

**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO  
PARA CORREGIR EL BAJO FACTOR DE POTENCIA Y COMPENSAR EL  
CONSUMO DE ENERGÍA REACTIVA EN LA GRANJA SANTA LUCIA  
JURISDICCIÓN DE LA EMPRESA AVÍCOLA EL MADROÑO S.A. UBICADA EN  
BARRANCABERMEJA  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**AUTOES**

DANIEL ANDRES ZABALA MENDEZ 1098654114  
VERONICA VIVIANA MURILLO OVALLE 1096225436

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS  
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO  
BARRANCABERMEJA

31-05-2017

**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

IMPLEMENTACION DE UN BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO  
PARA CORREGIR EL BAJO FACTOR DE POTENCIA Y COMPENSAR EL  
CONSUMO DE ENERGÍA REACTIVA EN LA GRANJA SANTA LUCIA  
JURISDICCIÓN DE LA EMPRESA AVICOLA EL MADROÑO S.A. UBICADA EN  
BARRANCABERMEJA  
PROYECTO DE INVESTIGACION

**AUTORES**

DANIEL ANDRES ZABALA MENDEZ 1098654114  
VERONICA VIVIANA MURILLO OVALLE 1096225436

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
TECNOLOGO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO

**DIRECTOR**  
ABAD LORDUY

**Adscrito a**  
DIANOIA

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS  
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO  
BARRANCABERMEJA  
31-05-2017

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del Jurado

## DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado en primer lugar a Dios que es mi fortaleza y me dio la sabiduría para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto, a mi familia que han sido mi apoyo siempre, en especial a mi madre Carmen Ovalle Calle que es mi motor y el motivo por el cual lucho cada día con mas perseverancia para lograr mis metas, también a mis compañeros de estudio que fueron un factor muy importante en todo mi proceso de aprendizaje y lograr esta meta.

*Verónica Viviana Murillo Ovalle*

Este trabajo de grado va dedicado por su inmensurable misericordia a Dios quien me ha permitido tan maravillosa oportunidad de llegar hasta este punto en mi proceso formativo, a mi madre Mary Luz Méndez quien con sus consejos me da fuerza cada día para no decaer, a mi esposa Nancy Julieth Suarez Sarmiento por su paciencia debido a mi ausencia, a mi hijo Camilo Andrés Zabala Suarez que me acompaña a clases aun siendo un bebe y por ultimo pero no menos importante a Daniel García Archila amigo que fue pilar fundamental para alcanzar esta meta.

*Daniel Andrés Zabala Méndez*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por la sabiduría otorgada para cumplir con cada uno de los requisitos para obtener los conocimientos que nos permitieron realizar este proyecto, a los docentes de las UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER y sus colaboradores por transmitir a nosotros sus conocimientos como una virtud en pro de nuestro bienestar, especialmente a la Dra. Martha Arismendi quien con su trabajo nos permitió descubrir nuestras habilidades investigativas, agradecidos con la empresa. AVICOLA EL MADROÑO en cabeza del doctor Oscar Rodríguez quien nos abrió las puertas de su granja para realizar nuestra investigación y en pro de mejorar sus instalaciones eléctricas para de esta manera contribuir al aprovechamiento de la energía, cuidado del medio ambiente y la aplicación de los conocimientos adquiridos al beneficio de la sociedad.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	18
1.3. OBJETIVOS .....	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	21
<b>2. MARCOS REFERENCIALES .....</b>	<b>23</b>
2.1. MARCO HISTORICO .....	23
2.2. MARCO TEORICO .....	28
2.2.1. LEY DE OHM.....	28
2.2.2. TRIÁNGULO DE POTENCIAS. ....	28
2.2.3. ENERGÍA ALMACENADA.....	30
2.2.4. CALCULO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES CON MEDICIÓN DE ENERGÍA REACTIVA. ....	31
2.2.5. LEY DE LENZ. ....	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	32
2.3.1. TIPOS DE CARGAS. ....	32
2.3.2. CARGAS RESISTIVAS. ....	33
2.3.3. CARGAS INDUCTIVAS.....	34
2.3.4. CARGAS CAPACITIVAS. ....	35
2.3.5. CARGAS COMBINADAS.....	36
2.3.6. CORRIENTE DE IN-RUSH .....	37
2.3.7. TIPOS DE POTENCIA. ....	37
2.3.8. CAUSAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA. ....	40
2.3.9. CONSECUENCIAS DEL BAJO FACTOR DE POTENCIA. ....	41
2.3.10. CAPACITOR.....	44
2.3.11. PRINCIPALES PARTES DE UN CAPACITOR.....	45
2.3.12. TIPOS DE CONEXIONES DE LOS BANCOS DE CAPACITORES. ....	46
2.4. MARCO LEGAL .....	49
2.4.1. RESOLUCIÓN NO. 9 0708 DE AGOSTO DE 2013.....	49

2.4.2.	NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 2050 .....	50
2.4.3.	CREG GESTIÓN DE REACTIVOS, DICIEMBRE 2010 .....	55
<b>2.5.</b>	<b>MARCO AMBIENTAL .....</b>	<b>57</b>
2.5.1.	NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5720 TIPO 1 .....	57
2.5.2.	CUMPLIMIENTO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL .....	57
2.5.3.	REQUISITOS GENERALES .....	58
<b>3.</b>	<b><u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</u></b>	<b><u>59</u></b>
<b>3.1.</b>	<b>ANÁLISIS TÉCNICO .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.</b>	<b>DISEÑO DEL BANCO DE CONDENSADORES TRIFÁSICO.....</b>	<b>63</b>
3.2.1.	CÁLCULO DE POTENCIA EN KVAR PARA LA CORRECCIÓN DEL FP.....	63
3.2.2.	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO .....	68
3.2.3.	CONTACTORES.....	70
3.2.4.	CONDENSADORES .....	72
3.2.5.	CONDUCTORES .....	73
3.2.6.	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR DE FACTOR DE POTENCIA .....	73
3.2.7.	INTERCONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS QUE CONFORMAN EL BANCO DE CONDENSADORES.....	74
<b>4.</b>	<b><u>RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>76</u></b>
<b>4.1.</b>	<b>REALIZACIÓN DE MEDICIONES CON ANALIZADOR DE REDES .....</b>	<b>76</b>
<b>4.2.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>82</b>
4.2.1.	ANTECEDENTES.....	82
4.2.2.	RELACIÓN COSTO BENEFICIO DEL PROYECTO .....	83
<b>4.3.</b>	<b>PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE OPERACIÓN. ....</b>	<b>86</b>
<b>5.</b>	<b><u>CONCLUSIONES.....</u></b>	<b><u>88</u></b>
<b>6.</b>	<b><u>RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>90</u></b>
<b>7.</b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>91</u></b>
<b>8.</b>	<b><u>ANEXOS .....</u></b>	<b><u>92</u></b>

### LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Triángulo de potencias. ....	29
Figura 2: Carga lineal y carga no lineal. ....	32
Figura 3: Diagrama sinusoidal de corriente y tensión en cargas resistivas. ....	34
Figura 4: Diagrama sinusoidal de corriente y tensión en cargas inductivas. ....	35
Figura 5: Diagrama sinusoidal de corriente y tensión en cargas capacitivas. ....	36
Figura 6: Disyuntor principal y barraje distribución de circuitos analizador de redes conectado.....	59
Figura 7. levantamiento de información en campo.....	60
Figura 8: condensadores conectados en paralelo.....	66
Figura 9: Ejemplo esquema de conexión circuito de potencia y mando banco de condensadores.....	67
Figura 10. Curva requerimientos máximos y mínimos $Q_c$ .....	68
Figura 11: Controlador de factor de potencia instalado.....	69
Figura 12. Interruptor principal, barraje y protección individual de circuitos.....	70
Figura 13. Contactores y condensadores instalados.....	71
Figura 14: Descripción física del contactor para maniobra de condensadores. ....	72
Figura 15: Conexión de elementos.....	75
Figura 16: Banco de condensadores terminado y operando.....	87
Figura 17: pruebas de corriente baterías de condensadores banco operando.....	87

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Factor de potencia aproximado para cargas comunes.....	42
Tabla 2: Relación de factor de potencia inicial y factor de potencia deseado. ....	42
Tabla 3: levantamiento de campo carga granja santa lucia .....	61
Tabla 4: valores calculados en Qc para la corrección del factor de potencia .....	63
Tabla 5: Valores máximos, mediana y mínimo de las variables medidas y calculadas .....	76
Tabla 6: valores calculados en Qc para la corrección del factor de potencia .....	79
Tabla 7: Proyección gastos posibles por penalización .....	83
Tabla 8: cotización materiales y equipos.....	85
Tabla 9: cotización global.....	85

## LISTADO DE GRAFICOS

Grafico 1: curvas comparativas potencia (P vs Q) .....	77
Grafico 2: curva FP sin corrección .....	78
Grafico 3: curvas características FP .....	78
Grafico 4. Curva requerimientos máximos y mínimos Qc .....	81
Grafico 5: Curvas de potencia .....	81

## RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de este desarrollo tecnológico es el de corregir el bajo factor de potencia mediante un banco de condensadores automático, en la granja SANTA LUCIA jurisdicción de la empresa AVICOLA EL MADROÑO ubicada en la ciudad de Barrancabermeja.

Tal como se encuentra el sistema eléctrico actualmente presenta un bajo factor de potencia debido a la presencia de cargas inductivas como motores, compresores y transformadores; al presentarse este problema y estando por debajo de los niveles aceptados, traerá consecuencias como la sobrecarga de los transformadores y líneas de distribución, aumento de la caída de tensión, incremento en la facturación, sanciones por parte de la empresa distribuidora de energía eléctrica. Por este motivo, se ve la necesidad de implementar un banco de condensadores que permitirá corregir el bajo factor de potencia y posicionarlo en el valor más adecuado para el trabajo óptimo de los equipos eléctricos de dicha empresa.

Como resultado de la implementación de un banco de condensadores automático, se espera obtener múltiples beneficios tales como disminución de las pérdidas en los conductores, reducción de las caídas de tensión, incremento de la vida útil de las instalaciones y equipos eléctricos. Además de beneficios económicos significativos como la reducción de costos por facturación eléctrica, eliminación del cargo por bajo factor de potencia.

Con la implementación de este proyecto se verá reflejado el factor económico de la empresa, por medio de los pagos por facturación y en el coste por compra y mantenimientos de equipos eléctricos. De esta manera podrá ser desarrollado en las demás granjas, y así, obtener mayores beneficios.

Una vez finalizado este desarrollo tecnológico en la granja SANTA LUCIA, dejando el sistema trabajando en las mejores condiciones, se entregará el informe detallado de la instalación, los planos del circuito para el banco de condensadores, los resultados de las pruebas realizadas y el manual de operación y mantenimiento del banco.

**PALABRAS CLAVE.** Factor de potencia, condensadores, banco de corrección, controlador automático, potencia reactiva.

## INTRODUCCIÓN

Con la tendencia al cambio y mejora de los procesos que dominan el mercado productivo mundial, las empresas que suministran servicios básicos como la energía eléctrica ha establecido normas y parámetros que permitan el uso eficiente de la energía gracias a estos hoy es fácil para un cliente tanto recibir beneficios como de también recibir sanciones económicas, por esta razón los grandes consumidores de energía eléctrica como la empresa avícola el MADROÑO SA. Cada día invierte en tecnología que le permita no solo una producción eficiente y amigable con su economía, si no también que contribuya al aprovechamiento de los recursos y la conservación del medio ambiente es por esto que ha permitido que se realice dentro de una de sus sedes un análisis eléctrico, que permitiese determinar cómo alcanzar mejoras tanto económicas como sociales, de conservación y aprovechamiento de la energía.

Fruto del análisis técnico para el diseño del banco de condensadores que se requiere en la granja santa lucia, llevado a cabo con el analizador de redes DMK20 LOVATO. Equipo digital que permite obtener valores de, potencia aparente (S), potencia reactiva (Q), potencia activa (P) y factor de potencia (FP) entre otras variables importantes para el cálculo de los valores necesarios de compensación, además se ha creado una curva del comportamiento de los parámetros eléctricos que se observa en el anexo B, esta se ha creado mediante software Microsoft Excel registrando los valores obtenidos manualmente por los autores, se realiza seguimiento cada 5 minutos del analizador de redes el día 15 de mayo de 2017 durante un periodo de tiempo de 12 horas entre las 6:00 AM y las 18:00, de esta base de datos se selecciona una medida promedio para cada 30 minutos ya que las medidas son muy similares durante dichos periodos de

tiempo, obteniendo así los datos requeridos para los respectivos cálculos de capacidad de carga de los diferentes elementos que conformaran este equipo electromecánico, que permite alcanzar los objetivos propuestos para el desarrollo de este proyecto de investigación.

En base a dichos resultados se obtiene las bases técnicas para realizar el diseño y posterior construcción, del equipo ideal para el mejoramiento en la eficiencia de los equipos eléctricos conectados a los circuitos de la granja santa lucia y así evitar sanciones por incumplir la normatividad establecida por los proveedores del servicio que en este caso sería de un alto costo teniendo en cuenta el tamaño de las instalaciones y la cantidad de equipos conectados al sistema, además de las perdidas en producción y gastos adicionales de mantenimiento por mal funcionamiento de los equipos.

Esta investigación es vital para los estudiantes del área electromecánica ya que les permite ampliar sus conocimientos del tema y además dar a conocer las capacidades dentro del sector industrial privado, siendo esta una opción para desempeñar como fuente de trabajo y ampliación de los conocimientos básicos adquiridos durante el proceso formativo.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La electricidad hoy por hoy se ha convertido en una fuente de energía muy importante en especial para el sector industrial en la búsqueda de la optimización de los procesos y el alcance de una mayor eficiencia en la producción. Pero, en este deseo de crecimiento en la autonomía de los procesos, es decir, trabajos realizados por las máquinas, surgen variables que de no ser controladas generan un problema mucho más relevante al que se busca solucionar con la implementación de las líneas de producción autónomas. Problemas como el mal uso de los recursos, afectaciones al medio ambiente, interrupciones inesperadas del proceso de producción y como consecuencia de estas, pérdidas económicas significativas.

En el entorno empresarial hay equipos que trabajan en forma de calor, movimiento, sonido, luz, y rotación; que consumen energía eléctrica equivalente a la entregada directamente por la empresa distribuidora de este servicio. Esta energía consumida se le denomina activa. (Zamora & Calderon, 2013).

La generación de energía eléctrica en la actualidad ha sido afectada por diferentes aspectos, entre ellos el cambio climático, que afecta las hidroeléctricas, el creciente problema de contaminación por parte de las termoeléctricas. Y por su parte las energías más amables con el medio ambiente por su alto coste de implementación aun no toman mucha fuerza especialmente en países del tercer mundo como es el caso de Colombia, afectada en el inicio del presente año por un fenómeno del niño fuera de serie, fallas en la represa de Guatapé ubicada en el departamento de Antioquia y los efectos colaterales de esta, aguas abajo

afectando un parque de producción hidroeléctrica completa que puso en jaque al país obligando a la población a seguir una campaña de ahorro dirigida por el gobierno, aunque al momento se ha ido superando este desbalance el futuro es incierto y es por esto que el uso eficiente de la energía generada debe ser prioridad a la hora de diseñar la optimización de un proceso. (Restrepo, 2016)

**“Un mal servicio de energía eléctrica condiciona el desarrollo, desestimula la inversión económica, limita la capacidad productiva y afecta servicios esenciales”** (Restrepo, 2016, pág. 1).

Este es el caso de la utilización de los motores eléctricos en la optimización de procesos lineales o de secuencia continua. Como lo son el entregar energía en forma de trabajo a una línea sin fin, un sistema de ventilación o una bomba, los cuales facilitan procesos como el transporte de cargas mejoramiento de ambientes controlados y otros, dentro de la línea de producción donde se vaya a implementar. Siendo estos equipos los que por su tamaño y fácil adaptación a los ambientes de trabajo son usados comúnmente sin tener en cuenta que por su constitución o la forma como se construyen, hacen un uso complejo de la energía entregada por el sistema proveedor, es debido a esto que se requiere de equipos adicionales para que su trabajo sea verdaderamente eficiente.

Teniendo en cuenta los diferentes aspectos que rodean el uso eficiente de la energía y la importancia de un sistema autónomo funcionando en óptimas condiciones que permitirá un mayor desarrollo para la compañía, surge la necesidad de implementar un controlador de factor de potencia en la granja santa lucía. Siendo este la solución más viable al problema del elevado consumo de potencia reactiva y fallas en los motores eléctricos del sistema, causados por el desbalance de las potencias activa y reactiva, se puede obtener un ahorro

económico significativo y mejoramiento en el desempeño de los equipos al mantener un flujo de tensión basado en la confiabilidad y disponibilidad.

Actualmente en la granja SANTA LUCIA, se hace presente esta problemática, donde se evidencia sobrecarga en los transformadores, pérdidas en los conductores eléctricos, frecuentes caídas de tensión, daños en los equipos. Esto genera pérdidas económicas significativas, ya que el factor electricidad es de vital importancia en la operación y producción de la empresa. Por lo anterior, es necesario recurrir a un sistema de bancos de condensadores que permita mejorar el valor del factor de potencia, y de esta manera optimizar el sistema eléctrico.

En cuanto al aspecto social y ambiental, aunque de entrada el impacto no será muy grande se busca aportar un grano de arena al buen uso e ideal provecho del recurso energético generado.

¿Cómo Seleccionar el Controlador ideal para corregir el factor de potencia como opción para disminuir el consumo de potencia reactiva en la granja santa lucia de la empresa Avícola EL MADROÑO SA?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido al elevado costo que representa para la compañía avícola EL MADROÑO S.A en el consumo de energía eléctrica asociada a la potencia reactiva, que se genera debido a la ausencia de un sistema que compense la cantidad de pérdida generada por el gran número de motores de inducción conectados a su sistema para el sostenimiento de sus instalaciones, monto reflejado en las últimas facturas mensuales.

