1

Analizador de calidad de energía eléctrica trifásico AEMC POWERPAD 3945-b

Pantallas funcionales



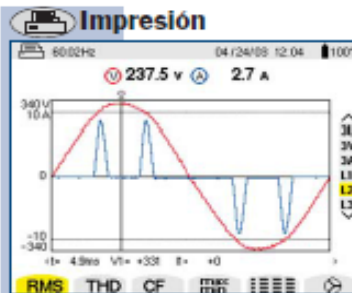
La configuración es simple y fácil. Simplemente pulse el botón de configuración (setup) y seleccione la función que desea configurar. Por ejemplo, para configurar la entrada, seleccione la conexión deseada de las opciones gráficas mono-, di- y trifásica. La corriente neutra es calculada en la conexión de 4 cables.



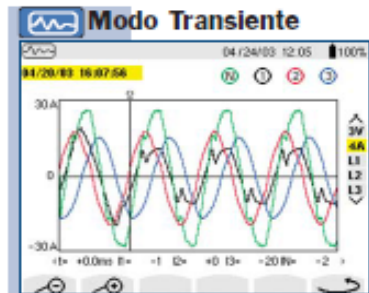
El sistema de acceso directo del PowerPad le permite ver la información importante que Ud. requiere con sólo pulsar un botón. Revise rápidamente en pantalla formas de onda, armónicos, transientes, alarmas y datos registrados. Los ajustes iniciales son muy fáciles, usando una combinación de prompts gráficos y de texto se configura rápidamente el PowerPad según el sitio de trabajo.



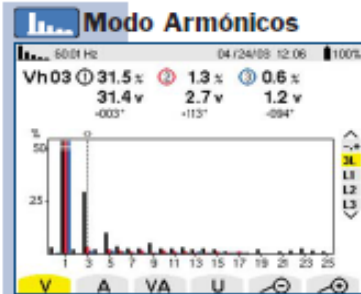
Ud. puede almacenar hasta 12 fotos instantáneas de la pantalla simplemente pulsando el botón cámara mientras la información deseada de cualquiera de los modos del instrumento se encuentra en pantalla. Cualquiera de las instantáneas almacenadas puede ser escogida y presentada seleccionándola de la lista.



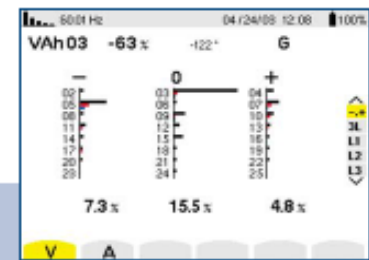
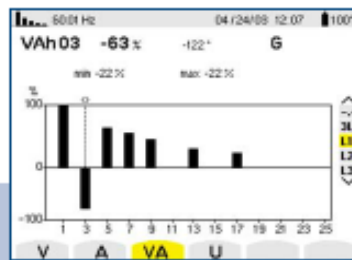
La información en pantalla (en tiempo real o de datos almacenados) puede ser enviada a una impresora usando una interfase serial simplemente pulsando el botón imprimir.



Presente transientes capturados – cada transiente consistente de un ciclo pre-disparo, el ciclo de disparo y dos ciclos post-disparo. Cuando se captura un transiente se almacenan todas las entradas. Se puede almacenar hasta 50 transientes, cada uno consistente de cuatro ciclos y hasta seis entradas dando un total de 1200 formas de onda transientes.



Se puede presentar armónicos de voltaje, corriente y potencia en tiempo real, en gráfico de barras o en texto y almacenarlos en la memoria. Se puede analizar un armónico en particular moviendo el cursor horizontal hasta ese armónico. Se puede presentar la dirección de un armónico (fuente a carga o carga a fuente) en los armónicos de potencia. Se puede presentar la secuencia de armónicos (negativo, cero y positivo) de los volts o amperes en todas las fases.



