



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA

TEMA:

**Implementación de tres bancos de condensadores para el
mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos
Ecuatorianos S.A.**

AUTOR:

Cooper Florencia, Alan Xavier

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRICO MECANICO

TUTOR:

Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

Guayaquil, Ecuador

5 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Cooper Florencia, Alan Xavier, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico.

TUTOR

f. _____
Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
ING. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 5 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Cooper Florencia Alan Xavier

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos, previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 5 de marzo del 2020

EL AUTOR

f. _____
Cooper Florencia Alan Xavier



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Cooper Florencia Alan Xavier

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 5 de marzo del 2020

EL AUTOR:

f. _____
Cooper Florencia Alan Xavier

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento: [Tesis Alan Cooper](#) (D63705766)

Presentado: 2023-02-10 10:57:06:00

Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analisis.orkund.com

Mensaje: Tesis Alan Cooper [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 28 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

ORLANDO PHILCO ASQUI (orlando.philco)

TRN: Optima De Capacitores En Redes De Distribucion Para Mejorar La Eficiencia Energ...

<https://doi.org/10.4471/27-Comparacion-de-estancos-reactivos.html>

<https://nirxive.inmss.edu.cu/bitstream/handle/112456706/38857/yargasArgote.pdf>

Fuentes alternativas

[TESIS definitiva 21-02-2018 - H510001](#)

3 Advertencias Reiniciar Exportar Compartir

FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA TEMA: Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos AUTOR: Cooper Florencia, Alan Xavier

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELECTRICO MECANICO TUTOR: (Apellidos, Nombres completos) Guayaquil, Ecuador (día) de (mes) del (año)

FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA CERTIFICACION Certificamos que el presente trabajo de titulacion, fue realizado en su totalidad por Cooper Florencia, Alan Xavier, como requerimiento para la obtencion del titulo de Ingeniero Electrico Mecanico TUTOR (A) F... (Apellidos, Nombres completos) DIRECTOR DE LA CARRERA F...

Apellidos, Nombres completos) Guayaquil, a los (día) del mes de (mes) del año (año)

FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, Cooper Florencia Alan Xavier DECLARO QUE: El Trabajo de Titulación, implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos

Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería Eléctrico-Mecánica titulado: **Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos**. del estudiante. **Cooper Florencia, Alan Xavier** el análisis de anti plagio indica el 1% de coincidencias.

Atentamente

Ing. Orlando Philco A.

Revisor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todo lo que me han brindado ya que ha sido muy generoso en el trayecto de mi vida.

A mi mamá María de Lourdes Florencia Game y a Ken Wohlford que me dieron todo el apoyo incondicional para poder culminar este gran paso en mi vida, inculcándome valores de siempre culminar mis objetivos pese a los obstáculos encontrados en el camino.

A mi enamorada Andrea Zambrano Sion que estuvo en todo el proceso de estudio y culminación de esta meta dándome todo el apoyo para superar las etapas más difíciles.

A mis tíos Javier Florencia Game y María Soledad Florencia Game, que me apoyaron durante mi carrera universitaria, a mi tío Guzzy y Cristina, por haberme abierto las puertas de su casa para poder empezar mi carrera universitaria.

A mis primos Jorge y Doménica por los tiempos de convivencia y apoyo.

A mi abuela María Laura Game Castro por su gran cariño y apoyo incondicional.

Y mi agradecimiento a todas esas personas que me apoyaron con sus consejos y conocimiento para poder mantenerme estudiando y trabajando.

A la empresa PASTICOS ECUATORIANOS S.A. (TONICORP) por permitir desarrollar el proyecto de mi tesis las redes de distribución de la planta.

A mi tutor y a mi director de carrera por la colaboración y ayuda brindada en cada consulta realiza para realizar este trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A mi madre porque sin el apoyo incondicional esto, no hubiera sido posible sin el sacrificio que realizaba día a día para sacarme adelante, este trabajo se ve reflejado esos largos años de estudios y consejos, para por fin verme cumplir una de mis grandes metas personal.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD TECNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERIA ELECTRICO MECANICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. HERAS SÁNCHEZ ARMANDO MIGUEL, M.SC.
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

ING. PHILCO ASQUI LUIS ORLANDO
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

ING. PACHECO BOHORQUEZ, HECTOR IGNACIO, M.Sc.
OPONENTE

ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	2
1.1 Justificación y Alcance	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4 Tipo de Investigación	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Metodología	4
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	5
2.1. Industria del plástico.....	5
2.2. Información de la empresa.....	5
2.2.1. Política de calidad y sus objetivos	6
2.2.2. Misión	7
2.2.3. Visión.....	7
2.2.4. Ubicación de la Planta	7
2.2.5. Ventajas de ubicación de la empresa	8
2.2.6. Productos	8
2.3. Plástico	8
2.3.1. Historia del plástico	8
2.3.2. Termoplástico.....	9

2.3.3.	Termoestables	10
2.3.4.	Codificación de plásticos	11
2.3.5.	Industria plástica	12
2.3.6.	Proceso de Extrusión	12
2.3.7.	Proceso de inyección	14
2.3.8.	Proceso de soplado	16
2.3.9.	Proceso de extrusión y termoformado	18
2.3.10.	Termoformado	18
2.4.	Subestación eléctrica	19
2.4.1	Transformador de potencia	20
2.4.2	Tableros	21
2.5.	Líneas de distribución	22
2.5.1	Conductores	22
2.5.2	Aisladores	22
2.5.3	Protecciones eléctricas	22
2.6.	Triangulo de potencia	22
2.6.1	Potencia Activa	23
2.6.2	Potencia reactiva	23
2.6.3	Potencia aparente	24
2.7.	Factor de Potencia	25
2.7.1	Causas y efectos de un bajo factor de potencia	25
2.8.	Corrección del factor de potencia en media tensión	26
2.8.1	Banco de capacitores	26

2.8.2	Instalación de bancos de capacitores	26
2.8.3	Capacitores.....	27
2.8.4	Capacidades Estándar de los Capacitores	27
2.8.5	Bancos con conexión estrella puesta a tierra	28
2.8.6	Bancos en conexión estrella no conectados a tierra	29
2.9.	Equipos de medición en media tensión	30
2.9.1	Equipo megger MIT1525	31
2.9.2	Equipo METREL MI2088.....	31
2.9.3	Cámara termo gráfica industrial FLUKE TI125.....	32
2.9.4	Equipo PEAK METER.....	33
2.9.5	Equipo AMP LITEWIRE	34
2.9.6	Equipo TRAX – Sistema multifuncional para prueba de subestaciones	35

Capítulo 3: Análisis de oportunidad de mejora de la implementación del proyecto del mejoramiento del factor de potencia en media tensión. ...37

3.1.	Antecedentes.....	37
3.2.	Problema actual	37
3.3.	Marco legal	38
3.4.	Cálculo de compensación reactiva	39
3.5.	Dimensionamiento de capacitores	42
3.5.1	Banco de 3x100KVAR.....	42
3.5.2	Banco 3x200KVAR.....	43
3.6.	Planificación de trabajo.....	44
3.7.	Normas y estándares de aplicación.....	45

3.8. Costo-beneficio de implementación.....	46
Capítulo 4: Propuesta y resultado de implementación	49
4.1. Antecedentes	49
4.2. Elementos de los bancos de Capacitores	49
4.3. Características de los elementos	49
4.3.1 Conductores	49
4.3.2 Caja porta fusible con rompe carga 15KV.....	50
4.3.3 Tira fusible tipo K	50
4.3.4 Banco de Capacitores 100 KVAR.....	51
4.3.5 Banco de Capacitores 200 KVAR.....	51
4.3.6 Pararrayos	52
4.4. Costo de Implementación.....	52
4.5. Resultado Implementación.....	53
Conclusiones.....	54
Recomendaciones.....	55
Referencias	56
Anexos	58

Índice de grafico

Ilustración 1: Fachada PLASTICOS ECUATORIANOS S.A.	7
Ilustración 2: Estructura molecular Termoplástico	10
Ilustración 3:Simbología de los plásticos	12
Ilustración 4:Esquema de una extrusora	13
Ilustración 5: Extrusora	13
Ilustración 6: Maquina Inyectora	14
Ilustración 7: Maquina Inyectora Husky	15
Ilustración 8: Proceso de Inyección	15
Ilustración 9: Proceso de Moldeo por Soplado	17
Ilustración 10: Maquina Extrusion-Soplado KCC-25	17
Ilustración 11: Línea de extrusión de laminas	18
Ilustración 12: Proceso Termoformado	19
Ilustración 13:Subestación eléctrica	19
Ilustración 14: Principio de funcionamiento de un transformador	21
Ilustración 15: Triangulo de potencia	23
Ilustración 16: Capacidades estándar según IEEE 18-2002.....	28
Ilustración 17: Bancos de capacitores en Shunt conectados a tierra.	29
Ilustración 18: Bancos de capacitores en Shunt sin conexión a tierra.	30
Ilustración 19: Equipo Megger MIT152	31
Ilustración 20: Equipo METREL MI 2088	32
Ilustración 21: Equipo FLUKE TI125	33

Ilustración 22: PEAK METER	34
Ilustración 23: EQUIPO AMP LITEWIRE	35
Ilustración 24: Equipo TRAX.....	36
Ilustración 25: Factor de potencia antes de la compensación	37
Ilustración 26: Triangulo de potencia actual.....	40
Ilustración 27: Triangulo de potencia final corregido	42
Ilustración 28: Datos de placa de banco de Capacitores 200KVAR.....	43
Ilustración 29: Datos de placa de banco de Capacitores 200KVAR.....	44
Ilustración 30: Penalización por bajo factor de potencia	48
Ilustración 31: Costo benefició	48
Ilustración 32: Factor de potencia Corregido	53

Índice de tablas

Tabla 1: Codificación internacional para los distintos plásticos	11
Tabla 2: Planificación de actividades	45
Tabla 3: Conglomerado de pago facturación 2018-2019.....	46
Tabla 4: Iniciativa de ahorro	47
Tabla 5: Elementos del sistema	49
Tabla 6: Conductores.....	50
Tabla 7:Caja porta fusible con rompe carga 15 KV	50
Tabla 8: Tira fusible tipo K	51
Tabla 9: Banco de Capacitores 100KVAR	51
Tabla 10: Banco de capacitores 200KVAR.....	52
Tabla 11: Pararrayos.....	52
Tabla 12: Listado de materiales y mano de obra	53

RESUMEN

En la empresa Plásticos Ecuatorianos S.A. Se está pagando una penalización por bajo factor de potencia y adicional CNEL envió una notificación de quitarnos el suministro de energía eléctrica, por estar incumplimiento en la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica, debido a esta situación ha motivado a realizar el proyecto de “Implementación de 3 banco de capacitores en media tensión, para el mejoramiento del factor de potencia y poder cumplir con lo que estipula la ley”. En el desarrollo primero se recolecta información respecto a las maquinarias y equipos que trabajan con el sistema; luego se realiza una recolección de información sobre los consumos promedios y el factor de potencia promedio, para poder realizar un correcto dimensionamiento de los equipos instalado en la empresa Plásticos Ecuatorianos, en la cual se evidencia que tiene que realizar una solución rápida y eficaz para cumplir con la ley. Por lo que se propone la instalación de los bancos de capacitores en media tensión para la corrección inmediata del bajo factor de potencia. En el proyecto se utilizó investigación exploratoria, científica y descriptiva; exploratoria al realizar las mediciones a las líneas y descargar historiales de consumo de los medidores ION; científica al hacer los cálculos del correcto dimensionamiento de los equipos a adquirir; y descriptiva para comunicar adecuadamente la investigación.