Es de suma importancia corregir las variables que han generado este tipo de problemática, razón por la cual se propone en este desarrollo tecnológico la implementación de un banco de condensadores automático, porque permitirá corregir el bajo factor de potencia que genera un mal funcionamiento en los equipos; de esta manera contribuir en el deseo de la compañía de ser líderes en alta tecnología. Con infraestructuras adecuadas a los procesos industriales que desarrollan y que protegen al medio ambiente.

Para la empresa Avícola EL MADROÑO, cuidar el medio ambiente hace parte de sus políticas, con la implementación de este banco de condensadores automático, contribuye al menos consumo y mayor aprovechamiento de la energía eléctrica, también en el cuidado de su personal operativo, ya que mejora las condiciones de trabajo de sus equipos.

Este proyecto se implementará para optimizar los procesos de producción de la empresa, ya que, teniendo el factor de potencia en los niveles adecuados, los equipos tendrán mejor desempeño en su operación y, por ende, evitaremos daños en ellos. Además, este proyecto podremos alimentar los conceptos en el área de

máquinas eléctricas y su respectivo laboratorio, la importancia de implementar estos sistemas en las industrias, el ahorro y el buen uso de la energía eléctrica.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar un banco de condensadores automático para corregir bajo factor de potencia y compensar el consumo de energía reactiva en la granja santa lucia jurisdicción de la empresa Avícola EL MADROÑO SA. Ubicada en Barrancabermeja.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar mediciones con analizador de redes para determinar el consumo de potencia aparente, activa, reactiva y el factor de potencia actual de los circuitos.
- Seleccionar el controlador de factor de potencia de acuerdo a los requerimientos de compensación.
- interconectar los elementos que conformaran el banco de condensadores automático.
- verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos que conformaran el banco de condensadores mediante pruebas de lazo y mediciones de corriente de trabajo.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Uno de los problemas habituales en ingeniería eléctrica resulta de la necesidad de introducir, bajo determinadas circunstancias, en la red elementos que controlen la potencia reactiva.

Una de las aplicaciones típicas es la de la corrección del factor de potencia, en la que se pone en paralelo con la carga un elemento que genere o consuma parte de la reactiva consumida o generada por la carga. De esta forma, el factor de potencia del conjunto formado por la carga más el elemento de compensación es mayor que el de la carga sola (Carrillo & Cidrás, 2003).

En el año 2003, se realiza un estudio basado en la electrónica de potencia, donde aparece el concepto de Compensador estático de Potencia Reactiva o *Static var Compensator* (SVC), cuyo funcionamiento se basa en la utilización de tiristores conjuntamente con condensadores y bobinas, en el que se describen los principios de funcionamiento y sus configuraciones más habituales y posibles aplicaciones (Carrillo & Cidrás, 2003).

En el año 2012. Se presenta en un sistema eléctrico un bajo factor de potencia debido a la presencia de cargas inductivas como transformadores, motores y lámparas; al presentarse un factor de potencia por debajo de los niveles aceptados se tiene como consecuencia pérdidas en los conductores, aumento de la caída de tensión, incremento de la potencia aparente, sobre cargas de los transformadores. Donde se construye un banco de condensadores en la empresa Banchisfood S.A., que permite obtener la toma de datos y medidas en los parámetros de las cargas resistivas, analizando la confiabilidad de los condensadores para su regulación en las líneas de baja y media tensión (Llumiquigua, 2012).

En el año 2012, se implementó un convertidor Boost en modo factor de corrección de potencia, donde el convertidor es estudiado como un sistema donde cada una de sus topologías son definidas por medio de ecuaciones diferenciales, esta técnica de control aplicada, busca que el promedio de una superficie de conmutación sea uniforme en cada periodo eléctrico (Muñoz, 2012).

En el año 2012, se implementa un banco de condensadores automático para la corrección del factor de potencia para una empresa de reciclaje de plástico en Ecuador, debido a la alta carga instalada lo cual lleva a la necesidad de un sistema que permita optimizar el uso de la energía generando beneficio económico, mediante un análisis y la implementación de los sistemas automáticos de compensación se obtiene como resultado un equipo autónomo capaz de cumplir con los objetivos planteados . (Moreira, 2016)

En el año 2012, se lleva a cabo un estudio sobre la implementación del sistema FACTS, los dispositivos FACTS ofrecen la capacidad de compensar la potencia reactiva, regulación de voltaje, control de flujo de potencia, amortiguación de oscilaciones y control de los parámetros de transmisión. Los FACTS no solo son un controlador de alta potencia, sino un conjunto de controladores que pueden aplicarse individualmente o colectivamente para controlar estos parámetros, Sin embargo, la principal desventaja de los dispositivos FACTS, es el elevado costo comparado con la compensación reactiva tradicional. (Londoño, 2014)

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. MARCO HISTORICO

El servicio de energía eléctrica en Colombia se empieza a prestar a finales del siglo XIX por medio de empresas privadas y este modelo se sostuvo hasta mediados del siglo XX, cuando por presión de los movimientos políticos de la época las empresas pasan a manos del estado, esto no funciono como se esperaba ya que en los años 80 el sector entro en crisis por esta razón se dio el conocido racionamiento energético que sumió al país en un estancamiento para el desarrollo entre los años 1991 y 1992, esta situación que afecto a toda Latinoamérica permitió que el estado iniciara una reestructuración en cuanto al manejo de la prestación del servicio de energía por medio de las leyes 142 y 143 de 1994 en conjunto con la CREG, se establece desarrollar un marco regulatorio que permita entregar un servicio de alta confiabilidad y disponibilidad que compromete al usuario hacer uso eficiente de los recursos energéticos suministrados. (Ahumada, 2010)

En ejercicio de sus funciones la CREG ha expedido varias disposiciones para regular la producción y el consumo de energía reactiva en el sistema:

La Resolución 009 de 1996, adoptó decisiones en materia de tarifas de energía eléctrica, estableciendo en su artículo 3 que cuando la energía reactiva registrada fuese mayor o igual al 50% de la energía activa consumida durante el mismo periodo de facturación, las empresas liquidarían los excedentes de energía reactiva con la tarifa respectiva de energía activa. (Hernandez, 2010, pág. 5)

El artículo 5 de la Resolución 099 de 1997 reglamentó que, en caso de que el consumo de energía reactiva en el Sistema Interconectado Nacional - SIN - fuera

mayor al 50% de la energía activa (kWh) entregada a un usuario de los Sistemas de Transmisión Regional y/o Distribución Local - STR y/o SDL -, el exceso sobre este límite se consideraría como energía activa para efectos de liquidar el cargo por uso del respectivo sistema. (Hernandez, 2010, pág. 5)

El artículo 25 de la Resolución 108 de 1997 determinó el control al factor de potencia en el servicio de energía eléctrica a los suscriptores o usuarios no residenciales, y de los usuarios residenciales conectados a un voltaje superior al Nivel de Tensión 1, el cual debería ser igual o superior a 0.9 inductivo. En caso de que la energía reactiva fuera mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) consumida por el usuario, el exceso sobre este límite se consideraría como consumo de energía activa para efectos de determinar el consumo facturable. (Hernandez, 2010, pág. 5)

La Resolución 082 de 2002, artículo 11, determinó que, en caso de que la energía reactiva consumida por un usuario sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) que le es entregada en cada periodo horario, el exceso sobre este límite, en cada periodo, se considerará como energía activa para efectos de liquidar mensualmente el cargo por uso del respectivo sistema; el recaudo de los costos del transporte del exceso de energía reactiva será efectuado por el comercializador y entregado al Operador de Red - OR - que atiende al usuario respectivo y el OR podrá conectar equipos de medida de reactiva a usuarios conectados al Nivel de Tensión 1. (Hernandez, 2010, pág. 5)

La Resolución 047 de 2004 especificó las condiciones de cobro de reactivos a usuarios finales, fijando que el consumo corresponde realmente al transporte, por lo que por otros conceptos de la fórmula tarifaria no se pueden cobrar reactivos a usuarios conectados al STR o SDL. (Hernandez, 2010, pág. 5)

La Resolución 097 de 2008 actualizó la Resolución 082 de 2002, aprobando los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por 5 CREG gestión de reactivos, diciembre 2010 uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local y fijando normas sobre el consumo, control, medición y transporte de la energía reactiva, a fin de establecer cobros sobre el mismo. Así, desde la expedición de la Resolución CREG 009 de 1996 se han mantenido los mismos límites respecto a cobros relacionados con la energía reactiva. (Hernandez, 2010, pág. 5)

Desde 1996 la penalización del usuario se da cuando presenta un factor de potencia inferior de 0.9 ó, lo que es similar, cuando su energía reactiva consumida supere la mitad de su energía activa consumida. (Hernandez, 2010, pág. 5)

En la relación que existe entre la energía reactiva y el soporte de tensión, la Comisión ha fijado las siguiente Resoluciones:

El Código de Redes (Resolución CREG 025 de 1995) estableció los criterios para la planeación y la operación del sistema, dentro de los cuales están el mantenimiento de los niveles de tensión dentro de los rangos permitidos, la responsabilidad del CND por el cumplimiento de estas consignas y la obligación de los Generadores de participar en el control de tensión, mediante la absorción y suministro de potencia reactiva, de acuerdo con las instrucciones impartidas por el CND. (Hernandez, 2010, pág. 6)

El Código de Distribución (Resolución CREG 070 de 1998) determinó, como estándar de calidad para el suministro de potencia por parte del OR, el cumplimiento de las tensiones límites establecidas en la norma NTC 1340. (Hernandez, 2010, pág. 6)

La Resolución CREG 080 de 1999 incluye las obligaciones en cuanto a planeación, supervisión, control y coordinación del sistema interconectado colombiano, a cargo del CND y de los agentes, dentro de las cuales están las funciones relacionadas con el control de tensiones a nivel de STN y STR. Las Resoluciones CREG 062 de 2000, 063 de 2000 y 014 de 2004 establecieron las metodologías para la identificación y clasificación de restricciones y los criterios para asignación de los costos por generaciones de seguridad, dentro de las cuales se incluyen las restricciones ocasionadas por requerimientos de soporte de tensión a nivel de STN y STR. (Hernandez, 2010, pág. 6)

Charles Proteus físico matemático alemán, cuyo enfoque nació con la corriente alterna que facilitó la utilización de este tipo de corriente de forma industrial, comenzó la ley crítica de histéresis, un principio fundamental de magnetismo alterno que permitió a los ingenieros determinar la pérdida de poder bajo condiciones específicas. Las pruebas en su laboratorio crearon una tabla compresiva de constantes para todos los materiales magnéticos conocidos hasta entonces (Coller, 2009).

James Clerk Maxwell (1855), desempeñan en el electromagnetismo clásico un papel logo al de las leyes de newton en la mecánica clásica. En principio, pueden resolverse todos los problemas de la electricidad y el magnetismo clásicos mediante de las ecuaciones de maxwell combinando las ondas electromagnéticas que son cargadas eléctricamente (Castellan, 1987).

Los experimentos de Faraday, Henry y otros, demostraron que el flujo magnético a través de un área rodeada por un circuito varia por cualquier medio, se induce una fuerza electro magnética que es igual en módulo a la variación por unidad de tiempo del flujo que atraviesa el circuito. El flujo magnético que a través de una superficie encerrada por un circuito puede variarse de muchas maneras distintas

al igual que el factor de potencia que analiza la capacidad de energía consumida por el circuito y la puede variar según especificaciones técnicas. La corriente que produce este campo magnético puede aumentarse o hacerse disminuir, pueden moverse con unos imanes permanentes alejándolos o acercándolos de la superficie, se puede hacer girar el propio circuito en un campo magnético y cambiar el factor de potencia o variar la orientación del circuito (Tipler, 2003).

## 2.2. MARCO TEORICO

### 2.2.1. Ley de Ohm

En la ley de ohm la corriente está en fase con la tensión y es función inmediata de la tensión. Por lo tanto, si la tensión y la corriente están en fase, esto para circuitos puramente resistivos. (Zamora & Calderon, 2013).

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

I = Corriente eléctrica (A).

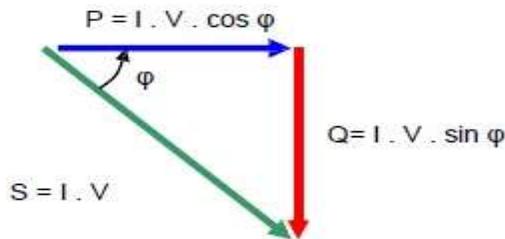
V = Tensión eléctrica (V).

R = Resistencia eléctrica ( $\Omega$ ).

### 2.2.2. Triángulo de potencias.

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de comprender que el factor de potencia o  $\cos \phi$  y su estrecha relación con los demás tipos de potencias presentes en un circuito eléctrico.

Figura 1: Triángulo de potencias.



Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

En la figura 1, se muestra la interacción de una potencia respecto a las otras dos, ya que al modificar una potencia repercutiría en la modificación de las otras dos potencias. El factor de potencia o  $\cos \varphi$ , representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa, y la aparente, o sea, la relación entre la potencia real de trabajo y la total consumida por la carga.

Esta relación se puede representar de forma matemática, por medio de la siguiente ecuación:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \Rightarrow S = P + jQ$$

Donde:

$\cos \varphi$  = Coseno del ángulo.

P = Potencia activa (W).

$S$  = Potencia aparente (VA).

$jQ$  = Potencia reactiva inductiva (Var).

Si el número obtenido en esta operación es un decimal menor que 1, (por ejemplo 0.91), este número representa el factor de potencia correspondiente al desfase en grados entre la intensidad de corriente y la tensión del circuito (Zamora & Calderon, 2013).

Lo ideal es que el resultado fuera 1, así habría una mejor optimización y aprovechamiento del consumo energético, es decir, habría menos pérdida de energía y una mejor eficiencia de trabajo en los generadores.

### **2.2.3. Energía almacenada.**

Cuando los electrodos del capacitor se someten a una tensión en sus terminales, una corriente de carga circula en su interior, lo que hace que una cantidad de energía se acumule en su campo eléctrico, esta energía almacenada se puede obtener así:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_m^2$$

Donde:

$E$  = Energía almacenada (J).

$C$  = Capacidad del capacitor (F).

$V_m$  = Tensión aplicada en valor pico (V). (Zamora & Calderon, 2013).

### **2.2.4. Cálculo en instalaciones industriales con medición de energía reactiva.**

Teniendo conocimiento de la energía activa y la energía reactiva en uno o varios periodos de medición, se pueden calcular el consumo de potencia y el factor de potencia promedio de la instalación, por ejemplo, los estados mensuales de los medidores y las horas mensuales de utilización. (Zamora & Calderon, 2013)

$$P = \frac{\text{kWh}}{\text{kVAh}} = \text{kW}$$

$$Q = \frac{\text{kVAh}}{h} = \text{kVA}$$

### **2.2.5. Ley de Lenz.**

Toda variación que se produce en el campo magnético tiende a crear un efecto en sentido opuesto que compense y anule la causa que lo produjo. Esta ley aplicada nos indica que, la corriente inducida creará un campo magnético para que se oponga al movimiento de la misma, lo que obligará a aplicar una determinada energía para mantener el movimiento, el cual dependerá lógicamente de la intensidad de corriente generada y del valor de la resistencia de carga (Llumiquigua, 2012).

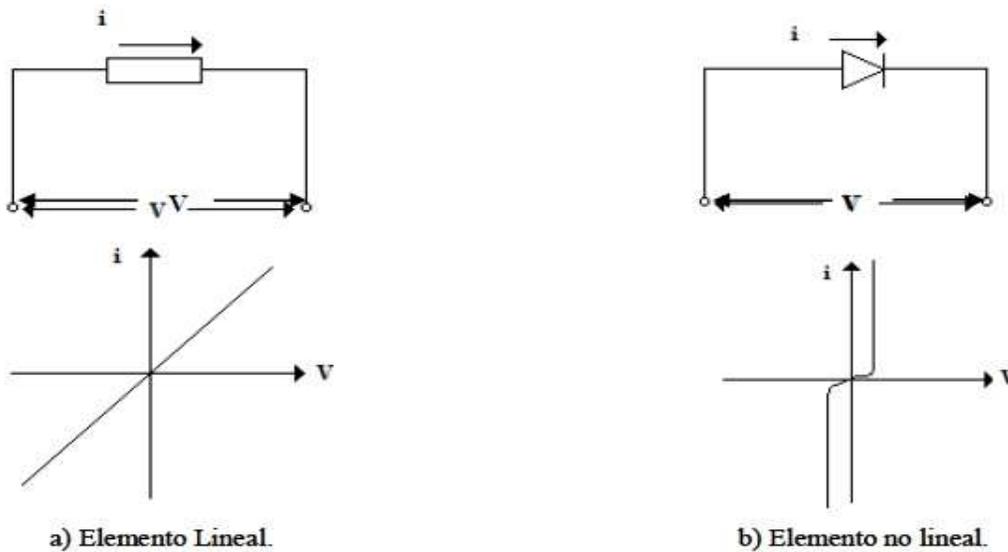
## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. Tipos de Cargas.

Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, existen dos tipos de cargas en los sistemas eléctricos. Cargas lineales y cargas no lineales (Zamora & Calderon, 2013).

En una carga lineal la tensión aplicada a sus extremos y la corriente que pasa por ella, están relacionadas; por el contrario en las cargas no lineales la relación entre la tensión y la corriente no es constante (Zamora & Calderon, 2013).

Figura 2: Carga lineal y carga no lineal.



Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

Algunos de los equipos de típicas cargas no lineales son:

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

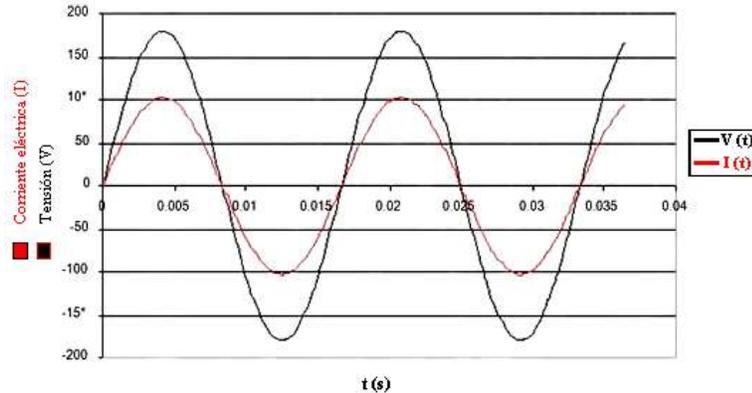
### **2.3.2. Cargas resistivas.**

Estas cargas son referidas como si tuviesen una resistencia eléctrica designada con la letra R y expresada en Ohm ( $\Omega$ ). Estas pueden encontrarse en lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, donde la energía que necesitan para funcionar se transforma en energía lumínica o calorífica, donde el factor de potencia toma el valor de 1 (Zamora & Calderon, 2013).