Especificaciones técnicas

MODELO	3945-B		
ELECTRICAS			
Frecuencia de Muestreo	256 muestras por ciclo		
Almacenamiento de datos	4MB partidos para formas de onda, transientes, alarmas y registro		
Voltaje (TRMS)	Fase-a-Fase: 960V Fase-a-Neutro: 480V		
Corriente (TRMS)	Tenaza MN: 0 a 6A/120A o 0 a 240A Tenaza MR: 0 a 1200Aca, 0 a 1400Acc Tenaza SR: 0 a 1200A AmpFlex®: 0 a 6500A ¹		
MEDICION	RANGO	RESOLUCION	EXACTITUD
Voltajes RMS Mono-Fásicos	15 a 480V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Voltajes RMS Fase-a-Fase	15 a 960V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Componente de Voltaje CC	15 a 680V	0.1V	±1% ± 2cts
Voltajes de Pico Mono-Fásicos	15 a 680V	1V	±(1% + 5cts)
Voltajes de Pico Fase-a-Fase	15 a 1360V	1V	±(1% + 5cts)
Frecuencia (Hz)	40 a 69Hz	0.01Hz	±0.01Hz
Sensores de Corriente (Arms)			
Tenaza M	0 a 240A	0.1A	±(0.5% + 2cts)
Tenaza SR	0 a 1200A	0.1A; 1A ≥ 1000A	±(0.5% + 2cts)
Sensor AmpFlex®	10 a 6500A	0.1A; 1A ≥ 1000A	±(0.5% + 1A)
Potencia Activa (Real) (kW)	0 a 9999kW	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Potencia Reactiva (kVAR)	0 a 9999KVAR	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≤ 0.8
Potencia Aparente (kVA)	0 a 9999KVA	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Factor de Potencia (PF y DPF)	-1.000 a 1.000	0.001	±(1.5% + 0.01)
Energía Activa (kWh)	0 a 9999MWh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Energía Reactiva (kVARh)	0 a 9999MVARh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≤ 0.8
Energía Aparente (kVAh)	0 a 9999MVAh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Desbalance (V & A)	0 a 100%	0.1%	±1% ± 1ct
Angula de Fase (V-A, A-A, V-V)	-179° a +180°	1°	±2° ± 1ct
Armónicos (1 ^{ra} to 50 ^{ta}) F = 40 a 69Hz (V ≥ 50V, A > Inom/100)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Distorsión Armónica Total (V y A)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Factor-K (Aki)	1 a 99.99	0.01	±5% ± 1ct
Parpadeo (Pst)	0.00 a 9.99	0.01	-
Alimentación	Juego de baterías recargables NIMH de 9.6V Alimentación CA: 110/230Vca ±20% (50/60Hz)		
Vida de la Batería	≥8 hrs con pantalla encendida; ≤35 hrs con pantalla apagada (en modo registro)		
MECHANICAS			
Dimensiones	9.5 x 7 x 2" (240 x 180 x 55mm)		
Weight	4.6 lbs (2.1kg)		
PANTALLA			
Tipo de Pantalla	LCD de color 1/4 VGA (320 x 240)		
AMBIENTALES			
Temperatura de Operación	32° a 122°F (0° a 50°C)		
Temperatura de Almacenaje	-4° a +122°F (-20° a +50°C)		
SEGURIDAD			
Clasificación de Seguridad	EN 61010-1, 600V Cat. IV, Grado de Contaminación 2		
Doble Aislación <input type="checkbox"/>	SI		
Marca CE	SI		

¹Factor de Cresta @ 6500 = 1 ²Cuando es utilizado con SR193 o las sondas AmpFlex®, 600V Cat III MV193 o las sondas MF193

Especificaciones del equipo de medición



Los conectores de entrada codificados con colores proporcionan entradas dedicadas para sensores de corriente y voltaje.



Las conexiones ubicadas a un costado del Modelo 3945-B proporcionan una puerta de comunicación ópticamente aislada RS-232 y conexión a la línea de 85 a 256 VCA (50/60Hz).

ANEXO 2

Instalaciones de la Empresa Metalmecánica Mogro Barriga CIA. LTDA.