Palabras Claves: Medidor ION, Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica, capacitores, Media tensión, CNEL

ABSTRACT

In the company Plásticos Ecuatorianos S.A. A penalty is being paid for low power factor and additional CNEL sent a notification to take away the electricity supply, for being breach in the Organic Law of Public Service of Electric Power, due to this situation has motivated to carry out the project of “Implementation of 3 bank of capacitors in medium voltage, for the improvement of the power factor and to be able to comply with what the law stipulates”. In the development, information is first collected regarding the machinery and equipment that work with the system; Then a collection of information on the average consumption and the average power factor is carried out, in order to perform a correct sizing of the equipment installed in the Plásticos Ecuatorianos S.A. company, in which it is evidenced that you have to make a quick and efficient solution to comply with the law Therefore, the installation of capacitor banks in medium voltage is proposed for the immediate correction of the low power factor. The project used exploratory, scientific and descriptive research; exploratory when measuring the lines and downloading consumption histories of the ION meters; scientific when calculating the correct sizing of the equipment to be acquired; and descriptive to adequately communicate the investigation.

Keywords: ION Meter, Organic Law of Electric Power Public Service, capacitors, Medium voltage, CNEL

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y Alcance

En la empresa Plásticos Ecuatorianos se realizó el proyecto, el proyecto fue planteado entre el departamento de ingeniería, personal técnico y el proveedor de energía eléctrica, enfocándose en el cambio de 2 bancos de capacitores que se encuentran en las líneas de media tensión y se encuentran deshabilitados. Este proyecto será realizado en la ciudad de Guayaquil en el Km 8 ½ Vía a Daule.

De acuerdo con el proyecto planteado se le indico a la gerencia que la planta tiene un año con el factor de potencia bajo, lo que ocasiona que la empresa eléctrica nos cobre una penalización por tener un factor de potencia bajo. Con fecha 23 de octubre del 2019 la empresa eléctrica envió una notificación de suspensión del suministro de energía eléctrica debido a que existe un bajo factor de potencia durante el periodo 2018-2019, en el cual se nos da 1 mes de plazo improrrogable para mejorar el factor de potencia a 0.92 o más.

Se considera ahorrar alrededor de \$6500.00 mensuales a la factura de energía eléctrica, mientras que el costo de implementación es de \$14500.00, el proyecto recuperaría la inversión en 3 meses y se mantiene el suministro de energía.

El proyecto comprende la instalación de 2 banco de capacitores de 3x100KVAR para el ramal de expandido y 1 banco de capacitores 3x200KVAR para el ramal inyección, monitoreo del comportamiento del factor de potencia con un equipo analizador de redes. Termografía de la instalación y revisión de parámetros del medidor propio y de CNEL, para garantizar la efectividad del proyecto.

1.2 Planteamiento del problema

La implementación de los bancos de capacitores en los ramales de media tensión le permitirá a la empresa tener un ahorro monetario, debido al

bajo factor de potencia, el cual es sancionado mediante la ARCONEL, adicional en la Ley Orgánica del servicio Público de Energía Eléctrica, es una obligación el utilizar eficientemente la energía eléctrica, en la que te indica que el incumplimiento puede llevar a cabo una suspensión del suministro de energía hasta corregir las desviaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar 2 bancos de capacitores en los ramales de 1500 KVA Aprox. (Inyección) y 1000 KVA Aprox. (Expandido), diseñando los bancos, con el fin de mejorar el factor de potencia de la planta y mantener el suministro de energía eléctrica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el cálculo del costo/beneficio de la implementación de banco de capacitores en media tensión.
- Corregir el bajo factor de potencia
- Cumplir con el reglamento de la ARCONEL
- Comparar el antes y el después de la implementación

1.4 Tipo de Investigación

El trabajo actual de investigación se fundamenta especialmente en el tipo científico que se define como la sucesión de pasos que nos llevan a la exploración de conocimientos mediante la aplicación de métodos y técnicas.

Para realizar este proyecto se utilizó investigación exploratoria, científica y descriptiva.

Se realizó una investigación exploratoria al realizar mediciones en las líneas de media tensión y obtener la información para poder realizar la corrección del factor de potencia y consolidar los pagos realizados por penalizaciones.

Científico, al tomar los promedios de las mediciones del periodo 2018-2019 y utilizarlos para hacer el cálculo del dimensionamiento de los equipos adecuado para cumplir con lo que exige la Ley, que permitirá definir la rentabilidad de la realización del proyecto y asegurando el cumplimiento de la normativa local.

Es explicativo ya que este tipo de investigación tiende a describir las causas que están detrás del proyecto, en la implementación que se va a realizar se debe tener en cuenta los pros y los contras de realizar la corrección del factor de potencia en media tensión, ya que el proyecto se lo ejecutara, por lo tanto, los componentes del banco de condensadores deben cumplir con las especificaciones técnicas requeridas para poder mejorar el factor de potencia a más de 0.92.

1.5 Hipótesis

Los bancos de capacitores generarán ahorro por pago de penalizaciones y mantendrán la continuidad del suministro de energía eléctrica.

1.6 Metodología

La metodología de investigación está basada en el análisis y funcionamiento de la variable del consumo de los dos ramales de la planta para poder mejorar el factor de potencia y generar un ahorro a la empresa por dejar de pagar multas a CNEL y haber cumplido con los requerimientos legales, a su vez el proyecto se enfocará en disminuir los tiempos de paralización a todas las actividades productivas y así poder cumplir con los requerimientos de todos los clientes y consumidores.

Para lograr lo planteado se debe ingresaren el campo y conocer el sitio donde se va a desarrollar el proyecto, inspeccionando el área donde se van a realizar las actividades y tener información sobre las herramientas técnicas que van a necesitar para las mediciones e instalación de los bancos y realizar un análisis para cumplir con los objetivos y el supervisor del área que valide los resultados de la implementación.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1. Industria del plástico

La industria plástica tiene un efecto fundamental en la economía: Los productos que actualmente se encuentran en el uso cotidiano ya se de consumo personal (ropa, muebles, artículos de oficina, utensilios de cocina, entre otros) o para las actividades productivas, como la construcción, las comunicaciones, el transporte, el almacenamiento. La versatilidad del plástico permite su incorporación a cualquier proceso productivo o producto final, razón por la cual es innegable que en la actualidad el mercado de los productos plásticos tiene un lugar sobresaliente en el conjunto de la economía (Pérez, 2014, p. 1).

Este sector económico incluye las actividades que tienen como insumos las resinas termoplásticas, modificando su forma a través del calor. El productor petroquímico suministra esta materia prima en forma de “pellet”. Esta materia prima al ser sometida a una fuente de calor cambia a estado líquido para luego ser sometidos a varios procesos alternativos (Ramal, 2003, p. 4)

El sector plástico elabora productos a través de la transformación de las resinas de la materia prima que tiene origen petroquímico, por lo que varias industrias dependen de estos productos, ya que el plástico suele ser un semi elaborado que sirve de insumo para otros procesos de fabricación, así como también los envases de plásticos o materiales para construcción, electricidad, electrónica y medicina, etc. (Ecoplas, 2017).

2.2. Información de la empresa

El 17 de octubre de 1967 en la ciudad de Guayaquil, el señor Francisco Alarcón Fernández fundó la empresa Plásticos Ecuatorianos S.A., ubicada en el Km.8½ vía Daule. Al inicio la empresa contaba con una sola máquina en la línea de inyección, modelo Plastiniector V308 de procedencia italiana y con moldes únicamente para fabricar muñecas (Tonicorp, 2019).

La empresa paulatinamente fue adquiriendo mayor cantidad de maquinarias para ampliar el negocio, esta maquinaria en parte era usada y nueva para ponerla en funcionamiento y así también fue adquiriendo moldes de diferentes tipos de artículos y diferentes procesos como el soplado, inyección, termoformado y extrusión, adicional a esto amplió su oferta de servicios con impresión en envases industriales y descartables. (Tonicorp,2019)

Luego de más de 50 años, Plásticos Ecuatorianos S.A. sigue en busca de la excelencia y liderazgo, esto lo evidencia con su compromiso, constante innovación y adquisición de nuevas tecnologías, maquinarias de última generación, personal altamente motivado y capacitado, que opera en un clima laboral de respeto. Los productos que entrega la empresa son innovadores y de alta calidad, por lo que se ha hecho acreedora a varios reconocimientos a nivel nacional e internacional (Tonicorp, 2019).

Desde 2011 Plásticos Ecuatorianos S.A. forma parte del grupo corporativo Holding Tonicorp, conformado además por las empresas Toni, Topsy y Dipor, el holding es parte de Arca Continental y The Coca Cola Company (Tonicorp, 2019).

2.2.1. Política de calidad y sus objetivos

La política de calidad de Plásticos Ecuatorianos S.A., está permanentemente orientada a buscar el liderazgo en la fabricación y venta de envases industriales y artículos descartables; su compromiso es entregar productos y servicios de calidad para satisfacer las necesidades de los clientes y consumidores, generando el máximo valor a sus colaboradores, accionistas y grupos de interés (Tonicorp, 2019).

Plásticos ecuatorianos está enfocado en el mejoramiento continuo de sus procesos de forma rentable sustentable con el medio ambiente, a través de la innovación e incorporación de nuevas tecnologías y el desarrollo de su recurso humano basada en la norma ISO 9001:2008 y una dirección estratégica técnica (Tonicorp, 2019).

Los objetivos de calidad que se ha planteado la empresa son (Tonicorp, 2019):

- Incrementar la satisfacción del cliente.
- Cumplir adecuadamente con los pedidos solicitados.
- Disminuir los reclamos.
- Minimizar el producto no conforme.
- Mejorar el clima laboral.

2.2.2. Misión

La misión de TONICORP es: “Generar el máximo valor para nuestros clientes, colaboradores, comunidades y accionistas, satisfaciendo en todo momento y con excelencia las expectativas de nuestros consumidores” (Tonicorp, 2019).

2.2.3. Visión

La visión de TONICORP es: “Ser líderes en todos los mercados en que participamos, en cuanto al consumo de envases para bebidas y alimentos, de forma rentable y sustentable”.

2.2.4. Ubicación de la Planta

Como se detalla en el numeral 2.2, la empresa TONICORP (Centro Operaciones Plásticos), donde se ha realizado el trabajo de ingeniería en la implementación de bancos de capacitores en las líneas de media tensión, está ubicada en Ecuador, cantón Guayaquil de la provincia del Guayas, en el Km. 8.5 vía Daule frente a la parada de buses del consorcio Metro vía.



Ilustración 1: Fachada PLASTICOS ECUATORIANOS S.A.
Elaborado por: Autor.

2.2.5. Ventajas de ubicación de la empresa

La empresa cuenta con las siguientes ventajas debido a su ubicación:

- Tiene accesos directos a las autopistas y vías donde se encuentran ubicadas la mayor cantidad de industrias en Guayaquil, lo que optimiza los tiempos de entrega de los productos y minimiza los costos de transporte por movilizaciones.
- Al estar en un área industrial se tiene mayor facilidad de solucionar los problemas con los proveedores y así disminuir tiempos de paralizaciones no programadas por daños a máquinas, equipos o infraestructura.

2.2.6. Productos

Plásticos Ecuatorianos S.A. actualmente produce unos 90 productos pertenecientes a las líneas: platos y reposteros, contenedores de comida, bandejas, vasos, tarrinas, cubiertos y sorbetes, productos térmicos, envases, tambores, baldes y productos agroindustriales (Plásticos Ecuatorianos S.A., 2018).