Las cargas resistivas que se encuentran comúnmente en los sistemas eléctricos ya sea residencia, industrial o comercias son:

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

Figura 3: Diagrama sinusoidal de corriente y tensión en cargas resistivas.



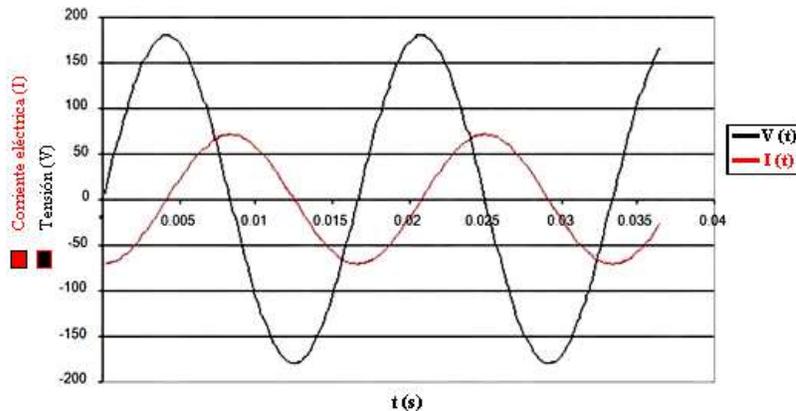
Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

En la figura 3, se pueden ver las ondas sinusoidales de corriente y tensión eléctrica en función del tiempo y el desfase que existe entre ellas, la cual es igual a cero, es decir, están en fase.

### 2.3.3. Cargas inductivas.

Estas cargas se encuentran en cualquier lugar donde haya bobinados involucrados, por ejemplo en los equipos electromecánicos como motores de inducción, transformadores, máquinas de soldadura, alumbrado fluorescente, entre otros; además de consumir potencia activa, necesitan potencia reactiva para su funcionamiento, por lo que su factor de potencia será menor a 1 (Zamora & Calderon, 2013).

Figura 4: Diagrama sinusoidal de corriente y tensión en cargas inductivas.



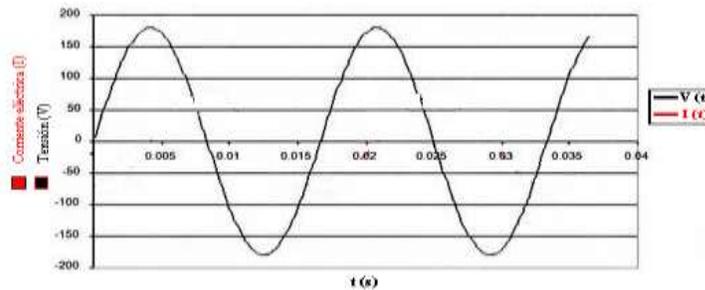
Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

En la figura 4, se evidencia las ondas sinusoidales de corriente y tensión eléctrica en función del tiempo y desfase de  $90^\circ$  de la corriente con respecto a la tensión.

### 2.3.4. Cargas capacitivas.

Las cargas capacitivas se presentan en los capacitores y se caracterizan por que la corriente se encuentra adelantada respecto de la tensión  $90^\circ$ . Estas cargas se encuentran en los bancos de capacitores y motores síncronos. En un circuito capacitivo no existe consumo de energía aun si hay corriente circulando. Estas cargas generan potencia reactiva (Zamora & Calderon, 2013).

Figura 5: Diagrama sinusoidal de corriente y tensión en cargas capacitivas.



Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

En la figura 5, se observa la onda sinusoidal de corriente y tensión eléctrica en función del tiempo, para este caso la corriente se adelanta  $90^\circ$  con respecto a la tensión.

### 2.3.5. Cargas combinadas.

Las cargas no están constituidas solamente por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, estas cargas frecuentemente coexisten en los circuitos eléctricos, para el caso de la industria, la carga predominante es la inductiva, de ahí que sea el factor por el que se realiza el trabajo. Estas cargas son alimentadas usualmente de la red principal de suministro eléctrico, sin embargo el suministro de potencia reactiva puede ser suministrado por equipos conectados a la red eléctrica, básicamente se usa para ello los bancos de condensadores (Zamora & Calderon, 2013).

### **2.3.6. Corriente de in-rush**

Este fenómeno se presenta al conectar un banco de condensadores, puesto que los condensadores están descargados y el sistema los ve como un cortocircuito por un periodo corto de tiempo.

La corriente de in-rush es el resultado de este pequeño cortocircuito y generalmente dura algunos milisegundos. La corriente puede llegar a 100 veces la corriente nominal, siendo una de las razones principales para la corta vida de un condensador (Grupo Weg automatización, 2016).

### **2.3.7. Tipos de potencia.**

#### **2.3.7.1 Potencia activa (P).**

Esta potencia representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo, es originada por la componente de la corriente que está en fase con la tensión (Zamora & Calderon, 2013).

Los diferentes equipos eléctricos que existen convierten la energía eléctrica en otras formas de energía como: lumínica, química, mecánica. Esta potencia es la consumida por los circuitos. Esta potencia se designa con la letra P, de acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \varphi = I \cdot Z \cdot I \cos \varphi = I^2 \cdot Z \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R$$

Donde:

P = Potencia activa.

$I$  = Corriente.

$Z$  = Impedancia ( $\Omega$ ).

$\cos \varphi$  = Coseno del ángulo.

Esta potencia es expresada en Vatios, debido a los elementos resistivos.

### 2.3.7.2 Potencia reactiva (Q).

Esta potencia realmente no es consumida y solo aparecerá cuando exista la presencia de bobinas o condensadores en los circuitos que generan campos magnéticos y eléctricos. Es originada por la corriente que está a  $90^\circ$  con respecto a la tensión, sea en adelanto o en atraso, esta no produce trabajo útil y es designada con la letra Q y su unidad es VAR (Zamora & Calderon, 2013).

$$Q = I \cdot V \cdot \sin \varphi = I \cdot Z \cdot I \sin \varphi = I^2 \cdot Z \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi$$

Donde:

Q = Potencia reactiva.

I = Corriente.

Z = Impedancia ( $\Omega$ ).

$\sin \varphi$  = Seno del ángulo.

### 2.3.7.3 potencia reactiva capacitiva (Qc)

Es aquella se debe producir por medio del elemento compensador ya sea un capacitor u motor asíncrono o cualesquiera otro de los métodos de compensación actuales, para su determinación se debe utilizar la siguiente ecuación.

Ecuación

$$Q_i = p \cdot \tan \varphi_i$$

$$Q_f = p \cdot \tan \varphi_f$$

$$Q_c = Q_i - Q_f$$

$$Q_c = P (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f)$$

Donde  $Q_i$ : potencia reactiva inductiva inicial

$\varphi_i$ : factor de potencia inicial

$\varphi_f$ : factor de potencia final

$Q_f$ : potencia reactiva inductiva final

$Q_c$ : potencia reactiva capacitiva

#### 2.3.7.4 Potencia aparente (S).

También llamada potencia compleja, de un circuito de corriente alterna, es la suma de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia no es realmente consumida, salvo cuando el factor potencia es la unidad ( $\cos \varphi = 1$ ), ya que la potencia activa es igual a la potencia aparente, esta potencia también indica que la red de alimentación de un circuito no solo satisface la energía consumida por los elementos resistivos, además se encuentra con la que se va a almacenar las bobinas y condensadores. Es designada con la letra S y su unidad es VA. (Zamora & Calderon, 2013).

$$S = I \cdot V = I \cdot Z \cdot I = I^2 \cdot Z$$

Donde:

$S$  = Potencia aparente.

$I$  = Corriente.

$Z$  = Impedancia ( $\Omega$ ).

### 2.3.7.5 Factor de potencia.

Relación de la potencia activa con la potencia aparente, es decir, la proporción de potencia que se transforma en trabajo útil de la potencia total requerida por la carga bajo condiciones de tensiones y corrientes sinusoidales el factor de potencia es igual a  $\cos \varphi$ , tal como se muestra en el triángulo de potencias (Zamora & Calderon, 2013).

$$P = \sqrt{3} V \cdot I \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} V \cdot I \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3} V \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

### 2.3.8. Causas del bajo factor de potencia.

Existen diferentes causas para que haya un bajo factor de potencia, siendo la más común el tener conectado un gran número de motores de inducción al sistema ya que estos aumentan los requerimientos de potencia reactiva tanto en los circuitos de media y baja tensión para su funcionamiento, lo que produce una disminución considerable en el factor de potencia, dando como resultado un aumento de la corriente; esto puede ocasionar daños en las instalaciones por efecto de sobrecarga, adicional a esto puede producir alteraciones con respecto a la regulación de la diferencia de potencial empeorando de esta forma el rendimiento y funcionamiento de los equipos.

### **2.3.9. Consecuencias del bajo factor de potencia.**

Las instalaciones que operan con el factor de potencia por debajo de 1, tiene afectaciones en la red eléctrica, tanto en media como en baja tensión, y genera las siguientes consecuencias en la medida que el factor de potencia disminuye:

- Calentamiento de cables
- Calentamiento en los embobinados de los transformadores
- Disparo repentino de los dispositivos
- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución
- Aumento en las caídas de tensión
- Mayor consumo de corriente
- Incremento en la facturación
- Penalizaciones económicas.

Tabla 1: Factor de potencia aproximado para cargas comunes.

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

Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

En la tabla 1 se observan los valores que del factor de potencia que manejan los equipos más comunes dentro de las industrias.

Tabla 2: Relación de factor de potencia inicial y factor de potencia deseado.

Factor de potencia	Factor de potencia deseado														
	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1

<b>a inicial</b>															
<b>0.66</b>	0.54 5	0.57 2	0.59 9	0.62 6	0.65 4	0.68 3	0.71 2	0.74 3	0.77 5	0.81	0.84 7	0.88 8	0.93 5	0.99 6	1.13 8
<b>0.67</b>	0.51 5	0.54 1	0.56 8	0.59 6	0.62 4	0.65 2	0.68 2	0.71 3	0.74 5	0.77 9	0.81 6	0.85 7	0.90 5	0.96 6	1.10 8
<b>0.68</b>	0.48 5	0.51 2	0.53 9	0.56 6	0.59 4	0.62 3	0.65 2	0.68 3	0.71 5	0.75	0.78 7	0.82 8	0.87 5	0.93 6	1.07 8
<b>0.69</b>	0.45 6	0.48 3	0.50 9	0.53 7	0.56 5	0.59 3	0.62 3	0.65 4	0.68 6	0.72	0.75 7	0.79 8	0.84 6	0.90 7	1.04 9
<b>0.7</b>	0.42 7	0.45 3	0.48	0.50 8	0.53 6	0.56 5	0.59 4	0.62 5	0.65 7	0.69 2	0.72 9	0.77	0.81 7	0.87 8	1.02
<b>0.71</b>	0.39 8	0.42 5	0.45 2	0.48	0.50 8	0.53 6	0.56 6	0.59 7	0.62 9	0.66 3	0.7	0.74 1	0.78 9	0.84 9	0.99 2
<b>0.72</b>	0.37	0.39 7	0.42 4	0.45 2	0.48	0.50 8	0.53 8	0.56 9	0.60 1	0.63 5	0.67 2	0.71 3	0.76 1	0.82 1	0.96 4
<b>0.73</b>	0.34 3	0.37	0.39 6	0.42 4	0.45 2	0.48 1	0.51	0.54 1	0.57 3	0.60 8	0.64 5	0.68 6	0.73 3	0.79 4	0.93 6
<b>0.74</b>	0.31 6	0.34 2	0.36 9	0.39 7	0.42 5	0.45 3	0.48 3	0.51 4	0.54 6	0.58	0.61 7	0.65 8	0.70 6	0.76 6	0.90 9
<b>0.75</b>	0.28 9	0.31 5	0.34 2	0.37	0.39 8	0.42 6	0.45 6	0.48 7	0.51 9	0.55 3	0.59	0.63 1	0.67 9	0.73 9	0.88 2
<b>0.76</b>	0.26 2	0.28 8	0.31 5	0.34 3	0.37 1	0.4	0.42 9	0.46	0.49 2	0.52 6	0.56 3	0.60 5	0.65 2	0.71 3	0.85 5
<b>0.77</b>	0.23 5	0.26 2	0.28 9	0.31 6	0.34 4	0.37 3	0.40 3	0.43 3	0.46 6	0.5	0.53 7	0.57 8	0.62 6	0.68 6	0.82 9
<b>0.78</b>	0.20 9	0.23 6	0.26 3	0.29	0.31 8	0.34 7	0.37 6	0.40 7	0.43 9	0.47 4	0.51 1	0.55 2	0.59 9	0.66	0.80 2
<b>0.79</b>	0.18 3	0.20 9	0.23 6	0.26 4	0.29 2	0.32	0.35	0.38 1	0.41 3	0.44 7	0.48 4	0.52 5	0.57 3	0.63 4	0.77 6
<b>0.8</b>	0.15 7	0.18 3	0.21	0.23 8	0.26 6	0.29 4	0.32 4	0.35 5	0.38 7	0.42 1	0.45 8	0.49 9	0.54 7	0.60 8	0.75
<b>0.81</b>	0.13 1	0.15 7	0.18 4	0.21 2	0.24	0.26 8	0.29 8	0.32 9	0.36 1	0.39 5	0.43 2	0.47 3	0.52 1	0.58 1	0.72 4
<b>0.82</b>	0.10 5	0.13 1	0.15 8	0.18 6	0.21 4	0.24 2	0.27 2	0.30 3	0.33 5	0.36 9	0.40 6	0.44 7	0.49 5	0.55 6	0.69 8
<b>0.83</b>	0.07 9	0.10 5	0.13 2	0.16 8	0.18 6	0.21 6	0.24 6	0.27 7	0.30 9	0.34 3	0.38	0.42 1	0.46 9	0.53	0.67 2
<b>0.84</b>	0.05 3	0.07 9	0.10 6	0.13 4	0.16 2	0.19	0.22	0.25 1	0.28 3	0.31 7	0.35 4	0.39 5	0.44 3	0.50 3	0.64 6
<b>0.85</b>	0.02 6	0.05 3	0.08	0.10 7	0.13 5	0.16 4	0.19 4	0.22 5	0.25 7	0.29 1	0.32 8	0.36 9	0.41 7	0.47 7	0.62
<b>0.86</b>	---	0.02 7	0.05 4	0.08 1	0.10 9	0.13 8	0.16 7	0.19 8	0.23	0.26 5	0.30 2	0.34 3	0.39	0.45 1	0.59 3
<b>0.87</b>	---	---	0.02 7	0.05 4	0.08 2	0.11 1	0.14 1	0.17 2	0.20 4	0.23 8	0.27 5	0.31 6	0.36 4	0.42 4	0.56 7
<b>0.88</b>	---	---	---	0.02 7	0.05 5	0.08 4	0.11 4	0.14 5	0.17 7	0.21 1	0.24 8	0.28 9	0.33 7	0.39 7	0.54

0.89	---	---	---	---	0.02 8	0.05 7	0.08 6	0.11 7	0.14 9	0.18 4	0.22 1	0.26 2	0.30 9	0.37	0.51 2
0.9	---	---	---	---	---	0.02 9	0.05 8	0.08 9	0.12 1	0.15 6	0.19 3	0.23 4	0.28 1	0.34 2	0.48 4
0.91	---	---	---	---	---	---	0.03	0.06	0.09 3	0.12 7	0.16 4	0.20 5	0.25 3	0.31 3	0.45 6
0.92	---	---	---	---	---	---	---	0.03 1	0.06 3	0.09 7	0.13 4	0.17 5	0.22 3	0.28 4	0.42 6
0.93	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03 2	0.06 7	0.10 4	0.14 5	0.19 2	0.25 3	0.39 5
0.94	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03 4	0.07 1	0.11 2	0.16	0.22	0.36 3
0.95	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.03 7	0.07 8	0.12 6	0.18 6	0.32 9
0.96	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04 1	0.08 9	0.14 9	0.29 2
0.97	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.04 8	0.10 8	0.25 1
0.98	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.06 1	0.20 3
0.99	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.14 2

Fuente: Zamora & Calderón. (2013). Diseño e implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia.

En la tabla 2, se muestra el factor de potencia inicial del circuito, con relación al valor del factor de potencia deseado, donde se intercepta el valor por el cual se debe multiplicar la potencia activa para obtener el factor de potencia deseado.

### 2.3.10. Capacitor.

Los capacitores son equipos que pueden acumular electricidad, están conformados por dos placas conductoras llamadas electrodos, posicionadas frontalmente en paralelo y separadas por un aislante dieléctrico ya sea, aire, papel, plástico, aceite, entre otros. En las partes externas de las placas se les conecta una fuente de tensión, el cual produce un campo electrostático entre las dos placas (Zamora & Calderon, 2013).

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

### **2.3.11. Principales partes de un capacitor.**

- a) Carcasa: tiene la función de contener la parte activa del capacitor, está construida de acero con un espesor adecuado al volumen del capacitor.
  
- b) Placa de características: placa donde están contenidos todos los datos para la identificación del capacitor, como son:
  - Potencia nominal en kVAr
  - Tensión nominal
  - Capacitancia
  - Frecuencia de operación
  - Peso
  - Nivel de aislamiento
  - Fecha de fabricación
  
- c) Aisladores: terminales externos de los capacitores.