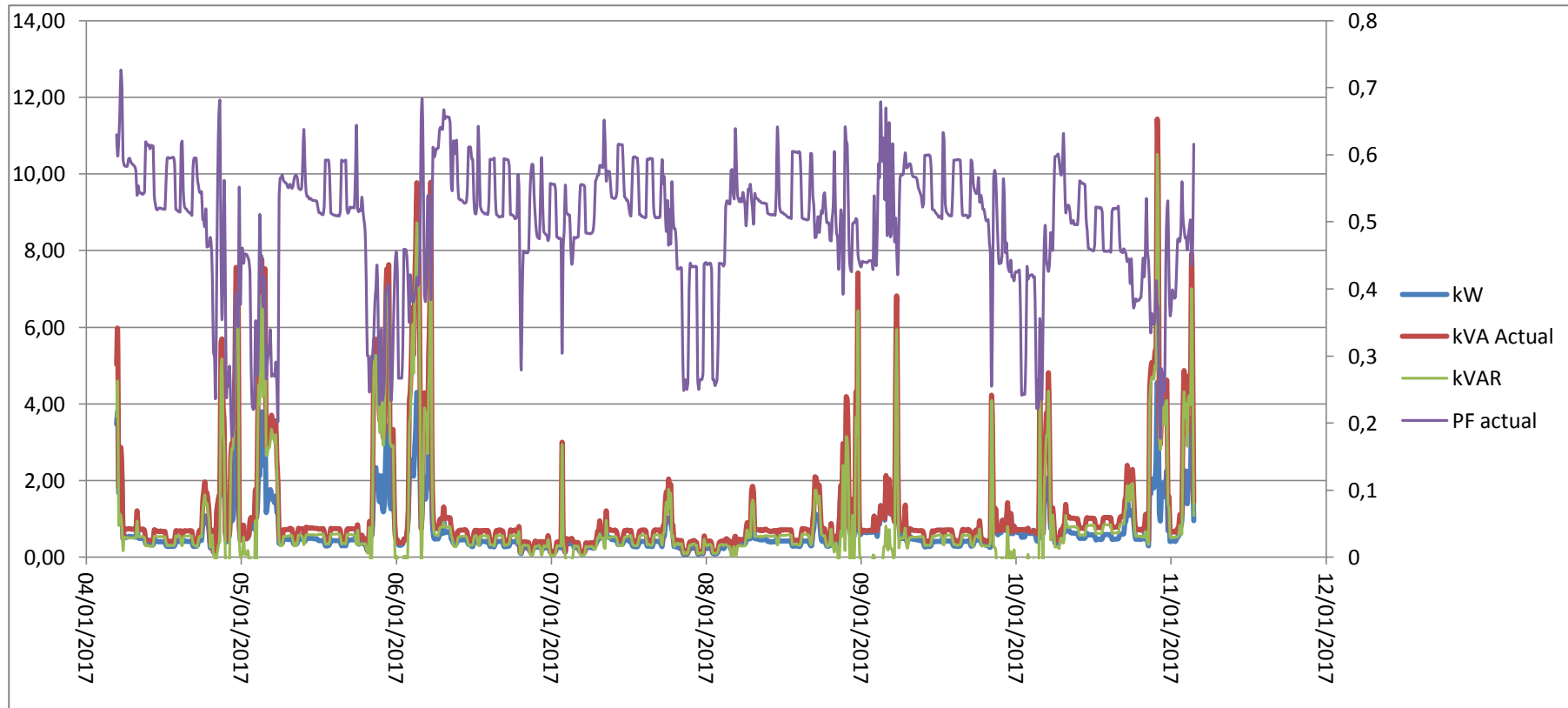
ANEXO 3

Levantamiento de cargas

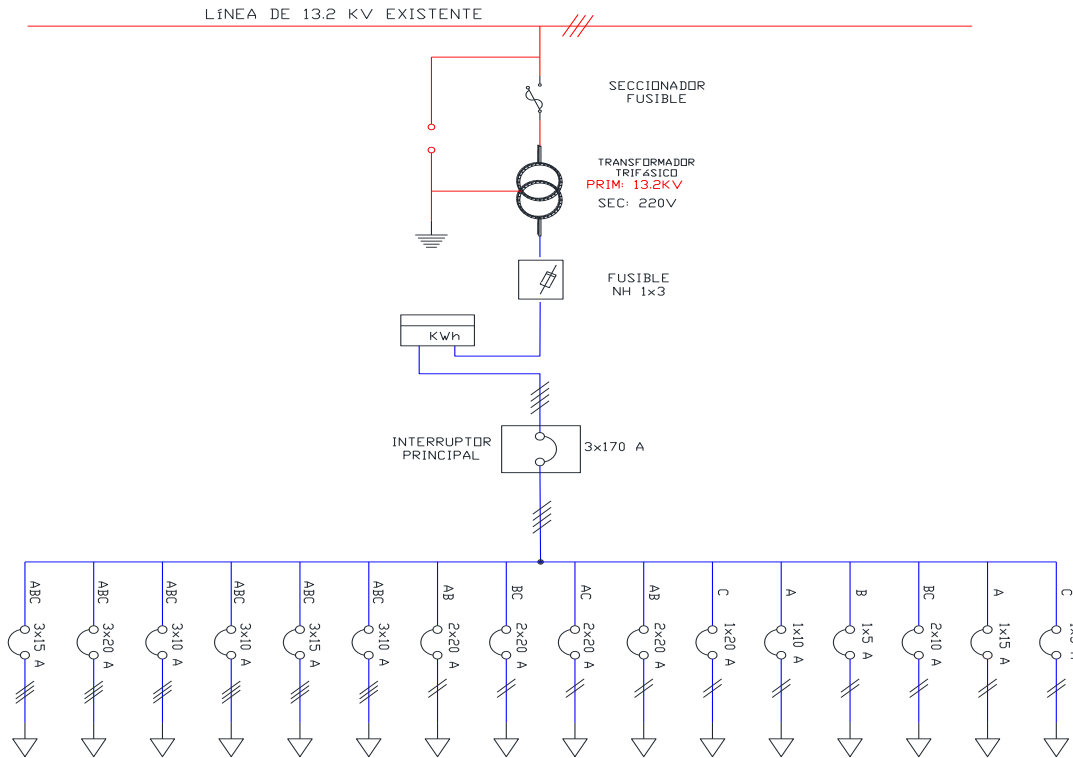
BLOQUE A							
DESCRIPCIÓN	UNID	VOLTAJE (v)	TIPO DE CONEXIÓN	POTENCIA UNITARIA kW	POTENCIA TOTAL kW	FP	CORRIENTE Amp
Prensa hidráulica 400 toneladas	1	220	3 f	3,73	3,73	0,86 - 0,94	11,4
Pestañadora	1	220	3 f	4,47	4,47	0,86 - 0,94	13,6
Dobladora	1	220	3 f	2,24	2,24	0,86 - 0,94	6,8
Doladora hidráulica	1	220	3 f	2,24	2,24	0,86 - 0,94	6,8
Cortadora	1	220	3 f	3	3	0,86 - 0,94	9,2
Esmeril	1	220	3 f	1,5	1,5	0,86 - 0,95	4,6
Soldadoras	4	220	2 f	4	16	0,86 - 0,94	12,2
Amoladora	1	110	1 f	2,3	2,3	-	13,1
Taladro	1	110	1 f	0,65	0,65	-	3,7
Esmeril	1	110	1 f	0,56	0,56	-	3,2
Luminarias del galpón industrial	10	220	2f	0,15	1,5	-	4,0
Toma corrientes oficina	10	110	1f	0,15	1,5	-	8,6
Iluminación oficina	4	110	1f	0,06	0,24	-	1,3
TOTAL	30			19,83	39,93		