2.3. Plástico

2.3.1. Historia del plástico

El invento del primer derivado del plástico surge es un concurso en 1860, realizado por el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collard, el evento como premio al primer lugar, ofrecía una recompensa de 10000 dólares a quien elaborara un sustituto del marfil natural, para destinarlo al uso en la fabricación de bolas de billar. El inventor norteamericano John Wesley Hyatt desarrolló el celuloide, disolviendo celulosa (Material Natural), en una solución de alcanfor y etanol. Este experimento no quedó ganador en el concurso, pero desarrolló un producto muy comercial, que sería vital para el desarrollo de la industria cinematográfica del siglo XIX. (MatyPro, 2012, p. 5)

En 1909, se sintetizó el un polímero de gran interés comercial, compuesto por moléculas de fenol y formaldehído, esto fue desarrollado por el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland, en la

cual bautizo este experimento como baquelita y fue el primer plástico totalmente sintético de la historia, fue una de las primeras resinas sintéticas que se descubrieron, y así fue como revolucionaron la tecnología iniciando la era del plástico. Durante el siglo XX el uso del plástico tuvo un incremento, ya que empezó a sustituir a otros materiales de uso doméstico, industrial y comercial. (MatyPro, 2012, p. 5)

En 1919, el químico alemán Herman Staudinger, produjo uno de los acontecimientos que marcaría el desarrollo en los materiales plásticos, al aventurarse de que estos estaban compuestos por moléculas gigante o también conocida como macromoléculas , estos esfuerzos realizados por probar tales afirmaciones, se iniciaron diferentes investigaciones científicas que tuvieron como resultado enormes avances en esta parte de la química del plástico.(MatyPro, 2012, p. 6)

2.3.2. Termoplástico

El termoplástico es un material que a temperatura ambiente es rígido y cuando es sometido a una temperatura este se vuelve líquido y es deformable y se vuelve a endurecer cuando este se enfría. Los termoplásticos en su mayoría son polímeros con un alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas débiles Van der Waals (Polietileno), otros con fuertes interacciones dipolo-dipolo con enlaces de hidrogeno, o incluso anillos aromáticos apilados como el poliestireno. (MatyPro, 2012, p. 7)

La diferencia entre un polímero termoplástico y uno termoestable es que después de ser sometidos a unas elevadas temperaturas y moldearse, estos pueden volver a ser sometidos al calor y formar otros objetos, ya que en los termoestables o termo duros su forma después del proceso de enfriamiento no cambia y este es preferible incinerarlo. Sus propiedades físicas son modificadas gradualmente si se funden y se moldean varias veces. (MatyPro, 2012, p. 7)



Ilustración 2: Estructura molecular Termoplástico

Fuente: (MatyPro, 2012, p. 7)

El grupo de los termoplásticos es de los más utilizados. Su estructura molecular está dispuesta libremente sin entrelazarse. Debido a esta estructura al ser calentada tiene a reblandecerse y poder adquirir la forma deseada, la cual conservara después del proceso de enfriamiento.

Los principales materiales son:

- a) Resinas celulósicas: Derivado de la celulosa, el material tiene base orgánica de la parte leñosa de las plantas. Pertenece a este grupo el rayón.
- b) Polietilenos y derivados: La materia prima es el etileno, obtenido en el proceso de refinamiento del petróleo, que como resultado del procesamiento se obtienen diferentes monómeros como, por ejemplo: acetato de Vinilo, alcohol vinílico, cloruro de vinilo, etc. También pertenece a este grupo el PVC, poliestireno, etc.
- c) Derivados de las proteínas: Los pertenecientes a este grupo son el nailon y el perlón, derivado de las diamidas.
- d) Derivados del caucho: Los ejemplos de este material son los polímeros de caucho.

2.3.3. Termoestables

El material termoestable tiene como su propiedades que una vez que se ha realizado el proceso de calentamiento-fusión y formación-solidificación, se convierte en un material rígido y estable que no vuelve a poder ser fundido(MatyPro, 2012, p. 12).

De esta estructura se producen los siguientes materiales:

- a) Polímeros del fenol: Son plásticos duros, insolubles e infusibles, pero, si durante su fabricación se emplea un exceso de fenol, se obtienen termoplásticos:
- Resinas epoxi.
 - Resinas melánicas.
 - Baquelita.
- b) Amino plásticos: Polímeros de urea y derivados. Pertenece a este grupo la melamina.
- c) Poliésteres: Resinas procedentes de la esterificación de polialcoholes,
- d) que suelen emplearse en barnices. Si el ácido no está en exceso, se obtienen termoplásticos.

2.3.4. Codificación de plásticos

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos, se usa un sistema de codificación que se muestra en la Tabla 1. Cada tipo plástico tiene su simbología internacional, para su proceso de reciclaje y poder clasificar por material específico. Con el objetivo principal de una fácil recolección de estos materiales y poder reciclar eficientemente (MatyPro, 2012, p. 19).

El código del material es reconocido por un numero para poder identificar a los diferentes polímeros, el número no tiene relación con que a mayor es el número más complejo es reciclar, estos números tienen el fin de identificar los diferentes tipos de materiales (MatyPro, 2012, p. 19).

Tabla 1: Codificación internacional para los distintos plásticos

Codificación internacional para los distintos plásticos.							
Tipo de plástico:	Polietileno Tereftalato	Polietileno de alta densidad	Policloruro de vinilo	Polietileno de baja densidad	Polipropileno	Poliestireno	Otros
Acrónimo	PET	PEAD/ HDPE	PVC	PEBD/ LDPE	PP	PS	Otros
Código	1	2	3	4	5	6	7

Elaborado por: Autor.



Ilustración 3: Simbología de los plásticos
Fuente: (MatyPro, 2012, p. 19)

2.3.5. Industria plástica

El plástico hoy en día es uno de los materiales que más están siendo utilizados para el desarrollo de diferentes tipos de productos, ofreciendo características y propiedades que otros materiales no pueden brindar. Los plásticos son aquellos materiales que, compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear y pueden modificar su forma de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura. Un elemento plástico, por lo tanto, tiene características diferentes a un objeto elástico.

Por lo general, los plásticos son polímeros que se moldean a partir de la presión y el calor. Una vez que alcanzan el estado que caracteriza a los materiales que se suelen denominar plásticos, resultan bastante resistentes a la degradación y, a la vez, son livianos. De este modo, los plásticos pueden emplearse para fabricar una amplia gama de productos.

2.3.6. Proceso de Extrusión

El proceso de extrusión del plástico es mediante la fundición del pellet plástico (materia prima), en el cual este pellet es sometido a temperaturas superiores a los 200°C, este se derrite, pasando por las diferentes zonas del tornillo, en la sección de alimentación donde ingresa el pellet plástico y mediante la fricción en la sección compresión por la rotación del tornillo en el

interior del túnel, sometiendo al pellet a su temperatura de fundición, para luego ser introducido en un molde cilíndrico refrigerado, para solidificar este material y formar una capa delgada y uniforme. Este proceso es utilizado como film para empaque, también surgen del mismo laminado uniforme las tuberías plásticas, sorbetes, etc. (Rossa Sierra, 2011)

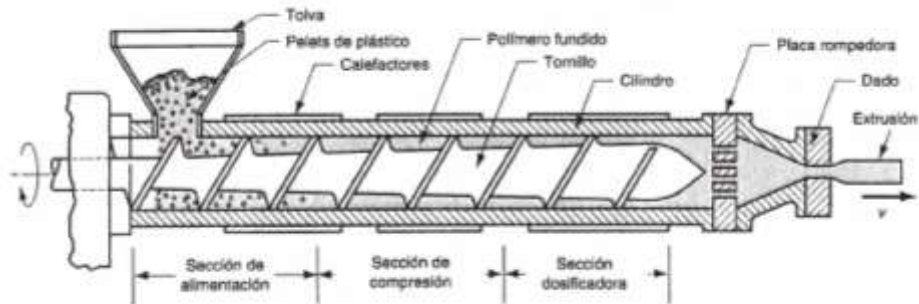


Ilustración 4: Esquema de una extrusora
Fuente: (Rossa Sierra, 2011)

Toda extrusora de un sólo tornillo incluye los siguientes componentes:

1. Cilindro y zona de alimentación
2. Mecanismos de calentamiento y enfriamiento del cilindro
3. Sistemas de control de temperatura del molde y del barril
4. Tornillo
5. Caja reductora
6. Motor
7. Base

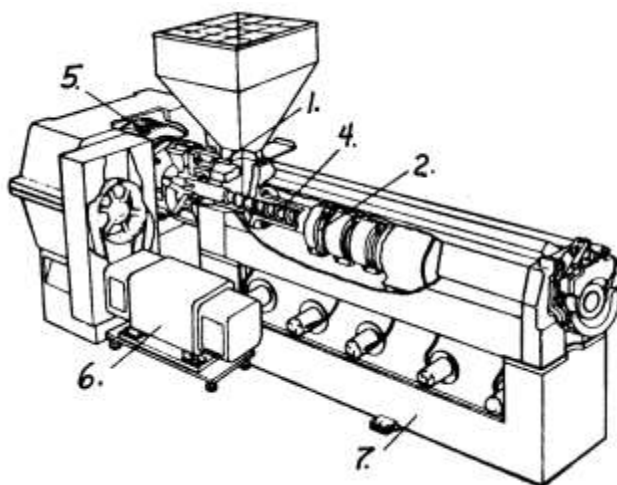


Ilustración 5: Extrusora
Fuente: (Rave, s. f., p. 4)

2.3.7. Proceso de inyección

En la figura 6 se puede observar las partes de una inyectora que está compuesta por un sistema de cierre que tiene como componente principal los moldes y un sistema de inyección donde se inyecta el plástico al molde para dar un producto final o un semi elaborado.

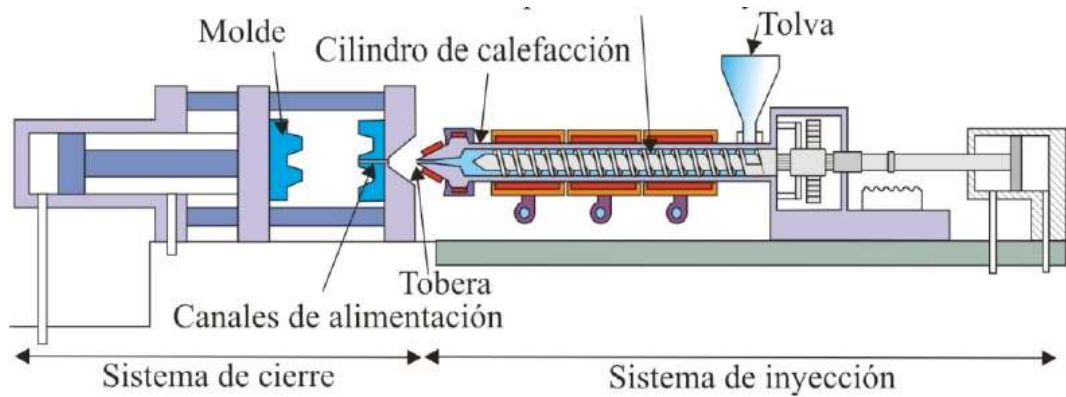


Ilustración 6: Máquina Inyectora

Fuente:(Beltran & Marcillo, 2012, p. 178)

En el proceso de inyección de un artículo consiste en plastificar y homogenizar con el calor generado en el interior del tornillo mediante la fricción, que es alimentado por una tolva con pellets plástico(materia prima), en algunos casos la materia prima debe ser secada o deshumificada antes de ser utilizado, el cual ingresa en la garganta del tornillo y mediante la rotación del tornillo este empieza desplazarlo en su interior hasta llegar a la boquilla del tornillo que tendrá contacto con el bebedero del molde donde se inyectara el plástico fundido mediante presión a las cavidades del molde, en el cual mediante la refrigeración, se enfriara y mientras se está enfriando el plástico, al mismo tiempo está trabajando el sistema de cierre de prensa de la máquina que consiste la fuerza de cierre entre una parte fija y una móvil mediante presión hidráulica en un cilindro.

Por otro lado simultáneamente se sigue inyectado material hasta llenar de material las cavidades, y dará un artículo moldeado, que luego tendrá que ser expulsado, mediante la apertura de las placas porta molde, para una buena formación del producto es necesario que la presión de inyección sea o menor a la presión de cierre de prensa y en la punta del tonillo de infección tiene que tener una válvula de no retorno para que cuando se complete de

material la cavidad, este no se regresara al tornillo,. Los artículos que generan en este proceso diversas aplicaciones como para el uso doméstico, industrial y comercial.(Alejandre, 2007, p. 9)



Ilustración 7: Maquina Inyectora Husky
Elaborado por Autor

En esta imagen se puede observar cómo se llena la cavidad del molde con material hasta llenarlo y una vez que este material se solidifique por la refrigeración, este producto será expulsado.