- d) Armadura: hojas de aluminio enrolladas con el dieléctrico, con espesores entre 3 y 6 mm y patrón de dureza de alta calidad, con el objetivo de mantener bajos los niveles de pérdidas dieléctricas.

### **2.3.12. Tipos de conexiones de los bancos de capacitores.**

#### **2.3.12.1 Conexión tipo Estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra.**

En esta conexión el voltaje de las unidades capacitivas debe ser igual o mayor que el voltaje de fase a neutro del sistema al cual se va a conectar, normalmente esta conexión se usa en sistemas de distribución de hasta 34.5 kV. La capacidad del banco en kVAr, se selecciona de manera que proporcione la potencia reactiva necesaria en el sistema (Llumiquigua, 2012).

#### **2.3.12.2 Conexión tipo Estrella con neutro flotante.**

Este tipo de conexión se usa en sistemas eléctricos de media tensión o mayores, tiene la ventaja de evitar la presencia de transitorios de sobretensión y permite también una mejor protección contra sobrecorriente; en cambio, tiene el problema de desbalance de voltaje, que hace que aparezcan tensiones al neutro, por lo que es necesario incorporar una protección contra sobretensiones al neutro (Llumiquigua, 2012).

### **2.3.12.3 Conexión tipo Delta.**

En esta conexión se usa generalmente en baja tensión (600 Volts o menos) en motores eléctricos o cargas de valor similar, tiene la ventaja sobre las conexiones en estrella de que no presenta problemas de desbalance y también aísla las corrientes armónicas (Llumiquigua, 2012).

### **2.3.12.4 Contactores.**

Elemento electromecánico capaz de conectar y desconectar sistemas eléctricos de potencia como, motores eléctricos. El contacto es el elemento principal de todo circuito eléctrico de automatismos.

### **2.3.12.5 Controlador de factor de potencia digital.**

Los compensadores estáticos de potencia reactiva son equipos que permiten resolver diversos problemas, de los sistemas eléctricos de potencia, mediante el control automático de la potencia reactiva (Universidad de Tapacará, 1994).

### **2.3.12.6 Conductores.**

Son los elementos encargados de unir eléctricamente los diferentes dispositivos que componen el circuito (generador, elementos de mando y receptores). A través de estos circula la corriente, por ello son buenos conductores de la electricidad, siendo de cobre o de aluminio (Cerdea, 2014).

### **2.3.12.7 Accionamientos.**

El accionamiento es la forma de activar los contactos eléctricos. Existe una gran diversidad en la forma del accionamiento, que dependerá de las necesidades. Por

ejemplo: hay ocasiones donde se necesita que una maquina se accione con la mano desde unos pulsadores, sin embargo, en otras ocasiones puede ser interesante que se accione con el pie (pedal). Habrá ocasiones, donde por seguridad, se necesite una llave para su funcionamiento entre otros.

## 2.4. MARCO LEGAL

### 2.4.1. Resolución No. 9 0708 de agosto de 2013

#### REGLAMENTO TECNICO DE INSTALACIONES ELECTRICAS (RETIE).

Para efectos del presente reglamento, los condensadores individuales con capacidad mayor o igual a 3 Kvar y bancos de condensadores con capacidad mayor o igual a 5 Kvar, utilizados en baja y media tensión, deben cumplir con los siguientes requisitos adaptados de las normas IEC 60831-1, IEC 60831-2, BS 1650, VDE 0560, CSA 22-2-190, UL 945VA, JIS C 4901, NTC 3422, NTC 2834, NTC 2807 o IEC 60871-1/2. (RETIE, 2008, pág. 105)

- a) Clase de aislamiento
- b) Pruebas de tensión
- c) Máxima sobrecarga admisible a frecuencia nominal
- d) Límite de temperatura de operación
- e) Rata de caída de tensión
- f) Enclavamiento electromecánico en bancos de condensadores en media tensión
- g) Nivel admisible de sobrecorriente por efecto de armónicos en la red que es capaz de soportar sin deteriorarse. (RETIE, 2008, pág. 105)

Para realizar trabajos sobre condensadores, una vez desconectados se esperara el tiempo de descarga predefinido, de acuerdo con las características del equipo, luego se cortocircuitan sus terminales y se ponen directamente a tierra o por intermedio de la carcasa, antes de iniciar los trabajos. Los condensadores no se deben abrir con tensión. (RETIE, 2008)

Para instalaciones donde la distorsión armónica total de tensión (THD), sea superior al 5% en el punto de conexión, los bancos capacitivos deben ser dotados de reactancias de sintonización o en su defecto se deben implementar filtros activos de armónicos. (RETIE, 2008)

#### **2.4.2. NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 2050**

##### **CODIGO ELECTRICO COLOMBIANO**

#### **SECCIÓN 460. CONDENSADORES**

**460-1. Alcance.** Esta sección trata de la instalación de condensadores en los circuitos eléctricos.

Se excluyen de estos requisitos los condensadores amortiguadores o los incluidos como componentes de otros equipos y que cumplan los requisitos de dichos equipos.

Esta sección trata también de las instalaciones de condensadores en lugares peligrosos (clasificados), con las modificaciones previstas en las Secciones 501 a 503. (ICONTEC, 1998, pág. 381)

#### **460-2. Encerramientos y resguardo.**

- a) **Los que contienen más de 11.4 L de líquido inflamable.** Los condensadores que contengan más de 11.4 L de líquido inflamable, deben estar instalados en bóvedas o, si es en exteriores, en encerramientos

vallados que cumplan lo establecido en la Sección 710. Este límite se aplica a cualquier unidad sencilla en una instalación de condensadores.

- b) Contacto accidental.** Los condensadores deben estar encerrados, ubicados o resguardados, de modo que las personas no puedan estar en contacto accidental ni puedan poner materiales conductores en contacto accidental con las partes energizadas expuestas, terminales o barras asociadas a las mismas. (ICONTEC, 1998, pág. 381)

*Excepción. No es necesario resguardo adicional en encerramientos que sean accesibles únicamente a personas calificadas y autorizadas.*

#### **A. Hasta 600 V nominales inclusive**

**460-6. Descarga de la energía almacenada.** Los condensadores deben tener un medio para la descarga de energía almacenada.

- a) Tiempo de descarga.** La tensión residual de un condensador se debe reducir a 50 V nominales o menos en menos de un minuto a partir de la desconexión del condensador de la fuente de alimentación.
- b) Medio de descarga.** El circuito de descarga debe estar permanentemente conectado a los terminales del condensador o grupo de condensadores o estar dotado de un medio automático de conexión de dicho circuito a los terminales cuando la línea quede sin tensión. No se debe utilizar un medio manual para conectar o desconectar el circuito de descarga. (ICONTEC, 1998, pág. 381)

#### **460-8. Conductores.**

**Capacidad de corriente.** La capacidad de corriente de los conductores de un circuito de condensadores no debe ser menor al 135% de la corriente nominal del condensador. La capacidad de corriente de los conductores que conecten un condensador con los terminales de un motor o con los conductores de un circuito de motores no debe ser menor a  $1/3$  de la capacidad de corriente de los conductores del circuito del motor y en ningún caso menor a 135% de la corriente nominal del condensador. (ICONTEC, 1998, pág. 381)

**a) Protección contra sobrecorriente.**

- 1) En cada conductor no puesto a tierra de cada banco de condensadores se debe instalar un dispositivo de protección contra sobrecorriente.

*Excepción. No se requiere un dispositivo de protección contra sobrecorriente cuando el condensador está conectado del lado de la carga del dispositivo de protección del motor contra sobrecarga.*

- 2) La corriente nominal o ajuste del dispositivo de sobrecorriente debe ser lo más baja posible. (ICONTEC, 1998, pág. 381)

**b) Medios de desconexión.**

- 1) En cada conductor no puesto a tierra de cada banco de condensadores se debe instalar un medio de desconexión.

*Excepción. Cuando el condensador esté conectado del lado de la carga de un dispositivo de protección del motor contra sobrecarga.*

- 2) El modo de desconexión debe abrir simultáneamente todos los conductores no puestos a tierra.
- 3) Se permite que el medio de desconexión desconecte el condensador de la línea como procedimiento normal de funcionamiento.
- 4) La corriente nominal del medio de desconexión no debe ser menor al 135% de la corriente nominal del condensador. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

**460-9. Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de protección del motor contra sobrecarga.** Cuando una instalación de motores incluya un condensador conectado en el lado de la carga del dispositivo de protección del motor de sobrecarga, la capacidad nominal o ajuste de dicho dispositivo se debe basar en el factor de potencia mejorado del circuito del motor. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

Para determinar la capacidad nominal de corriente de los conductores del circuito del motor, según el artículo 430-22, se puede despreciar el efecto del condensador. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

**460-10. Puesta a tierra.** Las carcasas de los condensadores se deben poner a tierra, de acuerdo con la Sección 250. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

**460-12. Rotulado.** Todos los condensadores deben llevar una placa de características en la que conste el nombre del fabricante, tensión nominal.

Frecuencia, kilovoltiamperios reactivos (kVAr), número de fases y, si lleva líquido combustible, la cantidad de líquido en litros o galones. Si están rellenos de líquido no inflamable, también se debe indicar en la placa de características. Esta se debe indicar, además, si el condensador lleva instalado un dispositivo de descarga en el interior de la carcasa. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

## **B. De más de 600 V nominales 460-24. Conexión y desconexión.**

**a) Corriente de carga.** Para conectar y desconectar los condensadores se deben utilizar interruptores operados en grupo que sean capaces de: 1) soportar continuamente una corriente no menor al 135% de la corriente nominal del condensador o condensadores; 2) interrumpir la corriente de carga máxima continua de cada condensador, banco o instalación de condensadores que se controlen con una unidad; 3) soportar la máxima corriente momentánea de carga (inrush), incluidas las adicionales de las instalaciones adyacentes de condensadores; 4) transportar las corrientes debidas a fallas en el lado de las condensadores del interruptor. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

### **b) Separación.**

- 1)** se debe instalar un medio que permita de todas las fuentes de tensión a todos los condensadores, bancos o instalaciones de condensadores que se puedan sacar del servicio simultáneamente.
- 2)** El medio de separación debe establecer una separación visible en el circuito eléctrico, adecuada para la tensión de funcionamiento.
- 3)** Los interruptores de separación o desconexión (sin corriente nominal o interrupción) deben ir enclavados con el dispositivo de interrupción de la carga o deben estar dotados de señales de advertencia bien

visibles, de acuerdo con el Artículo 710-22, para evitar la interrupción de la corriente de carga. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

- c) Otros requisitos para condensadores en serie.** Se deben asegurar la secuencia de desconexión y conexión apropiadas, mediante el uso de unos de los siguientes mecanismos: 1) conmutadores de separación y derivación de secuencia de seguridad mecánica; 2) enclavamientos o 3) un procedimiento de conmutación que este claramente explicado al lado de los conmutadores. (ICONTEC, 1998, pág. 382)

### **2.4.3. CREG gestión de reactivos, diciembre 2010**

Sobre el uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local y fijando normas sobre el consumo, control, medición y transporte de la energía reactiva, a fin de establecer cobros sobre el mismo. Así, desde la expedición de la Resolución CREG 009 de 1996 se han mantenido los mismos límites respecto a cobros relacionados con la energía reactiva. (Hernandez, 2010, pág. 5)

Desde 1996 la penalización del usuario se da cuando presenta un factor de potencia inferior de 0.9 ó, lo que es similar, cuando su energía reactiva consumida supere la mitad de su energía activa consumida. (Hernandez, 2010, pág. 5)

Sobre la gestión de reactivos en el sistema eléctrico colombiano hay diferentes normas contenidas en varias resoluciones de la CREG y se ha intentado condensarlas en una que provea las señales adecuadas para la expansión y la optimización de los recursos, sin que hasta ahora se haya expedido una resolución final al respecto. (Hernandez, 2010, pág. 3)

El objetivo principal es definir las obligaciones y responsabilidades que deben tener los agentes en la prestación del servicio de control de tensión y potencia reactiva, así como la remuneración por la prestación del servicio. (Hernandez, 2010, pág. 3)

También se quieren señales adecuadas para la expansión y mejoramiento de la red e incentivos económicos en caso de incumplimiento, buscando un mejoramiento de la calidad en la operación del sistema. La propuesta busca establecer, en primer lugar, las obligaciones asignables a cada uno de los agentes. En cada caso se especifican los rangos dentro de los cuales deben operar para suministrar un soporte de tensión y de potencia reactiva mínimo, para garantizar el buen funcionamiento del sistema y evitar detrimento del mismo. (Hernandez, 2010, pág. 3)

En segundo lugar, se dirige a las señales económicas y sanciones imputables al incumplimiento de las obligaciones en la prestación de los servicios antes mencionados. (Hernandez, 2010, pág. 3)

En tercer lugar intenta dar señales adecuadas para la prestación del servicio, expansión y el mejoramiento de la red. (Hernandez, 2010, pág. 4)

## **2.5. MARCO AMBIENTAL**

### ***2.5.1. Norma técnica colombiana 5720 Tipo 1.***

**Sello ambiental colombiano criterios ambientales en tableros y equipos eléctricos y electrónicos de baja y media tensión.**

Esta norma especifica los requisitos ambientales a cumplir para la selección de tableros eléctricos utilizados como gabinetes de contención para equipos eléctricos y electrónicos de baja y media tensión. El cumplimiento oportuno de los requisitos ambientales especificados en esta norma permite que el interesado obtenga el sello ambiental colombiano.

### ***2.5.2. Cumplimiento de la legislación ambiental***

La organización encargada de la fabricación de los tableros eléctricos de baja y media tensión debe establecer, implementar y mantener un procedimiento para identificar, tener acceso, cumplir y evaluar periódicamente e cumplimiento, con la legislación ambiental que le sea aplicable en todas de fabricación del producto (Icontec, 2009).

Si los productos son suministrados por un proveedor- importador, la organización debe solicitar al proveedor, un certificado que demuestre el cumplimiento de la legislación ambiental del país de origen que es aplicable en todas las etapas de producción, para demostrarlo es válido la certificación de acuerdo con la norma ISO 14001 (Icontec, 2009).

### **2.5.3. Requisitos generales**

La organización encargada de la manufactura de tableros eléctricos de baja tensión debe cumplir con los requisitos.

Se debe implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para todos los equipos empleados en la manufactura o para generar servicios de apoyo para la fabricación de tableros eléctricos dejando registros de los mantenimientos efectuados.

Se debe identificar, valorar y priorizar los impactos ambientales de las actividades de mantenimiento a fin de establecer e implementar planes de acción para controlar o evitar aquellos de carácter significativo (Icontec, 2009).

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

#### 3.1. Análisis técnico

El análisis técnico para el diseño del banco de condensadores que se requiere en la granja Santa Lucia, se llevó a cabo con el analizador de redes DMK20 LOVATO. Equipo digital, ver Figura 6 equipo conectado en serie al circuito que permite obtener valores de, potencia aparente (S), potencia reactiva (Q), potencia activa (P) y factor de potencia (FP) entre otras variables importantes para el cálculo de los valores necesarios de compensación, además se ha creado una curva del comportamiento de los parámetros eléctricos que se observa en el Anexo B, esta se ha creado mediante software Microsoft Excel registrando los valores obtenidos manualmente por los autores, se realiza seguimiento cada 5 minutos del analizador de redes el día 15 de mayo de 2017 durante un periodo de tiempo de 12 horas entre las 6:00 AM y las 18:00, de esta base de datos se selecciona una medida promedio para cada 30 minutos ya que las medidas son muy similares durante dichos periodos de tiempo.

Figura 6: Disyuntor principal y barraje distribución de circuitos analizador de redes conectado



Fuente: Autores

Tomando los datos obtenidos del levantamiento de campo representados en la tabla 3, más los datos arrojados por el analizador de redes se realiza el diseño del banco de condensadores el cálculo de los condensadores en kVAr, requeridos por el número de pasos que permita la compensación ideal mediante la corrección del FP.

Los circuitos descritos a continuación son alimentados mediante un transformador reductor trifásico de 150 kVA, el cual a su vez es alimentado por circuito de distribución propiedad de la empresa ESSA, en MT 13,2 kV. y como respaldo un generador eléctrico diésel de 730 kVA.

Figura 7. levantamiento de información en campo



Fuente: Autores .

La información recopilada en campo como se observa en la figura 7 se obtiene de las placas de datos presente en cada motor instalado en los diferentes circuitos y zonas de producción, dicha información permite verificar que las medidas de potencia obtenidas por medio del analizador de redes está dentro de los valores nominales que se estiman como carga instalada según datos de placa. los valores resultados de este proceso se encuentran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3: levantamiento de campo carga granja santa lucia

CIRCUITO	CARGA	#	POTENCIA UNI W	POTENCIA TOTAL W
<b>1</b>				
ventilación galpón 1	Motor inducción 0.5 HP S3Y	39	373	14547
Ventilación galpón 1	Motor inducción 1 HP S3Y	6	746	4476
Bomba de micros	Motor inducción 3 HP S3Y	1	2238	2238
Bomba lago	Motor inducción 5 HP S3Y	1	3730	3730
Bomba trasiego agua tratada	Motor inducción 3 HP S3Y	2	2238	4476
<b>2</b>				
ventilación galpón 2	Motor inducción 0.5 HP S3Y	7	373	2611
Ventilación galpón 2	Motor inducción 1 HP S3Y	12	746	8952
Bomba de micros galpón 2	Motor inducción 3 HP	1	2238	2238
Ventilación galpón 4	Motor inducción 0.5 HP	29	373	10817
Bomba de	Motor inducción 3 HP	1	2238	2238

micros galpón 4	S3Y			
Motores comedero gp-4	Motor inducción 0.75 HP S3Y	3	559.5	1678.5
<b>3</b>				
Ventilación galpón 3	Motor inducción 1 HP S3Y	11	746	8206
Motores comedero gp-3	Motor inducción 0.75 HP S3Y	3	559.5	1678.5
Bomba de micros galpón 3	Motor inducción 3 HP	1	2238	2238
Ventilación galpón 7	Motor inducción 0.5 HP	21	373	7833
Motores comedero gp-7	Motor inducción 0.75 HP S3Y	3	559.5	1678.5
Bomba de micros galpón 7	Motor inducción 3 HP S3Y	1	2238	2238
Bomba lago	Motor inducción 8 HP S3Y	1	5968	5968
<b>4</b>				
Ventilación galpón 8	Motor inducción 1.5 HP S3Y	9	1119	10071
Motores comedero gp-8	Motor inducción 0.75 HP S3Y	4	559.5	2238
Bombas de panel galpón 8	Motor inducción 0.5 HP	2	373	746
<b>TOTAL</b>		<b>158</b>		<b>100896.5</b>

Fuente: Autores

La información contenida en la Tabla 3 hace referencia al número de motores por circuito de cada galpón con su respectiva carga o potencia nominal instalada,

información que nos permite hacer un comparativo con los valores obtenidos del analizador de redes contenidos en la Tabla 4.