ANEXO 4

Relación entre las potencias y el factor de potencia actual



ANEXO 5



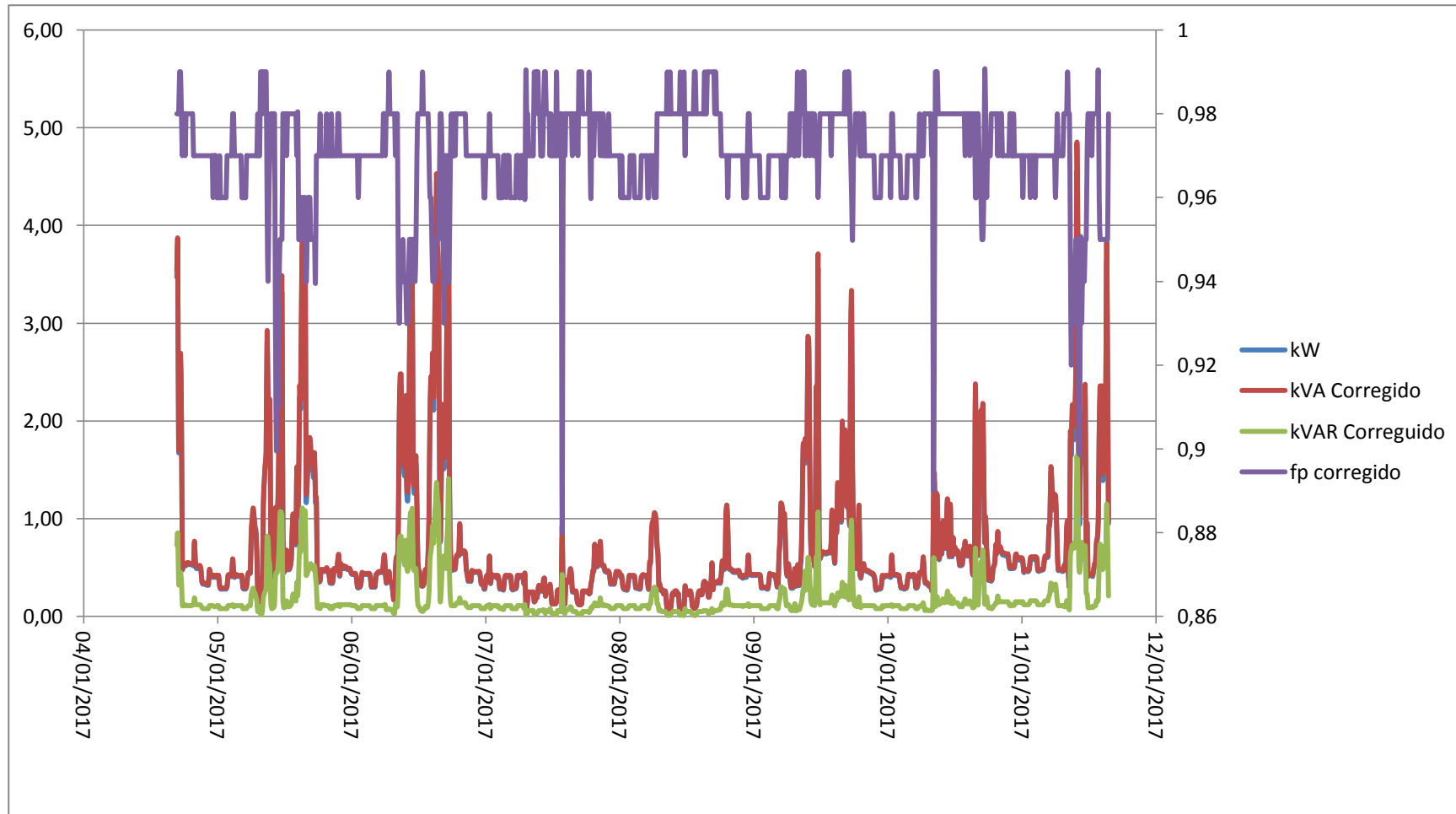
SIMBOLOGIA	
	TRANSFORMADOR 3F 112.5KVA/13800-220-127V EXISTENTE
	RED 3F DE M.V. A 13.8
	RED. B.VOLTAJE EXISTENTE 220/127V
	SECCIONADOR TIPO ABIERTO
	PARARRAYO
	FUSIBLE NH
	MEDIDOR TRIFÁSICO A 220-127V
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO
	FASE
	CARGA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DISEÑO: JAVIER NAVARRETE	PROYECTO: DIAGRAMA UNIFILAR CON CARGAS EQUILIBRADAS DE LA METALMECÁNICA MOGRO BARRIGA		
REVISADO POR:			
DIBUJO: JAVIER NAVARRETE	ESCALA: 1:1	FECHA: 07-03-2017	HOJA: 1 DE 1