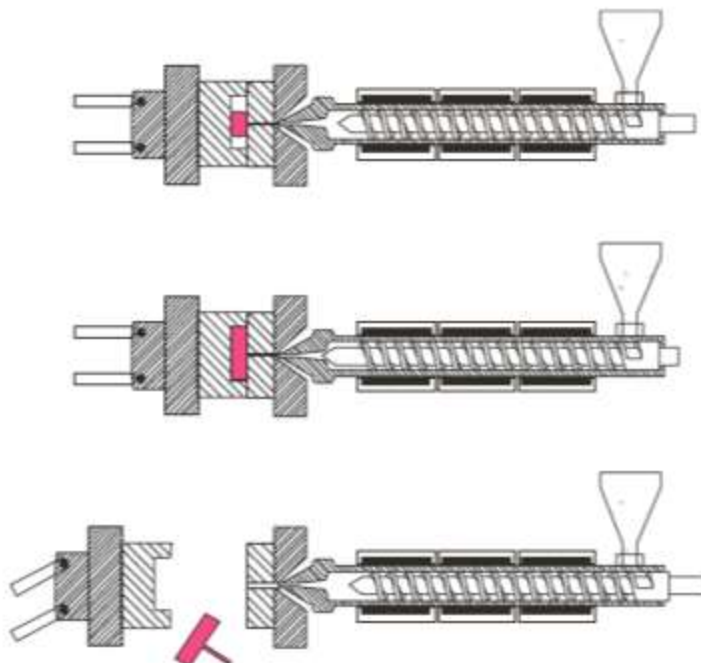


Ilustración 8: Proceso de Inyección
Fuente:(Beltran & Marcillo, 2012, p. 179)

2.3.8. Proceso de soplado

El moldeo por soplado es responsable de una parte sustancial de la producción total de los productos plásticos. La fabricación de cuerpos huecos presenta problemas casi inevitables para la técnica de inyección de plásticos, que es la más extendida. Por ello, fuera de la técnica de moldeo rotacional que resulta lenta para la producción necesaria de envases y otros productos similares, se ha acudido a tecnologías multi-fase, en las que se fabrica primero un material tubular mediante extrusión o inyección y luego se modifica su forma bajo temperatura mediante la inyección de aire en un molde hueco cerrado frío, solidificándose el plástico en su forma definitiva al contacto con sus paredes. (Capella,1998)

Teniendo en cuenta esto, el moldeo por soplado es una técnica cuyo objetivo es formar objetos termoplásticos huecos. En general, todos los procesos de moldeo por soplado consisten en obtener una preforma, que es el elemento tubular, fijarla dentro de un molde de soplado y, a una temperatura específica de cada material para que tenga consistencia suficiente, inyectar aire en su interior para que se adapte a las paredes del molde, permitir su enfriamiento bajo presión y abrir el molde para extraerla cuando ha alcanzado suficiente consistencia. (Capella, 1995)

Etapas del proceso de extrusión soplado:

1. Fundición de material plástico
2. Obtención de la manga
3. Introducción del soplador en el molde de soplado
4. Inyección de aire a presión mediante el soplado al molde
5. Enfriado de la pieza moldeada
6. Desmontaje de la pieza

Los factores que inciden en la selección de los distintos materiales utilizables o de los procesos posibles de moldeo por soplado son los requisitos de rendimiento, tamaño y forma de la pieza, cantidad a fabricar y consideraciones de costo. Cada proceso presenta ventajas e inconvenientes que deben tenerse en cuenta, al tiempo que debe considerarse la

adecuación de cada material al proceso a utilizar. Materiales como el polietileno, polipropileno, poliuretano, PVC y PET pueden ser moldeados por soplado sin ningún tipo de problemas. (Capella, 1995)

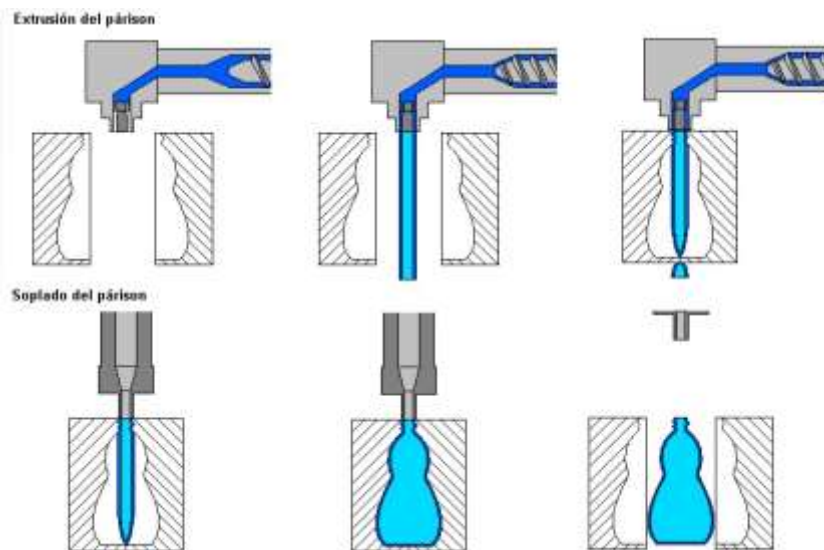


Ilustración 9: Proceso de Moldeo por Soplado
Fuente: (Capella, 1998)



Ilustración 10: Máquina Extrusión-Soplado KCC-25
Elaborado por Autor

La industria de moldeo por soplado, con sus diferentes métodos de procesamiento de plásticos, puede ser definida e identificada por los varios procesos necesarios para la producción de ciertas categorías de recipientes o tipos de plásticos.

2.3.9. Proceso de extrusión y termoformado

Extrusión laminada

La extrusión es el método fundamental para realizar el procesamiento de los termoplásticos al realizar la fundición, mezcla y bombeo de material de manera continua a un dado formador para calibrar el espesor de la laminación deseada, el proceso de laminación es el siguiente:

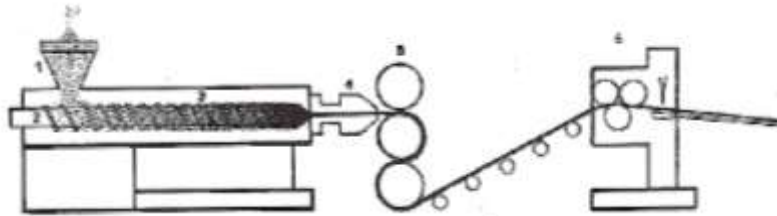


Ilustración 11: Línea de extrusión de laminas

Fuente:(Jaimes, 2006, p. 16)

(1) Tolva de alimentación, (2) tornillo extrusor, (3) Barril extrusora, (4) Dado, (5) Rodillo de calandra, (6) Rodillo de empuje.

En la ilustración 11 se muestra el esquema de forma general del proceso de extrusión y laminado, este proceso consta de las siguientes etapas principales: Tolva de alimentación de materia prima en forma de pellets plasticos(1), Tornillo y barril extrusor donde se realizar la fundición del plástico y transporte a un flujo constante mediante la rotación del tornillo en el interior del túnel (2 y 3), Dado de extrusión es la parte donde se dará la forma de la lámina deseada(4), Rodillos de calandras, encargado del enfriamiento del material y el acabado de la lámina (5), Rodillo de empuje, en esta parte se da la orientación de la lámina para poder ser embobinada o cortada(6).(Jaimes, 2006, p. 16)

2.3.10. Termoformado

El termoformado es un proceso de manufactura, el cual se convierten las láminas o películas de material plástico en una gran variedad de productos. En la figura se tiene esquematizada las partes de una termoformadora, en la cual se requiere una lámina que surge del proceso laminación termoplástica por una extrusora, la cual va a estar guiada para ingresar al horno y ser calentada y luego ser moldeada en el formador y

luego pasar por el cortador, para tener el producto final y poder ser apilados.(Jaimes, 2006, p. 4)

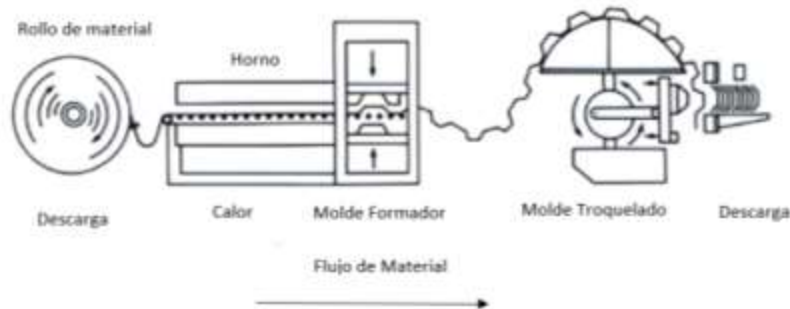


Ilustración 12: Proceso Termoformado
Fuente:(Jaimes, 2006, p. 17)

2.4. Subestación eléctrica

Es el conjunto de elementos eléctricos, equipos e instalaciones que son parte del proceso de transformación de la energía eléctrica, permitiendo de esta manera el suministro de energía eléctrica a los diferentes centros de distribución o la evaluación de la energía producida en las centrales de generación eléctrica. (CELEC, 2010, p. 2)

Las subestaciones pueden ser de elevación, mediante un transformador de potencia que aumenta el nivel de voltaje, por ejemplo de 69Kv a 138KV o una subestación de reducción que disminuye el nivel de voltaje, por ejemplo de 69KV a 13.8KV.(CELEC, 2010, p. 2)



Ilustración 13:Subestación eléctrica
Elaborado por Autor

2.4.1 Transformador de potencia

Son equipos diseñados que permiten transformar las características del voltaje y corriente en un punto del sistema, es un equipo estático que dispone de dos o más devanados entrelazados entre sí, mediante un flujo magnético fuerte. con el fin de cumplir con las necesidades de transmisión y distribución de energía eléctrica, para aumentar o disminuir los niveles de voltaje.(CELEC, 2010, p. 5)

La capacidad de un transformador dependerá de los requerimientos de la demanda o la generación del sistema. Ejemplo: Un Transformador de elevación de 69KV/138KV, con capacidad de 130MVA , transformador de reducción de 13.8KV/440V con capacidad de 1500KVA .(CELEC, 2010, p. 5)

El diseño de los transformadores dependerá de la importación de su aplicación en la parte de distribución y transmisión de la energía eléctrica. Los transformadores de instrumentación, su funcionamiento consiste en contar la cantidad de energía que debe transferirse desde el circuito primario al secundario con la mayor exactitud posible. Mientras en los transformadores de señal, en este caso el flujo eléctrico debe tener la mínima distorsión.

El transformador al ser un equipo estático no tiene pérdidas mecánicas, para que este tenga pérdidas en el hierro en su núcleo y el cobre de sus bobinas, debido a esto los transformadores pueden llegar a alcanzar rendimientos muy altos. Los transformadores están constituidos en 2 partes: Circuito eléctrico, que se conforma de dos o más devanados. Circuito magnético, que lo conforma su núcleo, así como la refrigeración, las protecciones eléctricas y el aislamiento.