### 3.2. Diseño del banco de condensadores trifásico

Tomando los valores obtenidos del analizador de redes y los valores del levantamiento de campo se procede a realizar el un análisis que permitirá determinar, cuál sería la opción adecuada para el diseño del banco de condensadores trifásico para la granja Santa Lucia, es de esta manera como se concluirá si este debe ser fijo o automático.

Estos análisis permitirán además determinar cuál debe ser el tamaño en kVAr de los capacitores el número de los mismos y la configuración de pasos si debe ser automático.

#### 3.2.1. Cálculo de potencia en kVAr para la corrección del FP.

Estos permitirán determinar los kVAr requeridos para mantener el FP en valores fuera del rango de penalización, obteniendo así beneficios técnicos y económicos objetivo fundamental por el cual se realiza esta investigación. Los siguientes son los cálculos y variables que se deben contemplar para la obtención de los valores deseados. Con la ayuda de la ecuación:  $Q_c = P (\tan \phi_i - \tan \phi_f)$  se determinara el valor de los posibles pasos que se requieren para compensar el sistema que por las variaciones que se observaran a continuación en la Tabla 4 permite definir la necesidad de un banco de condensadores automático.

Tabla 4: valores calculados en  $Q_c$  para la corrección del factor de potencia

HORA	P total (W)	Cos $\Theta$ total FP	$\Theta$ INICIAL	$\Theta$ FINAL	$Q_c$ (Var)
15/05/2017 6:00	22080	0,84	0,58	0,2	9990

15/05/2017 6:30	25670	0,75	0,72	0,2	17310
15/05/2017 7:00	32500	0,82	0,6	0,2	15640
15/05/2017 7:30	32560	0,83	0,59	0,2	15200
15/05/2017 8:00	73100	0,8	0,64	0,2	39600
15/05/2017 8:30	80800	0,82	0,6	0,2	38890
15/05/2017 9:00	83100	0,79	0,65	0,2	46320
15/05/2017 9:30	90100	0,76	0,7	0,2	57620
15/05/2017 10:00	91600	0,78	0,67	0,2	54000
15/05/2017 10:30	101500	0,8	0,64	0,2	54990
15/05/2017 11:00	114600	0,82	0,6	0,2	55170
15/05/2017 11:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 12:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 12:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 13:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 13:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 14:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 14:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 15:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 15:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 16:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 16:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 17:00	95790	0,79	0,65	0,2	53400
15/05/2017 17:30	92090	0,78	0,67	0,2	54290
16/05/2017 18:00	92090	0,78	0,67	0,2	54290

Fuente: Esta investigación mediante cálculos basados en los valores arrojados por analizador de redes.

Del análisis realizado a la anterior tabla se observa que la potencia  $Q_c$  requerida es totalmente variable durante el periodo de 12 horas medido, como se observa en la figura 6. Esto permite determinar que el banco requiere un total de 8 pasos para poder acercarse lo mejor posible a los valores ideales de factor de potencia para no incurrir en penalización económica, y mantener así los sistemas eléctricos en óptimas condiciones de trabajo por la disminución de pérdidas y aprovechamiento de la energía obtenida de la red. Llegando así a determinar que dicho banco debe ser automático ya que esta configuración permitirá las diferentes posibilidades de cambio en la programación del controlador que accionará cada uno de los pasos. Los valores requeridos para la compensación conforme a los valores obtenidos en la tabla 4 de  $Q_{cVAR}$ : para las diferentes configuraciones de interconexión paralela de los pasos son las siguientes.

- configuración 001. 10 kVAr
- configuración 002. 20 kVAr
- configuración 003. 15 kVAr
- configuración 004: 40 kVAr
- configuración 005: 50 kVAr
- configuración 006: 55 kVAr
- configuración 007: 65 kVAr
- configuración 008: 45 kVAr

Estos valores se obtendrán de la suma en paralelo de cada uno de los pasos de baterías de condensadores que conforman el banco de condensadores automático, de acuerdo a su capacidad nominal. Figura 8

Figura 8: condensadores conectados en paralelo



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta la información obtenida en campo por medio del analizador de redes contenida en la Tabla 4 se establecieron 8 configuraciones de programación que serán evaluadas por el controlador automático de FP la interconexión, de los diferentes pasos instalados en el banco de condensadores automático, será realizada por este basado en los datos ingresados de cada uno de sus pasos de configuración, permitiendo el ingreso al circuito principal a cada uno de los pasos de acuerdo al requerimiento de potencia reactiva o compensación requerida por el sistema, realizando este de manera autónoma la sumatoria de los valores ingresados como disponibilidad en cada uno de los pasos mediante la parametrización del controlador de factor de potencia, a continuación se muestra una posible sumatoria de pasos para el caso de configuración 7.

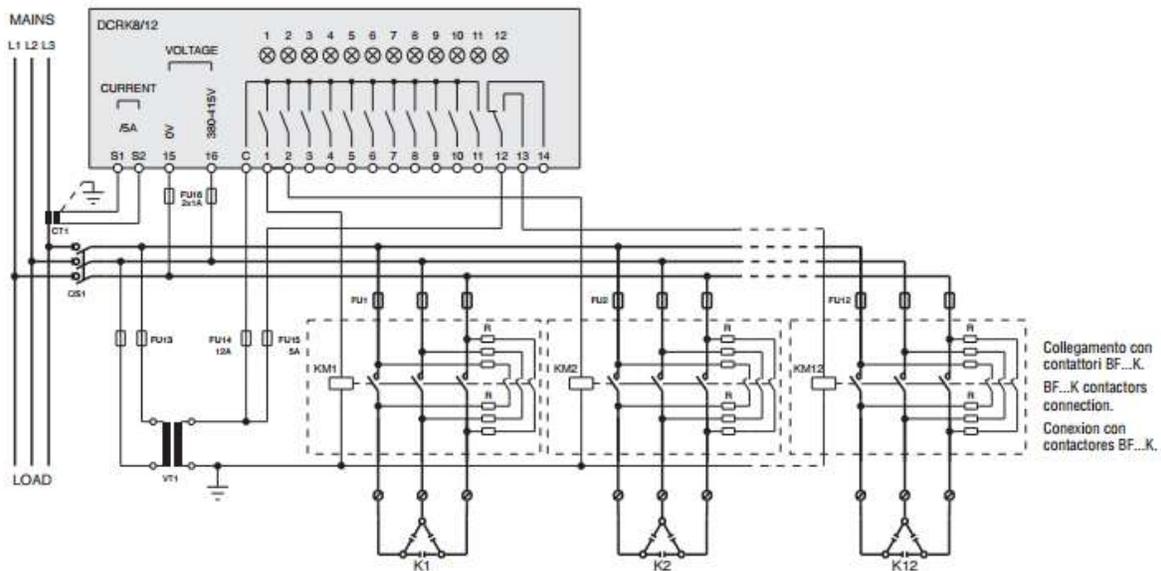
:

Ejemplo: Paso 7 =15 kVAr + paso 8 =15 kVAr + paso 4 =10kVAr + paso 5 =10kVAr+ paso 2=10 kVAr + paso 3 =5 kVAr. para un total de 65 kVAr. valor de

QcVAr requeridos para mantener un factor de potencia del 0.97 cuando el sistema se encuentra a plena carga.

Este proceso tiene una variabilidad de tiempo ya que la carga aumenta paulatinamente y en diferentes niveles es por eso la importancia de que el controlador haga este trabajo y el banco sea totalmente automático

Figura 9: Ejemplo esquema de conexión circuito de potencia y mando banco de condensadores.



Fuente: Ficha técnica del controlador de potencia DCRK12 LOVATO.

Figura 10. Curva requerimientos máximos y mínimos  $Q_c$



Fuente: Autores.

### 3.2.2. Selección de los materiales para la construcción del banco de condensadores automático

Basados en la información recopilada se procede a determinar cuáles serán los elementos necesarios para la construcción del banco de condensadores automático, como accionamientos, equipos de protección, gabinete, controlador y demás elementos necesarios para su correcto funcionamiento.

#### 3.2.2.1 Controlador de factor de potencia

Luego de revisar las diferentes marcas y referencias disponibles en el mercado, se procede a seleccionar el equipo DCRK12 marca LOVATO. Las características de dicho equipo se encuentran en el anexo B de este documento, así como sus parámetros de programación. Para este caso se realizó una programación manual de los diferentes pasos que permitirán la compensación o accionamiento de cada uno de los condensadores conectados, según requerimientos de operación.

Figura 11: Controlador de factor de potencia instalado



Fuente: Autores.

### 3.2.2.2 Sistemas de protección

#### 3.2.2.2.1 Interruptor principal

La selección de este dispositivo se basó en la corriente nominal del grupo de condensadores que conforman el banco, dicha información se encuentra en el anexo C de este documento junto con la ficha técnica del interruptor seleccionado, interruptor automático ABB SACE A3 capacidad nominal 320 A se observa en la figura 11.

#### 3.2.2.2.2 Interruptores auxiliares o de circuitos derivados.

La selección de estos dispositivos se basó en la corriente nominal de cada uno de los circuitos que conforman los diferentes pasos del banco de condensadores, dicha información se encuentra en el anexo C de este documento junto con la

ficha técnica del interruptor seleccionado, interruptor marca WEG DWA/B160B capacidad nominal 40A y 50A respectivamente como se observa en la figura 11

Figura 12. Interruptor principal, barraje y protección individual de circuitos



Fuente: Autores.

### 3.2.3. Contactores.

Teniendo en cuenta el fenómeno de la corriente In-rush se seleccionó un tipo de contactores diseñados especialmente para disminuir dicho fenómeno que podría causar averías en los condensadores, conocidos como contactores para maniobra de condensadores en la Figura 12. Se observan los contactores ya instalados en el banco, y en la figura 13 una breve descripción física. Las características de este elemento electromecánico se encuentran en el anexo C de este documento.

Figura 13. Contactores y condensadores instalados



Fuente: Autores.

Figura 14: Descripción física del contactor para maniobra de condensadores.



Fuente: Weg. (2016). Automatización contactores para maniobra de condensadores. Recuperado de <http://www.ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-contactores-para-maniobra-de-condensadores-cwmc-50065202-catalogo-espanol.pdf>

### 3.2.4. Condensadores

Para garantizar la calidad del producto final se seleccionaron elementos con características técnicas especiales, el cumplimiento de normas tales como EN/IEC 60831 partes 1 y 2 y UL 810 que tienen como base la seguridad de las personas, instalaciones y equipos. Adicional a esto son dispositivos con capacidades de auto regeneración y desconexión por falla lo que garantizara una larga vida útil del banco de condensadores. Los elementos seleccionados son los condensadores WEG UCWT de la serie E las características de estos dispositivos se encuentran en el anexo C, de este documento y su instalación se observa en la figura 12.

### **3.2.5. Conductores**

Para la selección de los conductores que permiten la interconexión de los diferentes elementos electromecánicos, que conforman el banco de condensadores se tienen en cuenta la corriente de trabajo. Tanto del circuito principal como el de los secundarios o pasos de conexión de los condensadores, bajo tablas establecidas por las normas técnicas UL 83 y NTC 1332. Los conductores seleccionados son cable THHN/THWN 90°C. El calibre se selecciona basado en el cálculo de corriente de cada uno de los circuitos que se encuentra en el anexo D de este documento. La sección de los conductores es seleccionada de acuerdo a tabla capacidad de corriente del anexo C, en el siguiente orden: calibre 2/0 AWG para el circuito principal, calibre 8 AWG para el circuito secundario y calibre 16 AWG para el circuito de mando.

### **3.2.6. Programación del controlador de factor de potencia**

Luego de determinar las diferentes configuraciones necesarias para la corrección del factor de potencia, procedemos a realizar el establecimiento de los parámetros como lo indica la ficha técnica del equipo para su configuración automática. Utilizando el SET-UP manual desde el teclado.

Tomando estas indicaciones la siguiente es la configuración que se realizó para establecer los parámetros de operación.

- P.01 289A
- P.02 5 kVAr
- P.03 230 V
- P.04 0.60 s

- P.05 120 s
- P.06
  - ✓ LED 1 002
  - ✓ LED 2 002
  - ✓ LED 3 001
  - ✓ LED 4 002
  - ✓ LED 5 002
  - ✓ LED 6 003
  - ✓ LED 7 003
  - ✓ LED 8 003

Con estos datos el controlador realiza los cálculos de potencia capacitiva necesaria para corregir el factor de potencia, conectando al circuito las baterías de condensadores necesarias para la compensación de potencia reactiva.

### ***3.2.7. Interconexión de los elementos electromecánicos que conforman el banco de condensadores.***

Al determinar los materiales necesarios para la construcción del banco de condensadores se procede a requerir a la contrapartida, la adquisición de estos y posterior envió a la granja para iniciar el proceso constructivo.

Dichos elementos son suministrados por el proveedor, empotrados en el gabinete y listos para realizar la interconexión del cableado tanto de mando como de potencia, este proceso se evidencia en la figura 14.

Figura 15: Conexión de elementos



Fuente: Autores.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Realización de mediciones con analizador de redes

Este proceso se llevó a cabo con equipo suministrado por la universidad, debido a que los elementos que permiten realizar la conexión del equipo al sistema, no cumplían con las capacidades necesarias para medir y obtener los valores del circuito principal siendo este un inconveniente mayor, se solucionó realizando una medición individual de los circuitos derivados, la sumatoria de estos valores individuales permitieron crear la base de datos descrita en la Tabla 6 para realizar los cálculos que permitieron determinar el número de pasos, los valores de potencia compensatoria requerida representados en el Grafico 4 y los parámetros para la programación del controlador, así como los valores extremos y medios de las variables que permitieron evaluar la viabilidad del proyecto y los requerimientos para su posterior éxito, dicha información se encuentra contenida en la Tabla 5.

Tabla 5: Valores máximos, mediana y mínimo de las variables medidas y calculadas

	Qc (Var)	Cos $\theta$ total FP	Q total (VAr)	P total (W)
max	63010	0,84	74500	114600
mediana	55170	0,81	67160	101500
Min	9990	0,75	14570	22080

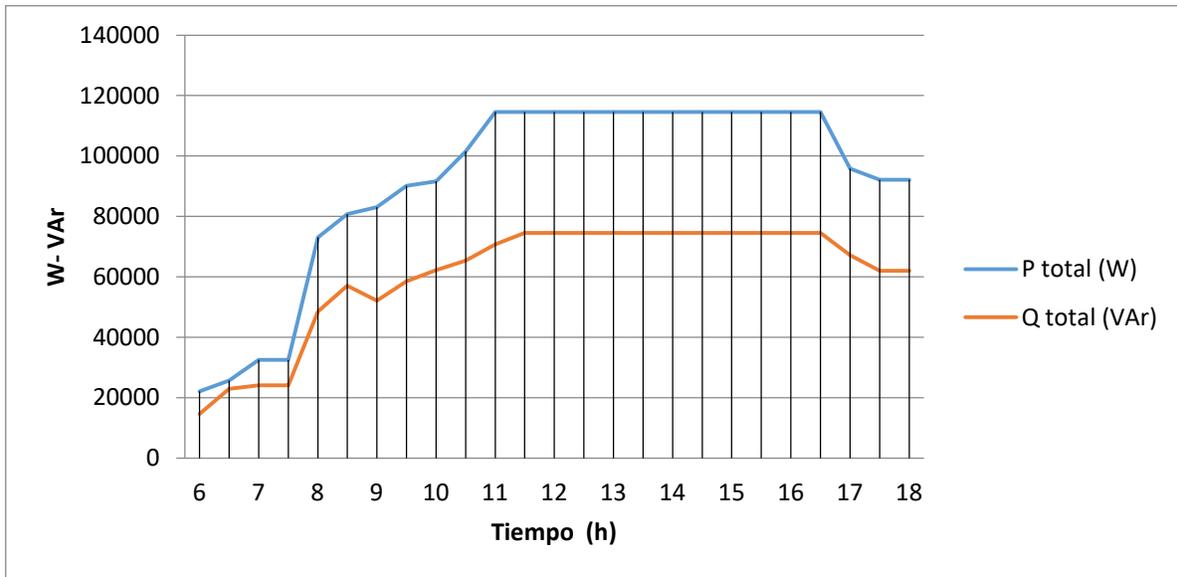
Fuente: Autores

La información obtenida por medio del analizador de redes arrojó las curvas contempladas en los gráficos 1 y 2, en el grafico 1 se observan las curvas de potencia activa P y potencia reactiva Q siendo esta superior al 50% de la activa lo

que es ocasionado por el bajo factor de potencia que se encuentra representado en el grafico 2.