ANEXO 6

Gráfica general de nuevos valores de potencia P , S , Q Y fp



ANEXO 7

Características generales y rangos de operación

VERSION 6



FICHA TÉCNICA CONDENSADORES TRIFÁSICOS

Características generales:

- Auto-regenerativo.
- Alta resistencia de aislamiento.
- Cuerpo cilíndrico.
- Vida útil de 100.000 horas.

Aplicación:

Corrección de factor de potencia

Construcción:

- Dieléctrico: película de polipropileno.
- Sistema de desconexión automático interno.
- Resistores de descarga internos.
- Carcasa, bote o encapsulado: cápsula cilíndrica en aluminio.
- Material de relleno: Resina poliuretánica.
- Terminales de conexión: bomera con tornillo
- Sistema de fijación: perno M12, tuerca y golilla



Características técnicas:

Normas de fabricación	IEC60831-1
Tensión de trabajo U_N (V)	220 – 240, 440 – 460, 480 – 525, 660 - 690
Frecuencia de trabajo f_N (Hz)	50/60
Tolerancia en potencia	-5% +10%
Temperatura de trabajo (°C)	-25 +55 (D)
Pérdidas dieléctricas (W/kvar)	<0.2
Pérdidas totales (W/kvar)	<0.5
Tensión máxima de operación (V)	1.1 U_N
Corriente máxima de operación (A)	1.35 I_N
Conexión interna	Triángulo
Torque máximo terminales de conexión (Nm)	5
Torque máximo Perno de Fijación (Nm)	9
Diámetro Terminal de Conexión (mm)	6.5 (AWG 2 máx)

Niveles de tensión admisibles en servicio a 60Hz

1.00 U_N	Continuo
1.10 U_N	8 horas en un período total de 24 horas
1.15 U_N	30 minutos en un período total de 24 horas
1.20 U_N	5 minutos
1.30 U_N	1 minuto