El funcionamiento de un transformador consiste en la inducción magnética en sus devanados, al ser acoplados mediante un núcleo de hierro o material ferromagnético. El primer devanado está cargado con una fuente alterna, esto ocasiona que circule una corriente alterna, que da como origen

un flujo magnético en el núcleo generando inducción de voltaje en el devanado secundario.(Iza, 2018, p. 17)

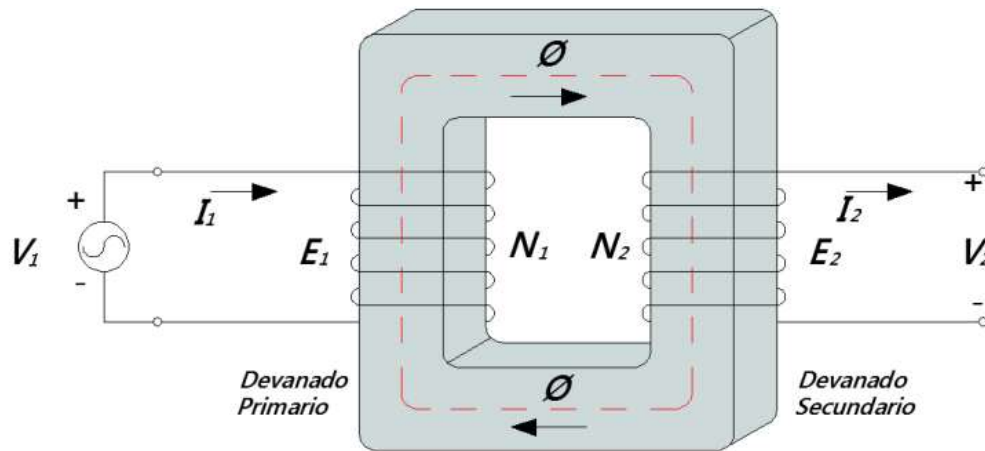


Ilustración 14: Principio de funcionamiento de un transformador

Fuente: (Iza, 2018, p. 18)

2.4.2 Tableros

En el interior de los tableros se encuentran diferentes equipos eléctricos que tiene como función la protección, control y medición del sistema eléctrico. Estos nos permiten realizar maniobras en los interruptores (apertura y cierre) de los transformadores de potencia, líneas de distribución, celdas de media tensión.(CELEC, 2010, p. 5)

A continuación, se indican los equipamientos del sistema:

a) Equipos de alta tensión

- Interruptores automáticos.
- Seccionadores.
- Seccionadores de puesta a tierra.
- Transformadores de corriente.
- Transformadores de tensión.
- Pararrayos para los sistemas.
- Aisladores.
- Conductores.

b) Equipo de media tensión

- Celdas de media tensión con fusibles tipo botella

- Seccionadores de puesta a tierra.
- Transformadores de corriente.
- Transformadores de tensión.
- Pararrayos para el sistema.
- Aisladores de soporte para el sistema.
- Cables y terminales de media tensión.

2.5. Líneas de distribución

Son los elementos de transporte de energía de un punto a otro y está conformado por un conjunto de estructuras metálicas, postes, aisladores, conductores y accesorios. Estas operan con un voltaje entre 69KV a 13.8Kv en las instalaciones de una planta.

2.5.1 Conductores

Elemento que transporta el flujo de energía eléctrica y forma parte de las líneas de transmisión y su transmisión.(CELEC, 2010, p. 2)

2.5.2 Aisladores

Piezas fabricadas con material aislante, como la porcelana o el vidrio, que se utilizan en las acometidas eléctricas, para soportar el conductor eléctrico y permite mantener una distancia segura entre los conductores y la estructura de las líneas de distribución.(CELEC, 2010, p. 2)

2.5.3 Protecciones eléctricas

Conjunto de relés, fusibles, interruptores encargados de separar un elemento del sistema de transmisión en caso de fallo, con la finalidad de evitar daños en los elementos eléctricos del sistema.(CELEC, 2010, p. 3)

2.6. Triangulo de potencia

La potencia eléctrica se calcula, simplemente, multiplicando la tensión por la intensidad. Cuando se multiplican los fasores de tensiones y corrientes para calcular las diferentes potencias nos sale un triángulo como el que se tiene a continuación en la ilustración 15..

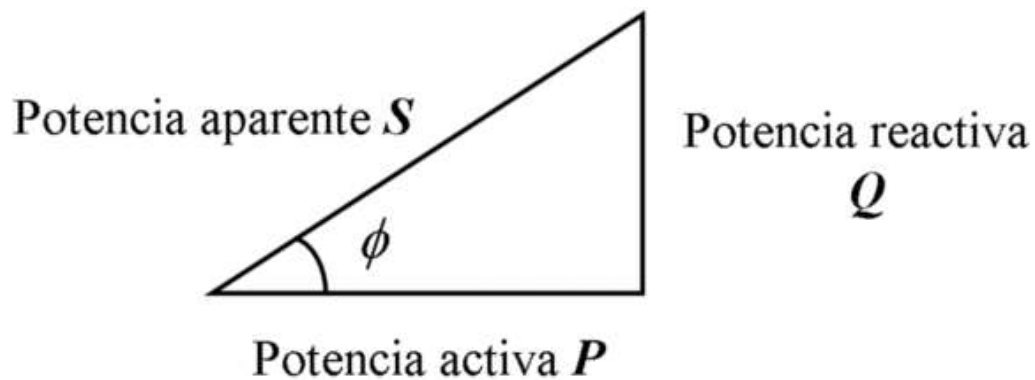


Ilustración 15: Triangulo de potencia
Fuente: (GONZALEZ, 2010)

En el eje el horizontal, nos queda el fasor para la potencia activa, que se mide en vatios; en el eje vertical nos queda el fasor para la potencia reactiva, que se mide en volti-amperios reactivos, y la suma de esos dos fasores, que nos queda en diagonal, es el fasor para la potencia aparente, que se mide en volti-amperios.(EFENERGIA, 2010)

2.6.1 Potencia Activa

Como es de conocimiento general todas las maquinas eléctricas esta alimentadas por corriente alterna, que se utiliza para convertir la energía eléctrica en trabajo mecánico o calor. Ese tipo de energía se la mide en KW/h y se denomina energía activa, sus principales características son las siguientes (Cutti, 2010, p. 17):

- ✓ Es capaz de desarrollar trabajo útil.
- ✓ Puede ser suministrada a equipos resistivos.
- ✓ La origina la componente de la corriente que está en fase con el voltaje.
- ✓ Su unidad de medida es el KW o MW
- ✓ Se calcula como: $P=V.I. \cos(\varphi)$

2.6.2 Potencia reactiva

Ciertos equipos necesitan de campos electromagnéticos para su funcionamiento como es el caso de los motores, transformadores, etc. Estos

equipos consumen otro tipo de energía llamada energía reactiva, y sus características son las siguientes(Cutti, 2010, p. 17):

- ✓ En su funcionamiento se generan campos electromagnéticos.
- ✓ Se origina en los equipos que genera cargas de tipo inductivas y capacitivas.
- ✓ Es la origina una corriente que esta 90° en relación con el voltaje y esta se puede encontrar en adelante o en atraso.
- ✓ La unidad de medida es el KVAR o MVAR
- ✓ Su fórmula de cálculo: $P=V.I. \text{ Sen}(\varphi)$

Este tipo de cargas necesitan de mayor consumo de energía para la creación de los campos magnéticos para su funcionamiento y luego la devuelven al sistema mediante la destrucción de los campos.(Cutti, 2010, p. 17)

Esta carga reactiva, provoca un mayor consumo de energía en el sistema, por lo que los conductores son sometidos a perdidas, caídas de tensión y un consumo de energía que no es aprovechable para los equipos. (Cutti, 2010, p. 17)

2.6.3 Potencia aparente

Es la potencia total, entre el resultado de la potencia activa y la potencia reactiva, y tiene las siguientes características(Cutti, 2010, p. 18):

- ✓ Es la potencia total consumida por la carga
- ✓ Es la potencia total entregada por los generadores, transformadores y UPS.
- ✓ Se la calcula por la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva.
- ✓ Con esta potencia los equipos llegan a consumo máximo permisible.
- ✓ La unidad de medida es el KVA o MVA.
- ✓ Su fórmula de cálculo: $S=V.I$

2.7. Factor de Potencia

Se define como el coseno del ϕ que forma la corriente activa con la corriente total resultante, ya que representa la relación existente entre la potencia activa , con la potencia aparente que llega a una planta.(Barros, 1981, p. 8)

Esta suele multiplicarse por cien el factor $\cos \phi$, quedando medido el factor de potencia en porcentaje o en unidades, es el porcentaje real consumido en relación a la potencia aparente.(Barros, 1981, p. 8)

Las cargas en las industrias de manufactura suelen ser de carácter reactivo debido a la presencia de equipos de refrigeración, motores, compresores torres de enfriamiento, transformadores, etc. La consecuencia de estas cargas reactivas, es que al ser suministrada por la empresa eléctrica, estas deberán producir y transportar la energía por las redes , ocasionando necesidades de mayor inversión en capacidades mayores de los equipos, redes de distribución y transmisión.(Cutti, 2010, p. 24)

2.7.1 Causas y efectos de un bajo factor de potencia

Las cargas inductivas son las responsables tener un bajo factor de potencia como los son los motores, balastos, transformadores, etc. En este tipo de equipos la intensidad de corriente se atrasa en relación al voltaje (Garza et al., 2011, p. 19).

Los efectos de una instalación eléctrica que trabaje con un factor de potencia menor a 0,92, tiene afectaciones a la red eléctrica tanto en baja, media y alta tensión, además tiene las siguientes consecuencias en medida a la disminución del factor de potencia(Garza et al., 2011, p. 19):

- ✓ Aumento de pérdida causadas por el efecto Joule al aumentar su corriente.
- ✓ Sobrecarga a los equipos generadores, transformadores y al mismo diseño de las líneas de transmisión.
- ✓ Caída de tensión.
- ✓ Pago de penalizaciones eléctricas

2.8. Corrección del factor de potencia en media tensión

En una industria de manufactura al contar con una gran cantidad de equipos con cargas inductivas que afectan al factor de potencia por el uso de motores en las máquinas y los equipos auxiliares como compresores, chillers, torres de enfriamiento, calderas, transformadores y equipos de climatización.

En el caso de estudio al ser una empresa con 19 bancos de transformadores, es más costosa la implementación de bancos de capacitores en cada banco se define la instalación de bancos de capacitores en media tensión para disminuir los costos.

2.8.1 Banco de capacitores

Es el conjunto de dos o más capacitores interconectados entre sí, para mejorar la calidad de energía eléctrica, aumentando los perfiles del voltaje en cada punto donde se instalen los equipos. (CELEC, 2010, p. 4)

2.8.2 Instalación de bancos de capacitores

Los bancos de capacitores pueden ser instalados en todos los niveles de voltaje. En los sistema de distribución se instalan capacitores en paralelo para conseguir la capacidad en KVAR requeridas, en cambio en los sistemas de potencia se los instala en serie conseguir el nivel de voltaje requerido y estabilidad (TORRES GUTIERREZ, 2017, p. 59).

Según los datos recolectados de la industria eléctrica indican que 60% de los capacitores son instalados en los alimentadores, el 30% en las barras de las subestaciones y el 10% restante en los sistemas de transmisión(TORRES GUTIERREZ, 2017, p. 59)

La Implementación de los bancos de capacitores en redes de distribución es comúnmente usado a nivel industrial, donde el ahorro económico justifica esta inversión.

Los capacitores pueden ser instalados de diferentes formas, puede estar montados en los postes, en tableros eléctricos o en instalaciones

subterráneas. Los bancos pueden estar conformado por 3 o hasta 9 capacitores conectados en configuración Y o Y con puesta a tierra o en delta. En los alimentadores se pueden instalar dos tipos de bancos de capacitores:

- ✓ Capacitores con banco fijo: Comúnmente utilizado cuando las cargas son constantes y no varían.
- ✓ Capacitores automáticos: Se los utiliza con las cargas son variables.

2.8.3 Capacitores

Los capacitores podrían parecer dispositivos simples y poco sofisticados, ya que están conformado por placas metálicas que los separa un material aislante dieléctrico, no cuenta con partes móviles y solo funciona con la corriente eléctrica, pero la verdadera función de un capacitor es de interés altamente técnico, ya que está formado por materiales delgados pero estos pueden llegar a ser sometidos al esfuerzos eléctricos, caídas de voltaje, disturbios en las líneas, etc.(TORRES GUTIERREZ, 2017, p. 50).

Los capacitores almacenan energía y adelantan la corriente con respecto al voltaje, por eso son necesarios en las industrias para corregir el factor de potencia.

El tipo de conexión de los bancos de capacitores trifásicos pueden variar y dependerán del tipo de sistema al que se lo conecte y de los requerimientos de protecciones. Se los puede conectar en configuración delta, estrella con puesta a tierra o estrella sin puesta a tierra(TORRES GUTIERREZ, 2017, p. 50).