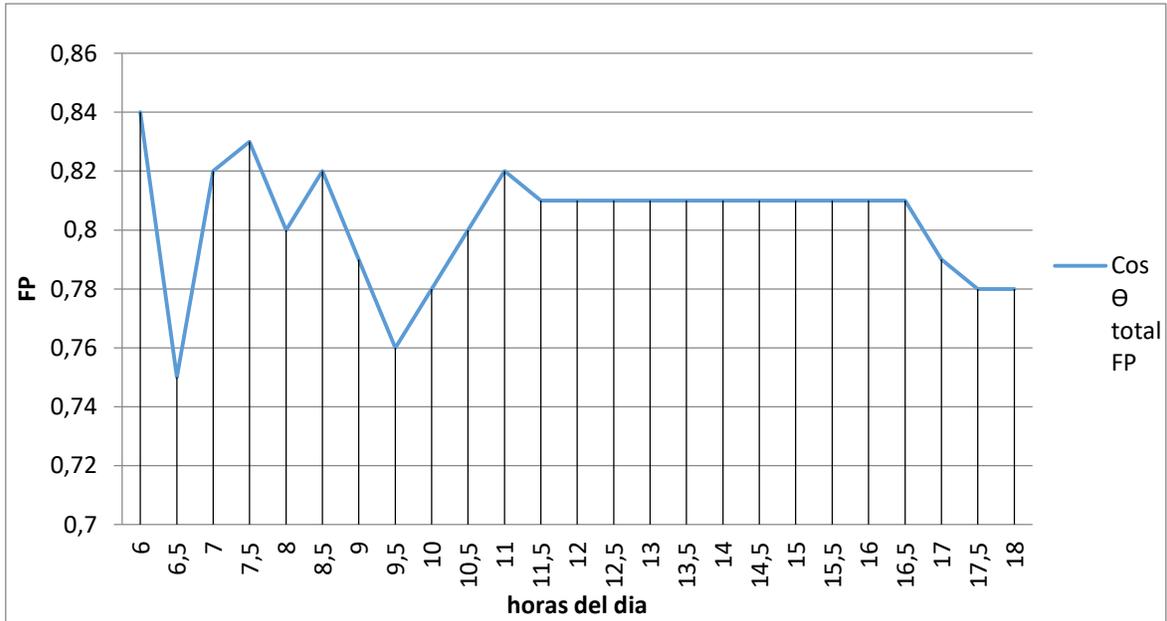
Dichos datos permitieron determinar el requerimiento de potencia de compensación, el tipo de banco de condensadores a utilizar y las características del controlador de factor de potencia.

Grafico 1: curvas comparativas potencia (P vs Q)



Fuente: Autores

Grafico 2: curva FP sin corrección



Fuente: Autores

Grafico 3: curvas características FP



Fuente: Autores

El FP se convirtió en la variable a modificar con la implementación del banco de condensadores por esta razón se realizaron los análisis de comportamiento y la respectiva investigación de como influir directamente en este fenómeno para su corrección, los datos obtenidos nos dieron como resultado los gráficos 2 y3 los cuales nos permitieron además de identificar la necesidad del tipo de banco requerido para la obtener una eficiente compensación, anticipar el que sería el comportamiento de la variable FP con la batería de condensadores conectada al sistema en paralelo como se observa en el Grafico 3. Estaría lo más cerca de la unidad (1) el cual sería su valor ideal que no es posible en la vida real nos acercamos lo mayo posible obteniendo como resultado un FP estándar fijo en las diferentes etapas del proceso de 0.97 alcanzando con esto el objetivo propuesto de controlar dicha variable, estando así dentro del valor (0.9) mínimo requerido contemplado en los estatutos gubernamentales que habilitan a las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica el cobro o penalización por el alto consumo de potencia reactiva (Q).

Tabla 6: valores calculados en Qc para la corrección del factor de potencia

HORA	P total (W)	Cos $\Theta$ total FP	$\Theta$ INICIAL	$\Theta$ FINAL	Qc (Var)
15/05/2017 6:00	22080	0,84	0,58	0,2	9990
15/05/2017 6:30	25670	0,75	0,72	0,2	17310
15/05/2017 7:00	32500	0,82	0,6	0,2	15640
15/05/2017 7:30	32560	0,83	0,59	0,2	15200
15/05/2017 8:00	73100	0,8	0,64	0,2	39600
15/05/2017 8:30	80800	0,82	0,6	0,2	38890
15/05/2017 9:00	83100	0,79	0,65	0,2	46320
15/05/2017 9:30	90100	0,76	0,7	0,2	57620
15/05/2017 10:00	91600	0,78	0,67	0,2	54000

15/05/2017 10:30	101500	0,8	0,64	0,2	54990
15/05/2017 11:00	114600	0,82	0,6	0,2	55170
15/05/2017 11:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 12:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 12:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 13:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 13:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 14:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 14:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 15:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 15:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 16:00	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 16:30	114600	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 17:00	95790	0,79	0,65	0,2	53400
15/05/2017 17:30	92090	0,78	0,67	0,2	54290
16/05/2017 18:00	92090	0,78	0,67	0,2	54290

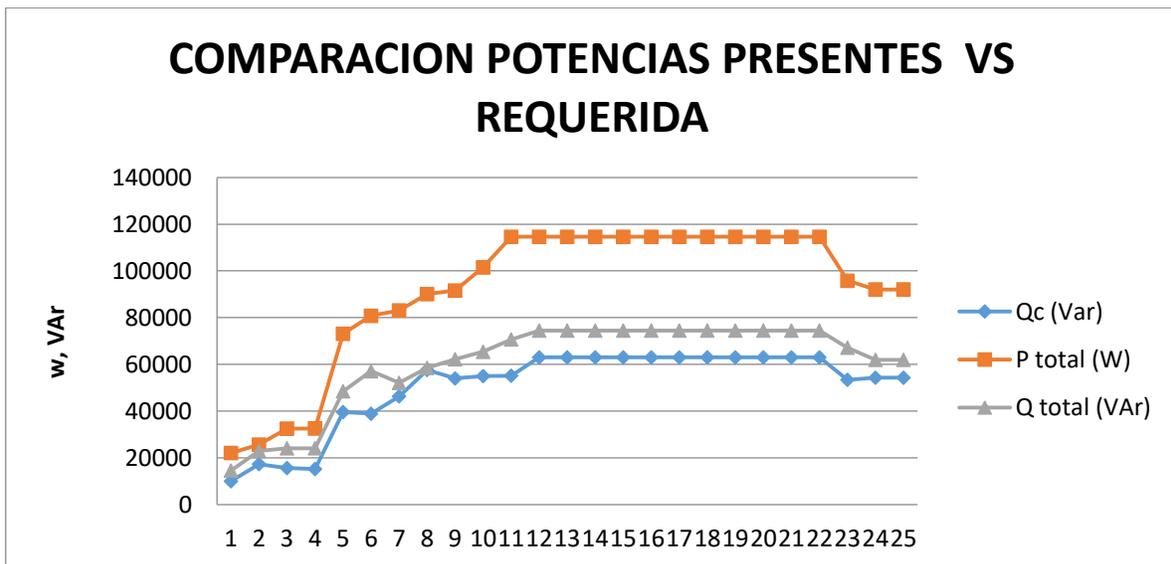
Fuente: Autores.

Grafico 4. Curva requerimientos máximos y mínimos Qc



Fuente: Autores

Grafico 5: Curvas de potencia



Fuente: Autores

## 4.2. Análisis económico

### 4.2.1. Antecedentes

Para llevar a cabo este paso se tomó como referencia la factura del mes de junio de 2016 en la cual se evidencio un excesivo consumo de energía, por lo que se solicitó a la empresa ESSA una revisión técnica a la unidad de medida ya que los datos no coincidían con la carga instalada, en respuesta al requerimiento la empresa actualizó los datos de medición y al emitir la factura del mes de julio del año 2016, se registra un alto consumo de potencia reactiva la cual supera el 50% de la potencia activa por lo cual es cobrada la penalización establecida por la CREG para dicho caso que es el cobro del ítem descrito en la factura como distribución ver Anexo A.

Sumado a estos antecedentes se presentó una falla en los circuitos de MT el día 12 de nov. del 2016 que dejó sin servicio de energía todo el sistema, inicialmente la falla se tomó como un evento fortuito ver Anexo D. Pero luego del análisis realizado por un especialista contratado el Ing. Electricista Carlos Prada se concluyó que el sobrecalentamiento que generó el posterior incendio de los elementos del circuito de MT se debió al bajo factor de potencia ya que el circuito se estaba operando a plena carga en ese momento y se tenía como precedente otros eventos en los cuales los motores presentaban bajo rendimiento y calentamiento de todos los conductores en los diferentes circuitos. Ocasionando lo anterior la falla del sistema de medida por pérdida de uno de los transformadores de potencial este percance adicional afecta drásticamente la empresa, ya que a partir de ese momento el cobro de energía se realizaría por promedio teniendo en cuenta la carga instalada que es de 150KVA lo cual incrementó el valor de la factura considerablemente, a pesar de que la energía no es consumida en su totalidad ni constantemente cuando un usuario comercial toma servicio directo por

fallas en la unidad de medida se ampara en la reglamentación establecida por la CREG que le da prioridad al proveedor de tomar como referencia para promediar la factura mensual , el mayor registro de carga instalada utilizada en el pasado.

Con esta información como base se inició la investigación que dio origen a la pregunta problema objeto de este trabajo luego de los análisis e investigación se procede hacer el análisis económico para estudiar la viabilidad del proyecto.

#### **4.2.2. Relación costo beneficio del proyecto**

Tomando como base los cobros por potencia Q del mes de julio del año 2016 se proyecta con un aumento por año en el valor de la penalización del 10% se realiza la Tabla 7 la cual muestra una proyección a 10 años que sería la vida útil estimada del banco de condensadores automático para la corrección del FP bajo condiciones ideales de operación según datos de fabricante para los elementos utilizados, con relación al costo de inversión inicial y los costes de mantenimiento periódico que es de muy bajo costo se realiza una comparación del ahorro futuro vs la inversión.

Tabla 7: Proyección gastos posibles por penalización

	Penalización por año
año 1	\$ 10.681.269
año 2	\$ 11.749.396
año 3	\$ 12.924.336
año 4	\$ 14.216.769
año 5	\$ 15.638.446
año 6	\$ 17.202.291

año 7	\$	18.922.520
año 8	\$	20.814.772
año 9	\$	22.896.249
año 10	\$	25.185.874

Fuente: Autores.

La información detallada de la Tabla 7 se encuentra en el Anexo E tanto para un año como la proyección a 10 años de los gastos por penalización, los cuales se podrán evitar con la implementación del banco de condensadores automático para corregir el bajo FP.

El precio total de inversión para la implementación se encuentra expresado en las Tablas 8 y 9. Siendo este de \$ 17,218,000,00 COP, se descartan costes de mantenimiento preventivo ya que la empresa cuenta con un técnico eléctrico dentro de su personal de trabajo fijo el cual podrá realizar dentro de sus labores de mantenimiento la revisión periódica cada 6 meses del equipo sin representar un gasto adicional.

Tabla 8: cotización materiales y equipos

Material / equipo	Justificación	Total
Analizador de redes	Medición de variables	0
1 Gabinete	Almacenamiento de equipos	2.000.000
1 Controlador del factor de potencia	Controlar el factor de potencia	1.388.000
Cable conductor	Conexiones del banco de condensadores	350.000
7 Contactores	Pasos del banco de condensadores	3.080.000
7 Condensadores de 10 kVAr	Banco de condensadores	2.562.000
4 Condensadores de 5 kVAr	Banco de condensadores	928.000
1 BREAKER 3x320 A ABB	Seguridad	2,500.000
5 BREAKERS 3 X 30	Seguridad	1.750.000
3 BREAKERS 3 X 50	Seguridad	1.200.000
Varios	accesorios de conexión y protección de conductores	200.000
<b>TOTAL</b>		15.958.000

Fuente: Autores.

Tabla 9: cotización global.

Rubros	Total
Talento humano	460.000
Materiales y equipos	15.958.000
Software	200.000
Servicios técnicos	400.000
Varios	200.000
<b>TOTAL</b>	17.218.000

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta solo la proyección de ahorro por penalizaciones y despreciando los gastos por fallas que se presentan en los equipos y conductores se evidencia la viabilidad del proyecto ya que solo con el ahorro por penalizaciones el equipo, que será financiado por un crédito otorgado a la compañía por entidad bancaria con una tasa de interés del 14% efectivo anual a 24 meses el equipo retornara la inversión en este periodo de tiempo, permitiendo en adelante utilidades por alrededor de \$140.000.000 COP solo en el tiempo proyectado de vida útil de 10 años la cual se puede extender con una muy baja inversión si esta se compara a los beneficios obtenidos, todos los cálculos se realizaron con los datos que se encuentran en el Anexo E.

#### **4.3. Puesta en marcha y pruebas de operación.**

Luego de conectar el banco de condensadores aguas abajo del disyuntor principal teniendo en cuenta los protocolos de seguridad establecidos, se procede a energizar el equipo en presencia del supervisor encargado de la granja quien da fe del inicio de operación exitoso del conjunto de elementos que conforman el banco de condensadores.

Se procedió a la conexión de las respectivas cargas inductivas en los diferentes circuitos, se realizaron medidas de corriente en los conductores principales y secundarios Figura 16. Para descartar falla de alguna de las baterías de condensadores y determinar que cada uno de los pasos funcionará de acuerdo a los requerimientos del sistema. Al evidenciar el correcto funcionamiento de estos se hace entrega de los diagramas de conexión y las recomendaciones de mantenimiento al técnico encargado de la granja.

Figura 16: Banco de condensadores terminado y operando



Fuente: Autores

Figura 17: pruebas de corriente baterías de condensadores banco operando



Fuente: Autores

## 5. CONCLUSIONES

Al realizar el levantamiento de campo que se encuentra en la Tabla 3 se pudo determinar por los parámetros de cambio de temperatura y humedad con los que están programados los micro controladores de los diferentes galpones tienen como factor principal de cambio la temperatura ambiente, esto debido a que el ambiente dentro de los galpones debe permanecer controlado con relación a temperatura y humedad. La variación de dichos parámetros en cuanto el día avanza a las horas de mayor temperatura y menor humedad determina que equipos y durante qué tiempo deben funcionar, así este es un factor determinante en las variables que controlan el equipo que gobierna el banco de condensadores. Y junto a esto los datos obtenidos por medio del analizador de redes permitieron determinar las necesidades de compensación variables.

Una vez conocidos los valores  $Q_c$  necesarios para la compensación se realizó la escogencia de los elementos por medio de análisis matemáticos y de características técnicas de las diferentes referencias disponibles en el mercado, siendo este un proceso dispendioso ya que se debía garantizar la calidad del producto final, su confiabilidad y eficiencia.

los beneficios de la implementación del equipo se evidenciaron al observar un mejor funcionamiento de los motores, bajas en la temperatura de los conductores y disminución de corriente en el secundario del transformador, a futuro se espera obtener los resultados de ahorro económico cuando la operación del equipo complete el primer ciclo de facturación de consumo suministrado por el proveedor de energía eléctrica y las posibles bonificaciones por corrección de factor de potencia.

Una vez conocidos los datos arrojados por el analizador de redes y al observar en las curvas obtenidas mediante la gráfica de estos datos la variabilidad de la carga instalada P y Q se procede a realizar la selección del controlador de FP que diera solución a la pregunta propuesta, teniendo en cuenta el futuro crecimiento de la carga se evaluaron las características de 3 diferentes equipo disponibles en la marca LOVATO siendo esta la que suministra el proveedor de materiales eléctricos de la empresa. Luego de observar las características de las 3 opciones se determinó que le DCRK12 permitiría a nuestro equipo un buen desempeño, adicional a esto su fácil reprogramación y el número de pasos permite que el banco de condensadores pueda adecuarse al crecimiento de la granja en cuanto su carga instalada ya que con el aumento de demanda se requiere más automatización de los diferentes procesos, por consecuente aumento en el número de motores los cuales requerirán de compensación en el futuro pero por la versatilidad del producto este no será un problema para las futuras mejoras.

## 6. RECOMENDACIONES

se recomienda establecer un protocolo de revisión periódica de los elementos que conforman el banco de condensadores, dicha revisión debe contemplar la capacidad de carga en las baterías de condensadores, estado de los conductores, torque de las justas atornilladas, BREAKERS, barraje, Contactores y condensadores, para evitar así la formación de puntos calientes, de igual forma verificar que las In estén dentro de los valores normales así como la Temperatura de operación que no debe ser superior a los 35°C. Y la eliminación de material polvoso u otros materiales que por la polución se presenten en el interior del gabinete que contiene los elementos electromecánicos.

Debido a que la granja está sujeta a posibles crecimientos en la carga instalada y mejoramiento de las tecnologías de operación, argumentos expresados por el técnico eléctrico encargado del mantenimiento y operación de la granja, se recomienda realizar un análisis técnico para el diseño de un filtro de armónicos tecnología desarrollada que permite una mayor eficiencia del banco de condensadores automático.

Así mismo con el aumento de carga se recomienda modificar la capacidad del banco de condensadores o agregar más baterías en los pasos disponibles del controlador.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, r. B. (diciembre de 2010). caracterización y pronóstico del precio SPOT de la energía eléctrica en colombia. Bogota, Colombia.
- Carrillo, C. J., & Cidrás, J. (2003). Compensadores Estáticos de potencia Reactiva (SVC). Vigo.
- Castellan, G. (1987). *Fisicoquímica* (Segunda edición ed.). Mexico: Pearson Educación.
- Cerda, L. M. (2014). Instalaciones electricas y automatismos. Instalacion y mantenimiento. (1). Madrid, España.
- Coller, J. (2009). Inventores increíbles. España.
- Grupo Weg automatizacion. (03 de 2016). Contactores para maniobra de condensadores CWMC. Jaragua do soul, Brasil.
- Hernandez, A. R. (2010). Gestión del flujo de potencia reactiva. bogota, colombia . ICONTEC. (25 de 11 de 1998). Codigo Electrico Colombiano. *NTC-2050* . COLOMBIA.
- Icontec. (30 de 10 de 2009). Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales de tableros y celdas para alojar equipos electricos y electronicos de baja y media tension. Bogota, Colombia.
- Llumiaguia, F. S. (2012). Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia. Quito, Ecuador.
- Londoño, A. B. (2014). Aplicación del control inteligente en el amortiguamiento de oscilaciones usando FACTS (STATCOM Y SVC ). Pereira, Colombia.
- Moreira, P. R. (2016). Analisis e implementacion de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia en una industria de reciclaje de plasticos. Guayaquil, Ecuador.
- Muñoz, J. G. (2012). Convertidor Boost en modo corrección del factor de potencia usando la técnica zad. Manizales, Colombia.
- Restrepo, J. D. (30 de 03 de 2016). *EL TIEMPO*. Recuperado el 06 de 09 de 2016, de EL TIEMPO: <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/la-energia-electrica-nos-llega-de-muy-lejos-propiedad-publica/16550590>
- RETIE. (06 de 08 de 2008). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas .
- Tipler, P. (2003). *Física para la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Reverte.
- Universidad de Tapacará. (1994). Herramienta automatizada para el modelamiento de datos. (Reverte, Ed.) *Revista de la facultad de Ingeniería* , 1.
- Zamora, B. R., & Calderon, J. I. (2013). Diseño e implementacion de un Modulo Didactico para corregir el factor de Potencia. Guayaquil, Ecuador.