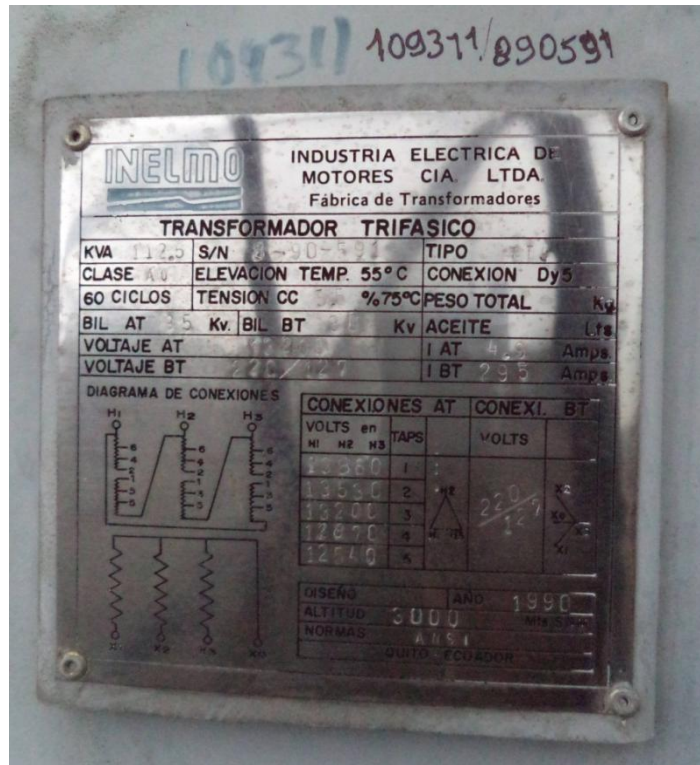
Certificaciones



Tensión (V)	Potencia (kVar)		Corriente (A)		Tensión (V)	Potencia (kVar)		Corriente (A)		Dimensiones D(mm) x H(mm)	Perno de fijación	Corriente Pico (inrush) Máxima	Referencia	
	@ 60 Hz	@ 50 Hz	@ 60 Hz	@ 50 Hz		@ 60 Hz	@ 50 Hz	@ 60 Hz	@ 50 Hz					
220	1,5	1,3	3,9	3,28	240	1,8	1,5	4,3	3,6	85 x 180	M12	$\leq 200 I_N$	3TC22015	
	2,5	2,1	6,6	5,47		3,0	2,5	7,2	6,0			85 x 180	$\leq 200 I_N$	3TC22025
	5,0	4,2	13,1	10,93		6,0	5,0	14,3	12,0			85 x 180	$\leq 100 I_N$	3TC22050
	7,5	6,3	19,7	16,40		8,9	7,4	21,5	17,8			75 x 230	$\leq 100 I_N$	3TC22075
	10,0	8,3	26,2	21,87		11,9	9,9	28,6	23,9			85 x 300	$\leq 100 I_N$	3TC22100
	12,5	10,4	32,9	27,34		15,0	12,5	35,9	30,1			85 x 280	$\leq 100 I_N$	3TC22125
	15,0	12,5	39,4	32,80		17,9	14,9	42,9	35,9			85 x 350	$\leq 100 I_N$	3TC22150

ANEXO 8

Placa del transformador trifásico



ANEXO 9

Características de operación de contactores LS

Referencia Code	Modelo Contactor Contactor type	Bloque de precarga Block of preload	Potencia reactiva máx./ Max. reactive power (kvar)			In (A)	Contactos auxiliares Auxiliary contacts
			220~240V	400~440V	550V~600V		
KITMC09	MC9	AC-9	5	9,7	14	14	1NO+1NC
KITMC12	MC12	AC-9	6,7	12,5	18	18	1NO+1NC
KITMC18	MC18	AC-9	8,5	16,7	24	24	1NO+1NC
KITMC22	MC22	AC-9	10	18	26	26	1NO+1NC
KITMC32	MC32	AC-9	15	25	36	36	2NO+2NC
KITMC40	MC40	AC-9	20	33,3	48	48	2NO+2NC
KITMC50	MC50	AC-50	22	40	58	58	2NO+2NC
KITMC65	MC65	AC-50	25	45,7	66	66	2NO+2NC
KITMC75	MC75	AC-50	29,7	54	78	78	2NO+2NC
KITMC85	MC85	AC-50	35	60	92	92	2NO+2NC
KITMC150	MC150	-	40	80	100	150	2NO+2NC