2.8.4 Capacidades Estándar de los Capacitores

En la ilustración 16 se muestran las capacidades estándares de los capacitores según la norma IEEE Std 18-2002. En la que se indica que los bancos no deben ser aplicados si no se cumplen con las siguientes limitaciones (IEEE, 2002):

- ✓ El voltaje no debe ser mayor al 110% de su capacidad nominal y el pico no debe exceder $1.2\sqrt{2}$ del voltaje de diseño de los capacitores, incluye los armónicos.
- ✓ La potencia nominal no puede superar los 135% de los KVA
- ✓ La corriente nominal no puede superar el 135% en base a la potencia y voltaje de diseño.

Volts, rms (terminal-to-terminal)	kvar	Number of phases	BIL, kV ^o
216	5, 7 1/2, 13 1/3, 20, and 25	1 and 3	30**
240	2.5, 5, 7 1/2, 10, 15, 20, 25, and 50	1 and 3	30**
480, 600	5, 10, 15, 20, 25, 35, 50, 60, and 100	1 and 3	30**
2400	50, 100, 150, 200, 300, and 400	1 and 3	75, 95, 125, 150, and 200
2770	50, 100, 150, 200, 300, 400, and 500	1 and 3	75, 95, 125, 150, and 200
4160, 4800	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1 and 3	75, 95, 125, 150, and 200
6640, 7200, 7620, 7960, 8320, 9540, 9960, 11 400, 12 470, 13 280, 13 800, 14 400	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	95, 125, 150, and 200
15 125	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	125, 150, and 200
19 920	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	125, 150, and 200
20 800, 21 600, 22 800, 23 800, 24 940	100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, and 800	1	150 and 200

*See 7.7.

**Not applicable to indoor ratings.

Ilustración 16: Capacidades estándar según IEEE 18-2002

Fuente: IEEE Std 18™-2002, IEEE Standard for Shunt Power Capacitors

2.8.5 Bancos con conexión estrella puesta a tierra

Según TORRES, GUTIERREZ (2017) “Los bancos de capacitores en estrella conectados a tierra se componen de unidades de capacitores conectados en serie y en paralelo por fase y proporcionan un camino de baja impedancia a tierra”. La ilustración 17 muestra las disposiciones típicas de los bancos. La ventaja de utilizar los bancos de capacitores en shunt con derivación a tierra son las siguiente:

- ✓ La trayectoria de la corriente tendrá una baja impedancia a tierra, lo que tendría el beneficio de una autoprotección a las corrientes por descargas atmosféricas y ayudar en la protección de sobretensiones en las líneas. Estos bancos pueden funcionar sin

descargadores de tensión ya que gracias a su capacidad de absorción de sobretensiones.

- ✓ Se los puede utilizar como filtros en los sistemas que tenga un gran contenido de armónicos, aunque hay que tener precauciones por las resonancias que pueden existir entre los capacitores y el tendido eléctrico.
- ✓ Reduce la tensión transitoria, para el buen funcionamiento de los equipos de conmutación.

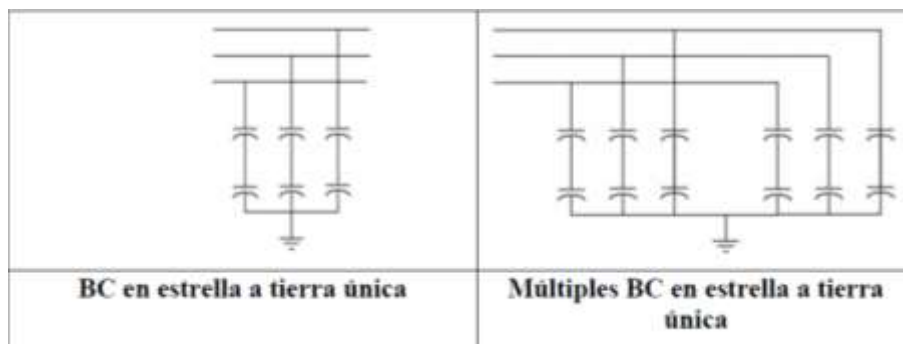


Ilustración 17: Bancos de capacitores en Shunt conectados a tierra.

Fuente: Brunello, Bogdan, & Wester(2003).

Desventajas de los bancos de capacitores en shunt con derivación a tierra:

- ✓ Interferencias en los circuitos de telecomunicaciones debido al flujo de armónicos en el sistema.
- ✓ Se necesita de reactores de fase en serie para la disminución del voltaje que, a pasar por el transformador de corriente, debido al efecto de alta frecuencia y corrientes de alta amplitud.

2.8.6 Bancos en conexión estrella no conectados a tierra

Ventajas de los bancos en conexión estrella no conectados a tierra.

- ✓ Esta conexión no permite corrientes de secuencia cero, descargas de grandes corrientes durante una falla a tierra en el sistema, las fallas fase a fase si pueden ocurrir y generaran grandes corrientes de descarga.
- ✓ Las sobretensiones que aparecen en los secundarios no son tan altos en relación con los sistemas con conexión a tierra, aunque el

neutro debe ser aislado para la tensión total de la línea, lo que representa un gran costo en instalaciones de 15KV.

Desventajas de los bancos en conexión estrella no conectados a tierra.

- ✓ Al ocurrir fallas entre las fases la configuración estrella sin puesta a tierra, por medio de los capacitores se comportan como fuente de voltaje al tratar de mantener el voltaje, lo que puede ocasionar grandes daños a los sistemas eléctricos.

Por lo tanto, este tipo de conexión no se recomienda para el uso en los siguientes sistemas:

- ✓ En alimentadoras con consumo reducido
- ✓ Capacitores fijos
- ✓ Alimentadores con seccionadores monofásicos
- ✓ Alimentadores de carga de emergencia

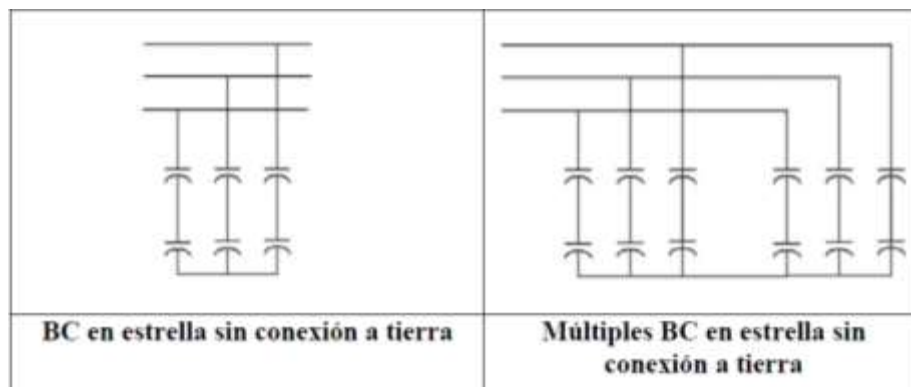


Ilustración 18: Bancos de capacitores en Shunt sin conexión a tierra.
Fuente: Brunello, Bogdan, & Wester(2003)

2.9. Equipos de medición en media tensión

Los equipos de medición en media tensión tienen como características ser más robustos y aguantar mayores corrientes que los equipos de baja tensión, adicional cuentan con un mayor aislamiento y dispositivos de largo alcance para mayor seguridad del personal que se encuentre realizando mediciones.

2.9.1 Equipo megger MIT1525

Comprobador compacto de resistencia de aislamiento de 15 KV para la prueba de diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos de alta, media y baja tensión.

Además de medir la resistencia de aislamiento a 10 TΩ, el MIT1525 también ofrece varias pruebas de diagnóstico, como índice de polarización, relación de absorción dieléctrica, voltaje por pasos, descarga dieléctrica y prueba de rampa, equipado con baterías recargables de iones de litio, el instrumento tiene una pantalla grande, clara y fácil de leer, por lo que es igualmente adecuado para su uso tanto en la luz solar brillante como en entornos con poca luz. La información mostrada incluye resistencia, voltaje, corriente de fuga, capacitancia, estado de la batería y constante de tiempo.

Además, el tiempo transcurrido de la prueba se muestra constantemente eliminando la necesidad de un temporizador por separado.



Ilustración 19: Equipo Megger MIT152
Elaborado por Autor

2.9.2 Equipo METREL MI2088

Para la evaluación de resultados se utilizó el equipo METREL MI 2088 EARTH INSULATION TESTER. El Medidor de aislamiento de Tierra Metrel es un instrumento altamente profesional, multifuncional y portátil. Este ha sido concebido para poder realizar mediciones de Resistencia de Tierra, Resistencia de Aislación, Continuidad en conductores de Protección, de

acuerdo con la Norma EN 61557. Pudiendo realizar también otra cantidad de mediciones y ensayos.

El instrumento está equipado con los accesorios necesarios, para facilitar las mediciones. Está protegido en una valija liviana, con separadores de los accesorios. Las partes electrónicas del Instrumento están producidas con Tecnología SMD. El diseño del display de LCD con iluminación posterior ofrece una lectura fácil, así como una amplia variedad de resultados parciales, parámetros y mensajes. Es fácilmente operable y claro.



Ilustración 20: Equipo METREL MI 2088
Elaborado por Autor

2.9.3 Cámara termo gráfica industrial FLUKE TI125

La cámara termográfica Fluke puede ayudar a ahorrar tiempo y dinero al detectar los problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos costosos. Con las innovadoras características y funciones de la cámara termográfica Fluke Ti125 y una resolución de 160 x 120, puede realizar inspecciones infrarrojas de manera más rápida y eficiente y documentar perfectamente las áreas de problemas para un seguimiento posterior.

- ✓ Sistema de enfoque exclusivo IR-OptiFlex™: garantiza un enfoque correcto de las imágenes a partir de una distancia de 1,2 metros (4 pies) para obtener una claridad de la imagen óptima y comodidad en la exploración. Para distancias más cortas, puede cambiar al modo manual con solo mover un dedo.
- ✓ Con el sistema de anotación IR-PhotoNotes™: identifica de forma rápida los puntos de inspección y realiza un seguimiento de los mismos mediante la adición de imágenes digitales con información importante, así como imágenes de las áreas circundantes

- ✓ Detecta los problemas de forma más rápida y sencilla mediante IR-FusionR con el modo AutoBlend™: identifica los posibles problemas de forma precisa mediante la combinación de imágenes digitales e infrarrojas con AutoBlend.
- ✓ Mezcla las imágenes infrarrojas parcialmente transparentes y las imágenes digitales en una sola y repleta de información
- ✓ Aplicación Fluke ConnectR
- ✓ Grabación de video en varios modos: video con enfoque automático de luz visible e infrarroja con las capacidades de IR-Fusión completo
- ✓ Comunique con facilidad donde se encuentran los problemas con el compás electrónico (8 puntos cardinales).



Ilustración 21: Equipo FLUKE T1125
Elaborado por Autor

2.9.4 Equipo PEAK METER

La abrazadera de resistencia a tierra es una ruptura del probador tradicional. Ni los cables de tierra suplementarios ni los equipos de tierra de corte son necesarios. El resultado de la resistencia de tierra puede obtenerse de manera segura y rápida solo sujetando la línea de tierra. Además, también se proporcionan pruebas actuales. El medidor de pinza de alta sensibilidad puede medir la corriente de fuga a 1 mA, la corriente de neutro a 20A RMS.

Es especialmente importante para probar circuitos de tierra con fuertes interferencia y ondas que influirán en la calidad eléctrica. Además de los

equipos electrónicos industriales, también es ampliamente utilizado en el campo de distribución de energía eléctrica, telecomunicaciones y suelo arquitectónico.



Ilustración 22: PEAK METER
Elaborado por Autor

2.9.5 Equipo AMP LITEWIRE

Amp Litewire es un amperímetro de alto voltaje True RMS diseñado para medir la corriente True RMS en el lado primario de una red de distribución. La sonda del sensor se conecta a un bastón térmico aislado y se coloca en la línea de media o alta tensión. Un cable de fibra óptica conecta la sonda del sensor a una unidad receptora con potencial de tierra, que entrega la medición de la forma de onda de corriente como una salida analógica a un analizador de medición.