**8. ANEXOS**

**Anexo A: Facturas servicio de energía**

**Grupo-epm**  
1092286 - 0

**Cliente:**  
POLLO SAN GALPONES  
NIT/C.C. 0  
VDA LAS MIRLAS CRUCE LA CARAMA  
SANTANDER, SANTANDER  
Tel: 1  
Enefax: 001558

**Felicitaciones:**  
Esta al día en su pago  
**Valor a Pagar: \$21,295,455**  
Pago oportuno hasta: JUL/26/2016  
Suspensión desde: JUL/27/2016

**Consumo: 48700 kWh/mes**

Período	Consumo (kWh)
MAR 2016	1180
ABR 2016	1180
MAY 2016	1180
JUN 2016	1180
JUL 2016	48700

**Factura de venta**  
No. 119805221  
Emitido: 11/JUL/2016  
Número para pago electrónico: 109228648

**Información de su tarifa**  
El valor de su factura de energía está determinado por la fórmula tarifaria (Res. CREG 119 de 2007).

Fórmula Tarifaria		Credito Uniflexo Fin (Facturas)	
Generación (G)	199.67	Cal = 50	
Transmisión (T)	26.26		
Distribución (D)	104.67		
Comercialización (C)	40.73		
Pérdidas (P)	12.50		
Restricciones (R)	18.51		
<b>Costo (\$/kwh)</b>	<b>373.43</b>		

**Derendible de pago número de cuenta 1092286 - 0**  
Este es el valor que usted paga por el servicio de energía y otros conceptos.  
**Valor a pagar: \$19,657,343 Pago oportuno hasta: JUL/26/2016**  
SI NO PAGA ESTA FACTURA SE SUSPENDERÁ EN LA FECHA INDICADA.  
Si usted no paga en la fecha de pago oportuna, se cobrará intereses de mora de 75% M.V.

**Cliente:** POLLO SAN GALPONES  
NIT/C.C. 0  
VDA LAS MIRLAS CRUCE LA CARAMA  
Teléfono: 1

**Impuesto de alumbrado público**  
Este es el valor que usted paga por el impuesto de alumbrado público conforme al artículo 100 del Estatuto Tributario.  
Este es el valor que usted paga por el servicio de energía, impuesto de alumbrado público, otros conceptos.

Base Gravable	Tarifa	Valor
Tarifa impuesto alumbrado público (IMP)	10%	\$ 1,838,112
<b>Total impuesto AP</b>		<b>\$ 1,838,112</b>

**Valor Total \$21,295,455**  
Pago oportuno hasta: JUL/26/2016



**Grupo epm**

Autoservicio de energía eléctrica para el hogar

**Felicitaciones:**  
Está al día en su pago  
**Valor a Pagar: \$7.495.269**  
Pago oportuno hasta: AGO/26/2016  
Suspensión hasta: AGO/27/2016

**Periodo facturado**  
Desde: 01/08/2016  
Hasta: 31/08/2016  
Días Facturados: 31

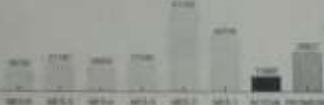
Fecha último pago: 25/08/2016  
Jor del último pago: \$21.295.455  
Total impuesto AP: \$576.559

**Factura de venta**  
No. 120546235  
Expedición: 08/AGO/2016  
Número para pago electrónico: 109228649

**Consumo: 11660 KWH/mes**

Tip	Factura Anterior	Cambio	Consumo
AS	13084,0	13041,0	13089
PI	6041,0	6112,0	10190

**Evolución de Consumo (KWh/mes)**



**Información de su tarifa**  
El valor de su factura de energía está determinado por la fórmula tarifaria (RIS. CREG 119 de 2007).

Fórmula Tarifaria:		Costo (Incluye Fijo)	
Generación (G)	160,40	Costo (Incluye Fijo)	(\$/precio)
Transmisión (T)	26,01	Of = 00	
Distribución (D)	107,19		
Comercialización (C)	30,94		
Pérdidas (P)	14,35		
Restricciones (R)	10,43		
OTR (\$/Kwh)	282,84		
Costo Total por kWh consumido en el periodo:			

**Desprendible de pago número de cuenta 1092286 - 0**  
Este es el valor que usted paga por el servicio de energía y otros conceptos.  
**Valor a pagar: \$6.918.710 Pago oportuno hasta: AGO/26/2016**  
SI NO PAGA ESTA FACTURA SE SUSPENDERÁ EN LA FECHA INDICADA.  
Si cancela después de la fecha de pago oportuno, se cobrarán intereses de mora de 7,75% M.V.

**Cliente: POLLO SAN GALPONES**  
N/C.: 0  
VDA LAS MIRLAS CRUCE LA CRAMA  
Teléfono: 1

**Impuesto de alumbrado público**  
Este es el valor que usted paga por el impuesto de alumbrado público conforme al acuerdo municipal 041 de Diciembre 09 de 2012 del municipio de SAN ANICERMEJA. Si tiene reparaciones e ingresos sobre la instalación de su impuesto de alumbrado público, comuníquese con la alcaldía de su municipio a la línea 5558472. Contributo condicional uniforme, artículo 25.

Base Gravable	\$	5.780.541
Tarifa impuesto alumbrado público (IAP)	%	10%
Impuesto municipal alumbrado público	\$	578.054



**Fabulosos premios te están esperando**

Reclama completamente gratis tu álbum y lámina en los puntos autorizados

**www.albumde laenergiaessa**

**Información técnica del servicio**

Nombre: 297 UNIDADES AGRUPADAS BCA  
 Ruta: 0206-205-1872  
 Clase de usuario: 3-3NO RESIDENCIAL  
 Estrato / Nivel: 0 / 2  
 Tensión: 1-GENÉRICA  
 Subestación: 70 CAMPO 22  
 Cepalón: 70501 INFANTAS  
 Transformador: 0206278  
 Nivel de Tensión: 2  
 Código CU: 2 Nivel 2  
 Carga adicional: 0  
 Cuentas Areas Comunes

**Datos del medidor**

Número: 36116304  
 Marca: ACT  
 Factor: 220  
 Cifras: S-1  
 Tipo: A5  
 Consumo KWh/mes AC

**Calidad del Servicio**

Código Transformador [Grupo de Calidad] Duración [Valor Compensador]  
 0206278 4

Consumo Mensual Promedio Trimestre (Kwh) 18723.6967 Gro 1.291.31

**Liquidación del servicio de energía eléctrica**

Concepto	Valor mes	Saldo
Consumo Activa	\$ 4.763.363	0
Consumo Reactiva	\$ 1.002.228	0
Contribución Activa	\$ 952.673	0
Contribución Reactiva	\$ 200.446	0

**Liquidación empresa de aseo**

Empresa: Frecuencia barrio  
 Categoría: Recolección  
 Estrato: Aforo  
 Método Tdp:

	Actual	Mes 1	Mes 2
	Valor Mes	Saldo	

**Total servicio energía eléctrica \$6.918.710**

**Total servicio de aseo \$0**

**Estado de Financiaciones**

Concepto	Deuda Cuenta Inicial	Saldo	Cuentas pendientes
MES - 1		\$	
MES - 2		\$	
MES - 3		\$	
MES - 4		\$	
MES - 5		\$	
MES - 6		\$	

**Liquidación otros conceptos**

Concepto	Valor mes	Saldo facturado
Total otros conceptos	0	

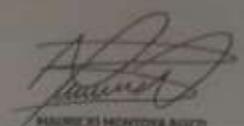
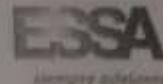
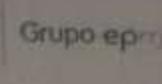
**Información FOES**

Consumo base FOES  
 Vr kWh FOES  
 Número factura base

El C22 aplicable es de acuerdo a la tarifa tarifa según resolución CREG 185 de 2015

**La presente factura presta mérito ejecutivo de conformidad al Art**

**Puntos de pago** **Medios de pago**

  
 MAURICIO MONTOYA BUZZI  
 GERENTE GENERAL ELECTRICIDAD DE SANANDER S.A. E.S.P.  
  

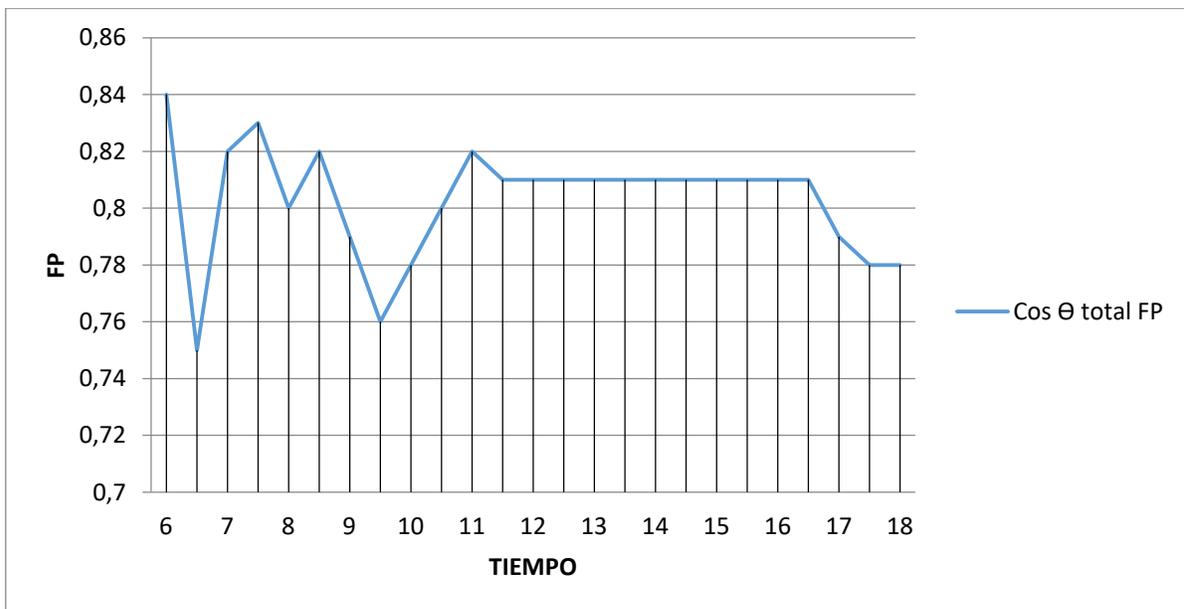
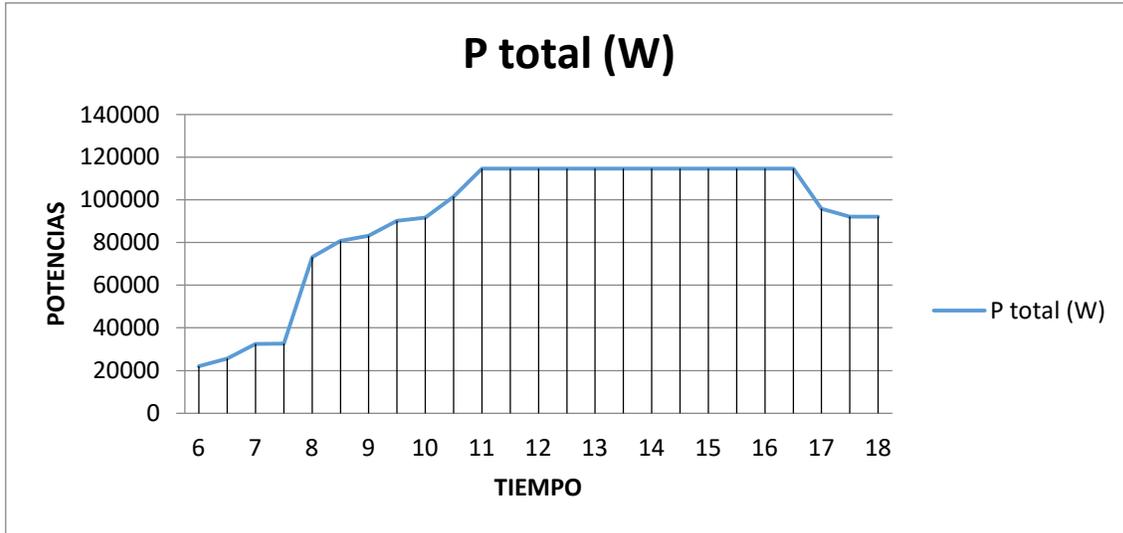
**Anexo B: mediciones analizador de redes y curvas características de valores  
obtenidos**

HORA	P total (W)	Q total (VAr)	Cos $\theta$ total FP	$\theta$ INICIAL	$\theta$ FINAL	Qc (Var)
15/05/2017 6:00	22080	14570	0,84	0,58	0,2	9990
15/05/2017 6:30	25670	22930	0,75	0,72	0,2	17310
15/05/2017 7:00	32500	24100	0,82	0,6	0,2	15640
15/05/2017 7:30	32560	24110	0,83	0,59	0,2	15200
15/05/2017 8:00	73100	48500	0,8	0,64	0,2	39600
15/05/2017 8:30	80800	57100	0,82	0,6	0,2	38890

15/05/2017 9:00	83100	52100	0,79	0,65	0,2	46320
15/05/2017 9:30	90100	58500	0,76	0,7	0,2	57620
15/05/2017 10:00	91600	62200	0,78	0,67	0,2	54000
15/05/2017 10:30	101500	65400	0,8	0,64	0,2	54990
15/05/2017 11:00	114600	70700	0,82	0,6	0,2	55170
15/05/2017 11:30	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 12:00	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 12:30	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010

15/05/2017 13:00	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 13:30	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 14:00	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 14:30	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 15:00	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 15:30	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 16:00	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010
15/05/2017 16:30	114600	74500	0,81	0,63	0,2	63010

15/05/2017 17:00	95790	67160	0,79	0,65	0,2	53400
15/05/2017 17:30	92090	61960	0,78	0,67	0,2	54290
16/05/2017 18:00	92090	61960	0,78	0,67	0,2	54290



	Qc (Var)	Cos $\theta$ total FP	Q total (VAr)	P total (W)
Máximo	63010	0,84	74500	114600
mediana	55170	0,81	67160	101500
Mínimo	9990	0,75	14570	22080

## Anexo C. Elementos que conforman el banco de condensadores



### Códigos de pedido A3 versión especial 50°C (1SDA...R1)

Relé termomagnético - TMF Icu (415 V) - Mantenimiento 100% In a 50°C					
A3 400A - Fijo (F) 3 polos - Terminal frontal					
In	I3	N (36kA)			
300	3000	068809			
400	4000	068810			

Relé termomagnético - TMF Icu (415 V)					
A3 400A - Fijo (F) 3polos - Terminales anteriores (F)			A3 400A - Fijo (F) 4polos - Terminales anteriores (F)		
In	I3	N (36kA)	S (50kA)	N (36kA)	S (50kA)
320	3200	066560	066562	066568	066570
400	4000	066561	066563	066569	066571

Relé termomagnético - TMF Icu (415 V)					
A3 630A - Fijo (F) 3polos - Terminales anteriores (F)			A3 630A - Fijo (F) 4polos - Terminales anteriores (F)		
In	I3	N (36kA)	S (50kA)	N (36kA)	S (50kA)
500	5000	066564	066565	066572	066573

Relé electrónico - ELT LI Icu (415 V)					
A3 630A - Fijo (F) 3polos - Terminales anteriores (F)			A3 630A - Fijo (F) 4polos - Terminales anteriores (F)		
In	I3	N (36kA)	S (50kA)	N (36kA)	S (50kA)
630	6000	066566	066567	066574	066575

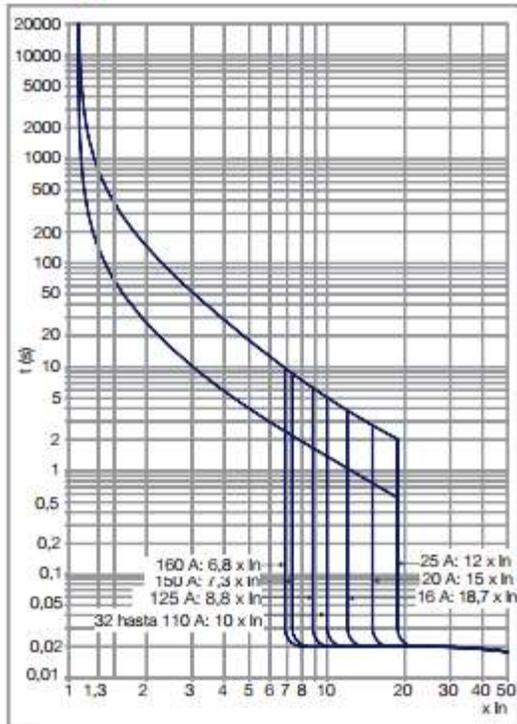
**Interruptores en Caja Moldeada para Protección de Circuitos de Distribución - 4 Polos**