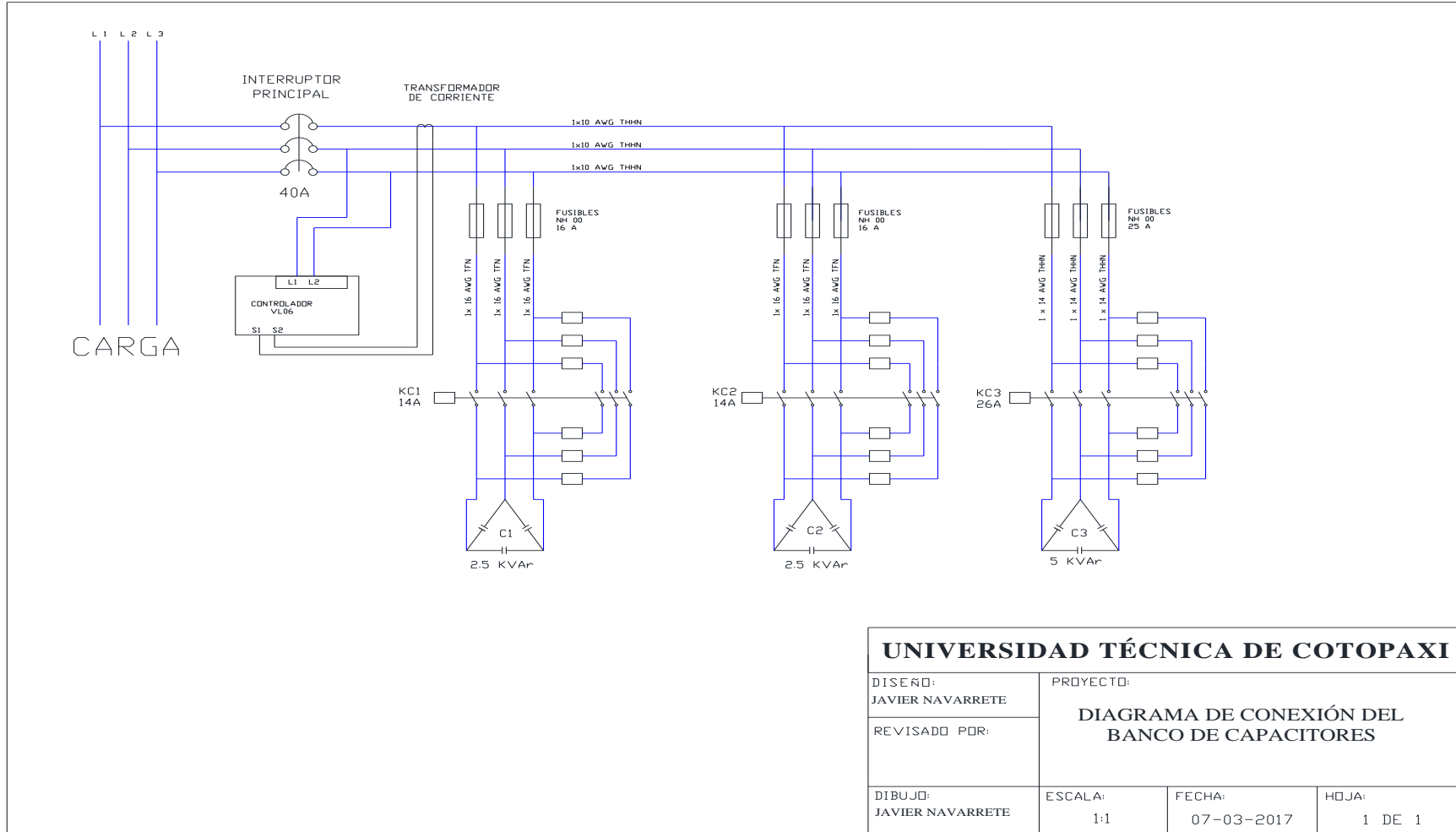
ANEXO 10

Tala de especificaciones de conductores

CALIBRE AWG ó MCM	SECCION mm ²	FORMACIÓN No. de hilos por diámetro mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm.	ESPESOR CHAQUETA mm.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	PESO TOTAL Kg/Km	CAPAC. DE CORRIENTE para 1 conductor al aire libre Amp.	CAPAC. DE CORRIENTE para 3 conductores en conduit Amp.	TIPO CABLE	ALTERNAT. DE EMBALAJE.
20	0,519	1 x 0,813	0,38	0,10	1,77	7,07	15	10	TFN	A,B
18	0,823	1 x 1,02	0,38	0,10	1,98	10,94	15	10	TFN	A,B
16	1,31	1 x 1,29	0,38	0,10	2,25	16,48	20	15	TFN	A,B
14	2,08	1 x 1,63	0,38	0,10	2,59	23,17	35	25	THHN	A,B
12	3,31	1 x 2,05	0,38	0,10	3,01	34,16	40	30	THHN	A,C
10	5,26	1 x 2,59	0,51	0,10	3,81	55,04	55	40	THHN	A,D
8	8,34	1 x 3,26	0,76	0,13	5,04	91,22	80	55	THHN	A,B
16	1,31	19 x 0,30	0,38	0,10	2,46	17,95	20	15	TFN	A,B
14	2,08	19 x 0,38	0,38	0,10	2,86	23,80	35	25	THHN	A,B
12	3,31	19 x 0,47	0,38	0,10	3,31	35,70	40	30	THHN	A,C
10	5,26	19 x 0,60	0,51	0,10	4,22	56,20	55	40	THHN	A,D
8	8,37	7 x 1,23	0,76	0,13	5,47	93,70	80	55	THHN	A,B,E
6	13,30	7 x 1,55	0,76	0,13	6,43	141,30	105	75	THHN	A,E
4	21,15	7 x 1,96	1,02	0,15	8,22	227,60	140	95	THHN	A,E
2	33,62	7 x 2,47	1,02	0,15	9,75	348,10	190	130	THHN	A,E
1	42,36	7 x 2,78	1,27	0,18	11,24	446,20	220	150	THHN	A,D,E
1/0	53,49	19 x 1,89	1,27	0,18	12,35	553,30	260	170	THHN	D,E,Z
2/0	67,43	19 x 2,12	1,27	0,18	13,50	688,70	300	195	THHN	D,E,Z
3/0	85,01	19 x 2,39	1,27	0,18	14,85	856,80	350	225	THHN	D,E,Z
4/0	107,20	19 x 2,68	1,27	0,18	16,30	1069,50	405	260	THHN	D,E,Z
250	127,00	37 x 2,09	1,52	0,20	18,07	1263,00	455	290	THHN	Z
300	152,00	37 x 2,29	1,52	0,20	19,47	1502,00	505	320	THHN	Z
350	177,00	37 x 2,47	1,52	0,20	20,73	1743,00	570	350	THHN	Z