El cable de fibra óptica es físicamente resistente que proporciona una ruta de datos de alta velocidad requerida para la transmisión de formas de onda digitales. Este cable también es el aislador de alta tensión entre las dos unidades, y está especificado para proporcionar un aislamiento de 100 KV por pie.

La sonda del sensor no tiene partes móviles y no requiere sujeción en el cable. La carcasa de uretano moldeada es resistente al agua y resistirá un alto impacto físico.



Ilustración 23: EQUIPO AMP LITEWIRE
Elaborador por Autor

2.9.6 Equipo TRAX – Sistema multifuncional para prueba de subestaciones

DSDSF ADVDS TRAX es un sistema de prueba multifuncional para probar transformadores en subestaciones. El sistema de prueba reemplaza numerosos equipos de prueba individuales, de modo que las pruebas con TRAX ahorran tiempo y dinero respecto a las mediciones convencionales utilizando distintos instrumentos.

TRAX es un sistema de prueba exclusivo para probar transformadores de potencia, distribución y medición, así como una variedad de otros componentes de subestaciones. Proporcionando hasta 800 A (TRAX 280) y 2200 V (2000 A y 12 KV con accesorios) con un rango de frecuencia ajustable desde 5 Hz (1 Hz con unidad de tangente delta) a 500 Hz, TRAX se puede usar con una pantalla táctil integrada o una computadora o dispositivo externo con navegador web.

Capacidad de prueba:

- ✓ Mediciones trifásicas en transformadores de potencia de:
- ✓ Relación de transformación
- ✓ Resistencia de devanados
- ✓ Continuidad, temporización y resistencia dinámica de cambiadores de derivación de carga (patente en trámite)

- ✓ Corriente de excitación
- ✓ Reactancia de fuga/Impedancia de cortocircuito
- ✓ Des magnetización
- ✓ Mediciones trifásicas de transformador sin reconexiones manuales de cables (con TSX300)
- ✓ Prueba de transformadores de corriente y de tensión
- ✓ Tangente delta/factor de potencia de alta tensión (CON TDX 120)



Ilustración 24: Equipo TRAX
Elaborado por Autor

Capítulo 3: Análisis de oportunidad de mejora de la implementación del proyecto del mejoramiento del factor de potencia en media tensión.

3.1. Antecedentes

En la fábrica de plásticos ecuatorianos se tiene el registro de que tiene unos 12 meses con un bajo factor de potencia como se demuestra en la ilustración 25.



Ilustración 25: Factor de potencia antes de la compensación

Elaborado por Autor

Esto ocasiona que la empresa todos los meses pague una penalidad por bajo factor de potencia, lo que encarece el costo del producto.

Adicional en el mes de octubre del 2019 se recibió una carta por parte de CNEL en la que nos da un 1 mes de prórroga para corregir el factor de potencia como esta en el Anexo 1. En la que hace referencia a que se esta incumpliendo a la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica.

3.2. Problema actual

El 23 de octubre del 2019 CNEL envió una carta de notificación en la que nos da un mes para corregir el factor de potencia de la planta, caso contrario se procedería con la suspensión del suministro de energía.

Al ser una planta que trabaja 24 horas los 7 días de la semana para satisfacer la demanda de los clientes, y adicional la planta cuenta con un presupuesto reducido que no alcanza para la implementación de bancos de capacitores en cada uno de los bancos de transformadores de la planta.

Se cotiza la implementación de bancos de capacitores en las líneas de media tensión 13.8KV, para así poder disminuir los tiempos de la instalación de estos equipos. Ya que, para realizar este trabajo toda la planta se debe encontrar des energizada por la seguridad de las personas que trabajen en las líneas.

La instalación en el ramal de expandido es la que tiene mejor acceso y se lo puede realizar con una grúa para levantar el banco de capacitores, en cambio para la instalación en el ramal de inyección es más complicado porque no se cuenta con espacio para ingresar la grúa, por lo que el izado del banco tendrá que ser de forma manual.

En el diseño también se tiene que considerar que va a haber una disminución de la carga a la planta del 30% del consumo actual, ya que se están vendiendo una maquina a una empresa y en el transcurso del año 2020 se retiraran estas máquinas.

3.3. Marco legal

La empresa eléctrica tiene el derecho de realizar cargas a la factura de consumo de energía en referencia al Pliego tarifario vigente en el numeral 11 en concordancia con el Art. 27 de la codificación del reglamento de tarifas: Cargos por bajo factor de potencia, instruye que : Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0.92, la facturación total mensual será recargada; la penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a: Consumo de energía, demanda, perdidas en transformadores y comercialización multiplicados por el siguiente factor:

$Bfp=(0.92/fpr)-1$, donde

Bfp = Factor de penalización por bajo factor de potencia.

Fpr= Factor de potencia registrado. (0.87 Promedio año)

El promedio por bajo factor de potencia en todo el año es de 0.86.

$$Bfp = \left(\frac{0.92}{0.86} \right) - 1$$

Bfp=0.069

Por lo que en promedio la empresa le está pagando \$6,600.00 por penalidad de bajo factor de potencia. Los incumplimientos a la ley que actualmente tiene la empresa son en referencia a la Ley Orgánica del servicio Público de energía eléctrica en los siguientes artículos: Artículo 5.- Obligaciones de los consumidores o usuarios finales, numeral 3: Utilizar de forma eficiente la energía eléctrica.

En su título VI, Eficiencia Energética, Artículo 74, Objetivos, numeral 3: Propiciar la utilización racional de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales. Numeral 4: Incentivar la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía, para promover la competitividad. Con referencia a estas normas CNEL puede quitar el suministro de energía eléctrica a la planta que se están incumpliendo en un contrato y adicional a la Ley.

3.4. Cálculo de compensación reactiva

Para realizar la compensación reactiva en la planta se necesitan mínimo los siguientes datos:

- ✓ Promedio de Potencia activa
- ✓ Promedio de Potencia inductiva
- ✓ Promedio de potencia aparente
- ✓ Factor de potencia

En los medidores ION de planta se pudo obtener la siguiente información:

- ✓ Promedio de Potencia activa: 2358,72 KW

✓ Factor de potencia: 0,876

Para obtener la potencia de compensación que se necesita en KVAR se sabe que:

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

El valor de potencia aparente se lo obtiene de la siguiente manera:

$$S = \frac{P}{FP}$$
$$S = \frac{2358,72KW}{0.876}$$

$$S = 2692,602 KVA$$

Ahora se calcula el valor de potencia reactiva del sistema actual, al no existir compensación reactiva en el sistema, se asume que la potencia calculada es inductiva y mantiene el factor de potencia en atraso.

$$Q_L = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q_L = \sqrt{2692,602 KVA^2 - 2358,72 KW^2}$$

$$Q_L = 1298,670 KVAR$$

$$\cos^{-1}FP = 28.83^\circ$$

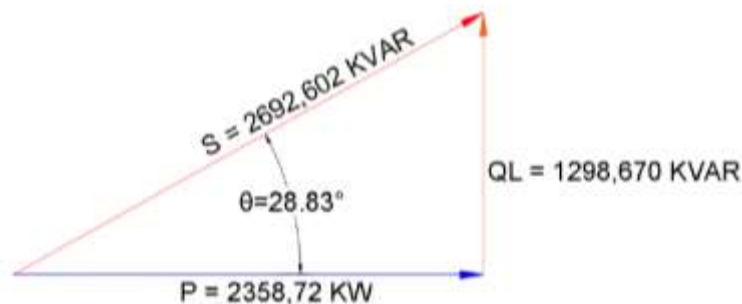


Ilustración 26: Triangulo de potencia actual
Elaborado por Autor

Con los datos anteriores se sabe que la potencia activa no va a variar por ende se calcula la nueva potencia aparente para el factor de potencia deseado:

$$S_{Nuevo} = \frac{P}{FP_{nuevo}}$$

$$S_{Nuevo} = \frac{2358,72 \text{ KW}}{0.94}$$

$$S_{Nuevo} = 2509.30 \text{ KVA}$$

La nueva Q total debe ser calculada con los valores esperados de factor de potencia y potencia aparente:

$$Q_{T-Nueva} = \sqrt{S_{Nuevo}^2 - P^2}$$

$$Q_{T-Nueva} = \sqrt{(2509,30 \text{ KVA})^2 - (2358,72 \text{ KW})^2}$$

$$Q_{T-Nueva} = 856,17 \text{ KVAR}$$

La Q de compensación se calcula de la siguiente manera:

$$Q_T = Q_L - Q_C$$

$$-Q_C = Q_T - Q_L$$

$$-Q_C = 856,17 \text{ KVAR} - 1298,67 \text{ KVAR}$$

$$Q_C = -442,5 \text{ KVAR}$$

$$\cos^{-1} FP_{Nuevo} = 19,94^\circ$$

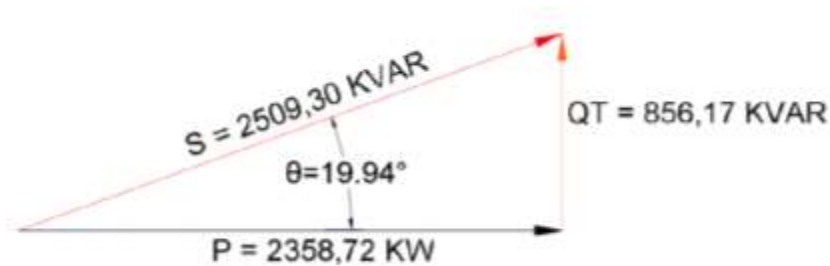


Ilustración 27: Triangulo de potencia final corregido
Elaborado por Autor

3.5. Dimensionamiento de capacitores

Los datos de funcionamiento del sistema para los bancos de capacitores son los siguientes:

- ✓ Potencia reactiva necesaria: -442,50KVAR
- ✓ Voltaje de línea a neutro de la red:

$$V_{L-N} = \frac{13800 V}{\sqrt{3}}$$

$$V_{L-N} = 7967 V$$

La red eléctrica posee dos ramales de operación aéreos, lo ideal es compensar en varias partes es por ello que la potencia reactiva de dimensionamiento se la aproxima a 400KVAR dividiéndola en tres bancos de capacitores:

- ✓ 1 banco de 3x200KVAR en estrella 7967V
- ✓ 2 bancos de 3x100KVAR en estrella 7967V

Se debe tener en cuenta los datos de impedancia y capacitancia que deben tener los capacitores al momento de instalación:

3.5.1 Banco de 3x100KVAR

Para esto se utiliza la fórmula de potencia reactiva y se despeja la X_c

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c}$$

$$X_c = \frac{7967 V^2}{100KVAR}$$

$$X_c = 634,73 \Omega$$

Luego se utiliza la fórmula de reactancia capacitiva

$$X_c = \frac{1}{W \cdot X_C}$$

$$W = 2\pi \cdot fr$$

$$W = 2\pi(60\text{hz})$$

$$W = 376.99$$

$$X_c = \frac{1}{377 \times 634,73\Omega}$$

$$X_c = 4,17\mu F$$



Ilustración 28: Datos de placa de banco de Capacitores 200KVAR
Elaborado por Autor

3.5.2 Banco 3x200KVAR

Inductancia para 200KVAR

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c}$$

$$X_c = \frac{(7967 V)^2}{200 KVAR}$$

$$X_C = 317,36\Omega$$

Luego se utiliza la fórmula de reactancia capacitiva

$$X_C = \frac{1}{W \cdot XC}$$

$$W = 2\pi \cdot fr$$

$$W = 2\pi(60\text{hz})$$

$$W = 376.99$$

$$X_C = \frac{1}{377 \times 317,36\Omega}$$

$$X_C = 8,35\mu F$$



Ilustración 29: Datos de placa de banco de Capacitores 200KVAR
Elaborado por Autor

3.6. Planificación de trabajo

Para realizar la implementación de los bancos de capacitores se tuvo que realizar una planificación de las actividades previa a la ejecución, para disminuir la cantidad de horas con la planta parada, en la tabla se detallan el paso previo a la ejecución.