**DWB160**

In	Corriente nominal (A)		Capacidad de interrupción de cortocircuito máxima Icu (kA)						4 polos referencia			
	Protección térmica ajuste de corriente		Protección magnética ajuste de corriente	220-240 V ca	380-415 V ca	440 V ca	460-500 V ca	525-550 V ca	660-690 V ca	Sin protección del neutro	Protección del neutro - 50%	Protección del neutro - 100%
	Mínima	Máxima										
<b>DWB160B - Termomagnético fijo</b>												
16	16	300	25	16	10	5	4	3	DWB160B16-4DX		DWB160B16-4DXT	
20	20	300	25	16	10	5	4	3	DWB160B20-4DX		DWB160B20-4DXT	
25	25	300	25	16	10	5	4	3	DWB160B25-4DX		DWB160B25-4DXT	
32	32	320	25	16	10	5	4	3	DWB160B32-4DX		DWB160B32-4DXT	
40	40	400	25	16	10	5	4	3	DWB160B40-4DX		DWB160B40-4DXT	
50	50	500	25	16	10	5	4	3	DWB160B50-4DX		DWB160B50-4DXT	
63	63	630	25	16	10	5	4	3	DWB160B63-4DX		DWB160B63-4DXT	
70	70	700	25	16	10	5	4	3	DWB160B70-4DX		DWB160B70-4DXT	
80	80	800	25	16	10	5	4	3	DWB160B80-4DX		DWB160B80-4DXT	
90	90	900	25	16	10	5	4	3	DWB160B90-4DX		DWB160B90-4DXT	
100	100	1000	25	16	10	5	4	3	DWB160B100-4DX		DWB160B100-4DXT	
110	110	1100	25	16	10	5	4	3	DWB160B110-4DX		DWB160B110-4DXT	
125	125	1100	25	16	10	5	4	3	DWB160B125-4DX		DWB160B125-4DXT	
150	150	1100	25	16	10	5	4	3	DWB160B150-4DX	DWB160B150-4DXP	DWB160B150-4DXT	
160	160	1100	25	16	10	5	4	3	DWB160B160-4DX	DWB160B160-4DXP	DWB160B160-4DXT	

**Curvas de Disparo del DWB160**

**DWB160\_D**



**Contactores**

## Características Técnicas

### Dados Generales

Referencia	CWMC9	CWMC18	CWMC25	CWMC32	CWMC50	CWMC65	CWMC80
Normas	IEC 60 947, UL						
Tensión nominal de aislamiento U <sub>i</sub> IEC 60 947 UL				1.000 V 500 V			
Tensión soportados a los impulsos U <sub>imp</sub>	5 kV					8 kV	
Frecuencia nominal de operación	25 - 400 Hz						
Grado de protección	Protección contra contacto directo frontal cuando actuado por un dedo de ensayo perpendicular (IEC 536)						
Circuitos principales	IP20			IP10			
Circuitos de control y contactos auxiliares	IP20						
Temperatura ambiente	+25 °C to +55 °C						
Temperatura de operación	-55 °C to +80 °C						
Temperatura de almacenado							
Altitud	Hasta 3.000 m						
Valores normales	3.000 hasta 4.000 m						
90% I <sub>n</sub> / 80% U <sub>n</sub>	4.000 hasta 5.000 m						
80% I <sub>n</sub> / 75% U <sub>n</sub>							
Categoría de sobretensión / grado de polución	III / 3						
Protección a la intemperie	Acc. IEC 60680-2						
Numero de polos de los circuitos principales	3						
Tensión nominal de operación U <sub>n</sub>	690 V					1.000 V	
Vida mecánica Ops x 10 <sup>6</sup>	10						
Vida eléctrica I <sub>n</sub> (AC-6b) Ops x 10 <sup>6</sup>	0,1						
Máximo de operaciones por hora	1 20 (1 operación por cada 30 segundos)						
Montaje	Tornillo o riel DIN 35 mm (DIN EN 50022)						

## Condensadores Trifásicos - UCWT

Potencia 0,37...20 (kvar)  
Tensión Nominal 208...240 (V)

Potencia 0,37...35 (kvar)  
Tensión Nominal 380...535 (V)



Condensadores trifásicos - UCWT <sup>1)</sup>										
Tensión (V)	50 Hz		60 Hz		Capacitancia (µF)	Serie <sup>2)</sup>	Referencia	Dimensiones Ø x H (mm)	Resistencia de descarga	Peso (kg)
	Potencia reactiva (kvar)	Corriente nominal In (A)	Potencia reactiva (kvar)	Corriente nominal In (A)						
208	0,37	1,0	0,45	1,2	9,1 x 3	D	UCWT0,5V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,51
	0,56	1,6	0,67	1,9	13,7 x 3	D	UCWT0,75V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,52
	0,74	2,1	0,89	2,5	18,3 x 3	D	UCWT1V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,54
	1,12	3,1	1,34	3,7	27,4 x 3	D	UCWT1,5V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,57
	1,49	4,1	1,79	5,0	36,5 x 3	D	UCWT2V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,59
	1,96	5,2	2,23	6,2	45,7 x 3	D	UCWT2,5V25 L16	60 x 211	Resistencia interna	0,73
	2,23	6,2	2,68	7,4	54,8 x 3	D	UCWT3V25 L16	60 x 211	Resistencia interna	0,76
	3,72	10,3	4,47	12,4	91,3 x 3	E	UCWT5V25 N20	75 x 225	3 x 120 kΩ / 3 W	1,51
	5,59	15,5	6,70	18,6	137 x 3	E	UCWT7,5V25 N22	75 x 285	3 x 56 kΩ / 3 W	1,81
	7,45	20,7	8,94	24,8	182,7 x 3	E	UCWT10V25 N22	75 x 285	3 x 56 kΩ / 3 W	1,81
	7,45	20,7	8,94	24,8	182,7 x 3	F	UCWT10V25 Q26	100 x 230	3 x 56 kΩ / 3 W	2,17
	9,31	25,8	11,17	31,0	228,4 x 3	E	UCWT12,5V25 Q24	85 x 360	3 x 39 kΩ / 3 W	2,97
	9,31	25,8	11,17	31,0	228,4 x 3	F	UCWT12,5V25 Q26	100 x 230	3 x 56 kΩ / 3 W	2,17
	11,17	31,0	13,41	37,2	274 x 3	E	UCWT15V25 Q24	85 x 360	3 x 39 kΩ / 3 W	2,99
	11,17	31,0	13,41	37,2	274 x 3	F	UCWT15V25 S26	116 x 230	3 x 39 kΩ / 3 W	2,69
	13,04	36,2	15,64	43,4	319,7 x 3	F	UCWT17,5V25 S28	116 x 290	3 x 27 kΩ / 5 W	3,50
14,90	41,4	17,88	49,6	365,4 x 3	F	UCWT20V25 S28	116 x 290	3 x 27 kΩ / 5 W	3,50	
220	0,42	1,1	0,50	1,3	9,1 x 3	D	UCWT0,5V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,51
	0,63	1,6	0,75	2,0	13,7 x 3	D	UCWT0,75V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,52
	0,83	2,2	1,00	2,6	18,3 x 3	D	UCWT1V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,54
	1,25	3,3	1,50	3,9	27,4 x 3	D	UCWT1,5V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,57
	1,67	4,4	2,00	5,2	36,5 x 3	D	UCWT2V25 L10	60 x 156	Resistencia interna	0,59
	2,08	5,5	2,50	6,6	45,7 x 3	D	UCWT2,5V25 L16	60 x 211	Resistencia interna	0,73
	2,50	6,6	3,00	7,9	54,8 x 3	D	UCWT3V25 L16	60 x 211	Resistencia interna	0,76
	4,17	10,9	5,00	13,1	91,3 x 3	E	UCWT5V25 N20	75 x 225	3 x 120 kΩ / 3 W	1,51
	6,25	16,4	7,50	19,7	137 x 3	E	UCWT7,5V25 N22	75 x 285	3 x 56 kΩ / 3 W	1,81
	8,33	21,9	10,00	26,2	182,7 x 3	E	UCWT10V25 N22	75 x 285	3 x 56 kΩ / 3 W	1,81
	8,33	21,9	10,00	26,2	182,7 x 3	F	UCWT10V25 Q26	100 x 230	3 x 56 kΩ / 3 W	2,17
	10,42	27,3	12,50	32,8	228,4 x 3	E	UCWT12,5V25 Q24	85 x 360	3 x 39 kΩ / 3 W	2,97
	10,42	27,3	12,50	32,8	228,4 x 3	F	UCWT12,5V25 Q26	100 x 230	3 x 56 kΩ / 3 W	2,17
	12,50	32,8	15,00	39,4	274 x 3	E	UCWT15V25 Q24	85 x 360	3 x 39 kΩ / 3 W	2,99
	12,50	32,8	15,00	39,4	274 x 3	F	UCWT15V25 S26	116 x 230	3 x 39 kΩ / 3 W	2,69
	14,58	38,3	17,50	45,9	319,7 x 3	F	UCWT17,5V25 S28	116 x 290	3 x 27 kΩ / 5 W	3,50
16,67	43,7	20,00	52,5	365,4 x 3	F	UCWT20V25 S28	116 x 290	3 x 27 kΩ / 5 W	3,50	

ALAMBRES Y CABLES THHN/THWN 90°C							
Calibre AWG o kcmil	No. Hilos	Clase Cableado	Diámetro Conductor (mm)	Espesor Aislamiento (mm)	Espesor Cubierta Nylon (mm)	Diámetro Sobre Cubierta (mm)	Peso Total Aprox (kg/km)
14	1	Sólido	1,63	0,38	0,10	2,73	24
12	1	Sólido	2,05	0,38	0,10	3,15	35
10	1	Sólido	2,59	0,51	0,10	3,95	56
8	1	Sólido	3,26	0,76	0,13	5,19	92
14	19	C	1,75	0,38	0,10	2,85	24
12	19	C	2,21	0,38	0,10	3,31	37
10	19	C	2,78	0,51	0,10	4,14	58
8	7	B	3,59	0,76	0,13	5,52	97
6	7	B	4,52	0,76	0,13	6,45	146
4	7	B	5,71	1,02	0,15	8,22	234
2	7	B	7,20	1,02	0,15	9,71	358
1	19	B	7,90	1,27	0,18	11,00	452
1/0	19	B	8,88	1,27	0,18	11,98	560
2/0	19	B	9,96	1,27	0,18	13,07	695
3/0	19	B	11,19	1,27	0,18	14,29	864
4/0	19	B	12,56	1,27	0,18	15,66	1077
250	37	B	14,18	1,52	0,20	17,87	1286
300	37	B	15,52	1,52	0,20	19,22	1529
350	37	B	16,78	1,52	0,20	20,48	1770
400	37	B	17,94	1,52	0,20	21,63	2011
500	37	B	20,04	1,52	0,20	23,74	2491

**Tabla 6. Parámetros dimensionales alambres y cables THHN/THWN 90°C.**

CAPACIDAD DE CORRIENTE (A)			
Calibre AWG o kcmil	TW 60°C	THW 75°C	THHN/THWN 90°C
14	20	20	25
12	25	25	30
10	30	35	40
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
2	95	115	130
1	110	130	150
1/0	125	150	170
2/0	145	175	195
3/0	165	200	225
4/0	195	230	260
250	215	255	290
350	260	310	350
500	320	380	430

Hasta tres conductores transportando corriente, en una canalización, cable o en enterramiento directo a una temperatura ambiente de 30°C

**Tabla 3. Tabla 310-16 NTC 2050 y NEC. Capacidad de corriente para conductores TW, THW y THHN/THWN 90°C.**

Intensidades que circulan por el circuito principal.

calculo de intensidad condensadores				
$I_c = Q/\sqrt{3} \cdot U$				
I <sub>c</sub> = corriente del condensador				
Q= potencia Var				
U= tensión nominal				
configuración	capacidad en VAr	Tensión en voltios (V)	$\sqrt{3}$	I <sub>c</sub> en amperios (A)
1	10000	229	1,73205081	25,2
2	20000	229	1,73205081	50,4

3	15000	229	1,73205081	38
4	40000	229	1,73205081	101
5	50000	229	1,73205081	126
6	55000	229	1,73205081	139
7	65000	229	1,73205081	164
8	45000	229	1,73205081	113

Cálculo de corrientes para la selección de contactores, interruptor automático y conductores circuitos secundarios.

intensidad circuitos secundarios de condensadores conectados en delta					
Circuito paso	# condensadores	capacidad en VARS	tensión en voltios (V)	$\sqrt{3}$	Ic en Amperios (A)
1	1	10000	229	1,73205081	25
2	1	10000	229	1,73205081	25
3	1	5000	229	1,73205081	13
4	1	10000	229	1,73205081	25
5	1	10000	229	1,73205081	25
6	2	15000	229	1,73205081	38
7	2	15000	229	1,73205081	38
8	2	15000	229	1,73205081	38

## ANEXO D: REPORTE DE FALLA

### REPORTE DE FALLA ATENCION DE EMERGENCIA Y MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO PORTICO MT GRANJA SANTA LUCIA

El día 12/11/2016 se presenta falla indeterminada en los circuitos de MT 13.2 KV motivo por el cual la granja queda totalmente sin la posibilidad de abastecerse de energía eléctrica, tanto por la alimentación externa (ESSA) como la interna de suministro por el generador de emergencia. Por este motivo se solicitó la atención por parte del ingeniero Carlos Prada especialista encargado de atender este tipo de eventos.

La falla antes mencionado ocasiono la pérdida total de tres pararrayos y afectación a dos cajas portafusibles (cañuelas), resultado de la evaluación realizada por el ingeniero siendo las 7 de la noche se procede a cambiar los 3 pararrayos y realizar un acople de emergencia de los cableados, para normalizar el servicio de energía ya que se requería de manera urgente realizar bombeo y tratamiento de agua para evitar desabastecimiento de esta, con este trabajo se soluciono transitoriamente la falla que no permitía alimentar el sistema eléctrico de BT.

para este trabajo el ingeniero suministra personal y 2 pararrayos de 15 KV 10KA.

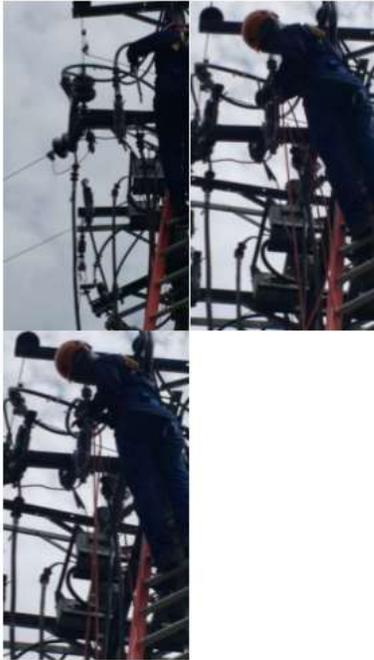


CAMBIO DE PARARRAYOS



PARARRAYOS QUEMADOS

13/11/2016 se reinician labores para realizar mantenimiento programado de cables XLP de MT y seccionador. adicional a estas labores se realiza el cambio de las cajas porta fusibles afectadas por falla, cambio de conductores puente de cajas porta fusibles a pararrayos y revisión del los conductores acometida principal de MT para descartar otras afectaciones.



INSTALACION CAJAS PORTAFUSIBLES ( CAÑUELAS)



CONDUCTOR XLP CON FALLA DE AISLAMIENTO



MANIOBRA DE CAMBIO DE CONDUCTORES XLP MT



INSTALACION DE TERMINAL PREMOLDEADO CONDUCTOR XLP



MANTENIMIENTO PREVENTIVO SECCIONADOR MT



INSTALACION DE PUENTES PARARRAYOS



INSTALACION DE TERMINAL PREMOLDEADO CONDUCTOR XLP



**CONDUCTORES PUENTE DE PARARRAYOS Y PARARRAYOS  
AFECTADOS POR LA FALLA**

para las labores el ingeniero suministra personal, 2 cajas porta fusibles completas (cañuelas), 2 kits de terminales pre moldeados, conectores bimetálicos y terminales de ojo

**OBSERVACIONES:** cuando se realizaba el mantenimiento preventivo a los conduits y cableados del equipo de medida se presento una falla en uno de los transformadores de potencial de la cual el ingeniero encargado estará informando su responsabilidad. debido a esta falla realiza conexión directa del servicio y realiza reporte a la ESSA para informar la falla el numero de reporte es el 1620823 recibido por la Srta. yurany Saldarriga siendo la 1:44 pm

por recomendación del ingeniero sería bueno realizar una revisión al generador de la planta ya que el corto se presento cuando esta alimentaba los circuitos.

reporte realizado por: DANIEL ZABALA

**Anexo E: Cálculos de factor económico por penalización y consumo.**

	Q KVars	precio unitario kVAr	P kW	50% P	diferencia P-Q	total distribución	contribución reactiva 10%	penalización total
mes 1	15180	\$107	11660	5830	9350	\$ 1.002.227	\$ 200.445	\$ 1.202.672
mes 2	10200	\$107	12200	6100	4100	\$ 439.479	\$ 87.896	\$ 527.375
mes 3	6600	\$107	9100	4550	2050	\$ 219.740	\$ 43.948	\$ 263.687
mes 4	15180	\$107	11660	5830	9350	\$ 1.002.227	\$ 200.445	\$ 1.202.672
mes 5	7200	\$107	10800	5400	1800	\$ 192.942	\$ 38.588	\$ 231.530
mes 6	15180	\$107	11660	5830	9350	\$ 1.002.227	\$ 200.445	\$ 1.202.672
mes 7	15180	\$107	11660	5830	9350	\$ 1.002.227	\$ 200.445	\$ 1.202.672
mes 8	12300	\$107	13000	6500	5800	\$ 621.702	\$ 124.340	\$ 746.042
mes 9	14000	\$107	11660	5830	8170	\$ 875.742	\$ 175.148	\$ 1.050.891
mes 10	15180	\$107	11660	5830	9350	\$ 1.002.227	\$ 200.445	\$ 1.202.672
mes 11	12450	\$107	10900	5450	7000	\$ 750.330	\$ 150.066	\$ 900.396
mes 12	13200	\$107	11660	5830	7370	\$ 789.990	\$ 157.998	\$ 947.988
total año	151850		137620	68810	83040	\$ 8.901.058	\$ 1.780.212	\$ 10.681.269

	penalizacio por año
año 1	\$ 10.681.269
año 2	\$ 11.749.396
año 3	\$ 12.924.336
año 4	\$ 14.216.769
año 5	\$ 15.638.446
año 6	\$ 17.202.291
año 7	\$ 18.922.520
año 8	\$ 20.814.772
año 9	\$ 22.896.249
año 10	\$ 25.185.874