400	203,00	37 x 2,64	1,52	0,20	21,92	1981,00	615	380	THHN	Z
500	253,00	37 x 2,95	1,52	0,20	24,09	2457,00	700	430	THHN	Z
600	304,00	37 x 3,23	1,78	0,23	26,63	2960,00	780	475	THHN	Z
650	329,00	37 x 3,37	1,78	0,23	27,61	3221,00	820	500	THHN	Z
700	355,00	37 x 3,49	1,78	0,23	28,45	3453,00	855	520	THHN	Z

ANEXO 11

Ubicación de las protecciones y conductores en el circuito de fuerza del banco de capacitores



ANEXO 12

Pago por concepto de penalización por bajo fp

MESES		kWh	kVARh	FP ACTUAL	PENALIZACIÓN BAJO FP USD
28-Dic-15 a 30-Ene-16	1	1020	1086	0,685	77,57
30-Ene-16 a 27-Feb-16	2	897	877	0,715	60,02
27-Feb-16 a 27-Mar-16	3	1102	1509	0,59	103,78
27-Mar-16 a 30-Abr-16	4	926	1344	0,567	105,01
30-Abr-16 a 29-May-16	5	920	1182	0,614	83,83
29-May-16 a 30-Jun-16	6	1110	1692	0,545	127,36
30-Jun-16 a 30-Jul-16	7	1165	2037	0,496	163,11
30-Jul-16 a 30-Ago-16	8	1289	1978	0,546	138,88
30-Ago-16 a 30-Set-16	9	1102	1314	0,643	80,01
30-Sep-16 a 29-Oct-16	10	1028	1308	0,618	87,23
29-Oct-16 a 30-Nov-16	11	775	1052	0,593	85,38
30-Nov-16 a 29-Dic-16	12	933	1298	0,584	97,74
TOTAL					1104,91

Costos

Los materiales fueron adquiridos de diferentes casas comerciales.

COSTO DE MATERIALES			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	V. UNIT USD	V. TOTAL USD
CONTROLADOR FP SCHNEIDER VL06 6 PASOS	1	365,19	365,19
CAPACITOR DE 2,5 kVAR	2	44,03	88,06
CAPACITOR DE 5 kVAR	1	52,48	52,48
CONTACTOR MC9 de 14amp	2	38,55	77,1
CONTACTOR MC22 de 26 Amp	1	43,68	43,68
INT-TERMOMAGNETICO C60N 3P40 Amp a 220v	1	20,26	20,26
FUSIBLE NH con base 00 de 16Amp	6	10,12	60,72
FUSIBLE NH con base 00 de 25 Amp	3	9,81	29,43
TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 300/5 A	1	10,58	10,58
GABINETE	1	109,78	109,78
MATERIALES VARIOS	1	35	35
TOTAL			892,28