Tabla 2: Planificación de actividades

PLANIFICACION DE ACIVIDADES				
Actividades	Fecha Inicio	Fecha Fin	Status	Observaciones
Recolección de información	23/10/2019	30/10/2019	Cerrado	Se tomo datos del medido ION de la planta, para monitorear el factor de potencia, potencia reactiva, potencia activa y potencia aparente
Dimensionamiento de equipo	30/10/2019	10/11/2019	Cerrado	Se opta por instalar 3 bancos de capacitores, por disminución de carga en el futuro, en el ramal de inyección.
Adquisición de equipos	10/11/2019	12/11/2019	Cerrado	Se hace la adquisición de los bancos de transformadores con la empresa PROEINSA
Prueba de capacitancia de equipos	12/11/2019	15/11/2019	Cerrado	se calculó los valores del Índice de Polarización (IP) y Relación de Absorción Dieléctrica (DAR)
Armado de estructuras	15/11/2019	20/11/2019	Cerrado	
Planificación de paralización de planta	23/10/2019	30/11/2019	Cerrado	Se define paralización de planta para el 7 de diciembre del 2019, no se puede realizar antes por tener producción comprometida con varias empresa.
Instalación de bancos de capacitores	7/12/2019	7/12/2019	Cerrado	Se realizo la instalación de los bancos de capacitores en media tención en los postes de distribución
Prueba de funcionamiento	8/12/2019	10/12/2019	Cerrado	Se Verifica en el medidor ION de la subestaciones el factor de potencia se encuentra corregido
Verificación en planilla eléctrica	15/1/2020	15/1/2020	Cerrado	Se verifica que en la planilla eléctrica el factor de potencia se encuentra sobre el estándar

Elaborado por Autor

3.7. Normas y estándares de aplicación

- IEC 60871-1:2014 Condensadores Shunt para sistemas de alimentación a.c. tensión superior a 1 000 V
- IEEE C37.60-2003 - Requisitos estándar IEEE para gastos generales, Pad Reconectores de circuitos automáticos y bóveda seca y desmontables e Interruptores de falla para sistemas de corriente alterna de hasta 38 Kv
- IEEE Std 81-2012 - Guía para medir la resistencia a la tierra, Impedancia y potenciales de superficie de la tierra de los sistemas de tierra.
- IEEE Std 142-2007 - Práctica recomendada para la puesta a tierra de sistemas de energía industrial y comercial.

- IEEE 519-2014 - Práctica recomendada de IEEE y requisitos para Control armónico en sistemas de energía eléctrica
- IEEE 1453-2015 - IEEE Práctica recomendada para el análisis de Instalaciones fluctuantes en sistemas de alimentación
- ANSINETA MTS-2019 Estándar para especificaciones de pruebas de mantenimiento para Equipos y Sistemas de Energía Eléctrica

3.8. Costo-beneficio de implementación

El costo beneficio que recibe la empresa se paga en 3 meses, el costo de inversión entre la compra de capacitores e instalación es de \$14,540.00, mientras que mensualmente se está pagando \$6,600.00 aprox., por penalización del bajo factor de potencia en la tabla 3 del conglomerado de pago de facturación 2018-2019, se puede apreciar los pagos realizado por bajo factor de potencia en un año llegan a los \$86,801.86 lo que encarece el producto y es un pago innecesario.

Tabla 3: Conglomerado de pago facturación 2018-2019

Año	Mes	Penalización Factor de Potencia
2018	Octubre	6068,3422
2018	Noviembre	9403,6318
2018	Diciembre	7194,4458
2019	Enero	7326,3546
2019	Febrero	296,614
2019	Marzo	7347,2254
2019	Abril	8529,178
2019	Mayo	5662,7548
2019	Julio	6247,2438
2019	Agosto	7759,3784
2019	Septiembre	7931,331917
2019	Octubre	6583,51688
2019	Noviembre	6451,846542
	Total, Pago por penalización	86801,86414

Elaborado por Autor

En la tabla 4 de costo benéfico de implementación, fue el documento que se tuvo que realizar para justificar la inversión ante el directorio de operaciones, los valores de ahorro serán cobrados en el periodo del 2020.

Tabla 4: Iniciativa de ahorro

INICIATIVA DE AHORRO 2020													
Nombre del proyecto	Implementación de bancos de capacitores en líneas de										Proceso	BP 2020	
Owner del proyecto	Alan Cooper Florencia										Fecha Inicio	23/10/2019	
Director Sponsor	Juan Carlos López										Fecha Fin	15/12/2019	
Área del negocio	Pesa										Status	Proyecto en Ejecución	
Grupo	Técnico y Cadena de Suministro												
Tipo	Costos												
1. Antecedentes													
En la empresa Plásticos Ecuatorianos S.A. no se cuenta con un banco de capacitores que permita corregir el factor de potencia, por lo cual, se debe pagar una penalización y adicionalmente se incumple con un requerimiento de la ARCONEL en la cual, si mantenemos este bajo factor de potencia se cancelará el suministro de energía eléctrica por parte de CNEL, problema que ya fue notificado.													
2. Situación Actual						3. Situación Futura							
No se tiene bancos de capacitores, por lo que, tenemos un bajo factor de potencia 0.87. Y una penalización de promedio de \$ 7 000						Mejora del factor de potencia a 0.92 o más, para evitar el pago de la penalización y tener continuidad con el suministro de energía eléctrica.							
4. Objetivo													
Mejorar factor de potencia y dejar de pagar penalización a CNEL													
5. Ahorro Mensual 2020													
Monto total		55.104,04											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Energía eléctrica	Costos	5.991,00	5.661,82	5.332,65	5.003,47	4.674,30	4.345,12	4.015,95	4.015,95	4.015,95	4.015,95	4.015,95	4.015,95
* Incluir los rubros en miles de dolares													
6. Observaciones						7. Recursos							
Carry-Over	No	Monto		0,00									
Indicar el monto total de ahorro por año, en caso que dure más de un año.													
	2021	2022	2023	2024									
	0,00	0,00	0,00	0,00									
* Incluir los rubros en miles de dolares													
						2020	2021	2022	2023	2024			
						Opex	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						Capex	14.540,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						Headcount	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						Costo Laboral	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						* Incluir los rubros en miles de dolares							

Elaborado por Autor

Para realizar este estudio se recopiló información de todo el año 2019 de las facturas de energía eléctrica.

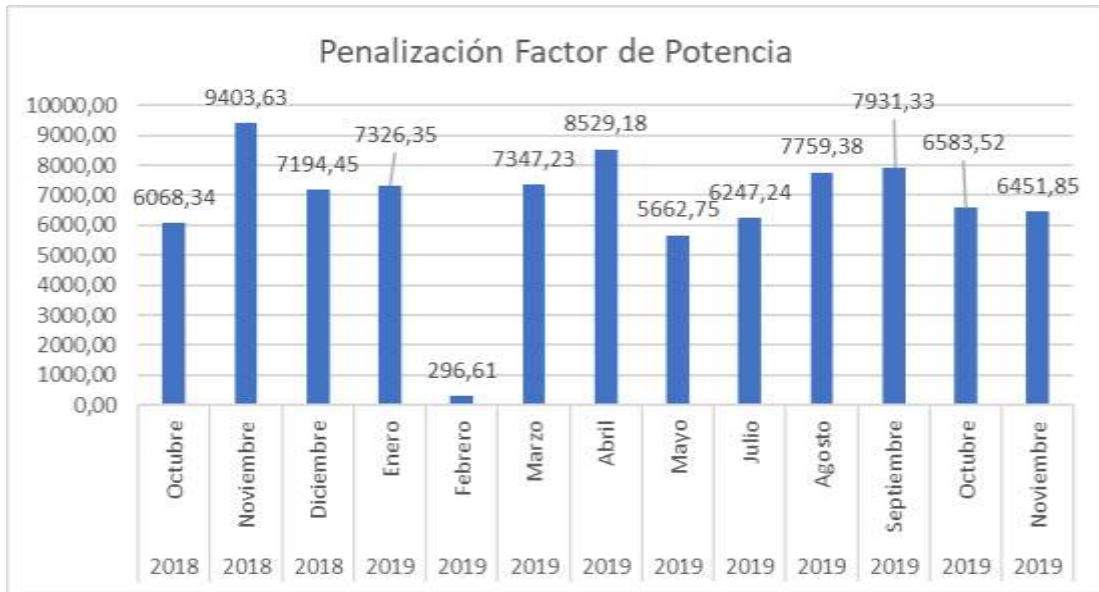


Ilustración 30: Penalización por bajo factor de potencia
Elaborado por Autor

En la siguiente ilustración 31 se puede observar que la inversión se paga en 3 o 4 meses desde su instalación, se contempla un menor valor de ahorro en el 2020 debido a la disminución de la carga que va a tener la planta, pero igual se tiene un ahorro de \$55.104,04, vs la inversión que es de \$14.540,86, por lo que es necesaria la implementación del banco de capacitores por optimizar el uso de recursos.

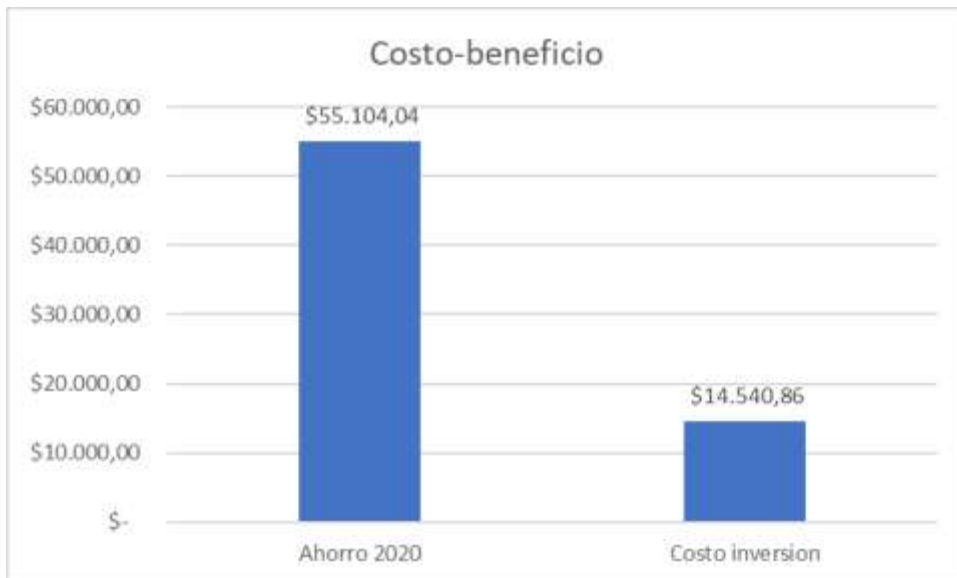


Ilustración 31: Costo beneficio
Elaborado por Autor.

Capítulo 4: Propuesta y resultado de implementación

4.1. Antecedentes

Tomando en cuenta los registros de la facturación de energía eléctrica en el periodo del 2018-2019 en el que se está pagando una cantidad considerable por el pago de una penalización de bajo factor de potencia, se le comunica al directorio la propuesta del proyecto de instalación de 3 bancos de capacitores en líneas de media tensión (2 bancos de 3x100KVAR en el ramal de inyección y 1 banco de 3x200KVAR ramal expandido).

4.2. Elementos de los bancos de Capacitores

En la tabla se detalla los elementos principales en los bancos de capacitores.

Tabla 5: Elementos del sistema

Cantidad	Accesorios
20	Conductores
9	cajas porta-fusible con rompe carga 15KV
9	Tira fusible tipo K
2	3x100KVAR
1	3x200KVAR
9	Pararrayos

Elaborado por Autor

4.3. Características de los elementos

4.3.1 Conductores

Los cables para las conexiones de los bancos son de procedencia nacional, se utiliza un cable ACSR # 2.

Tabla 6: Conductores

Marca	INCABLE
Procedencia	Ecuador
Modelo	Aluminio con filamento de acero
Tipo	ACSR 2
Color	Gris
Amperaje	184 A
Calibre	2
Voltaje	15KV

Elaborado por Autor

4.3.2 Caja porta fusible con rompe carga 15KV

La caja porta fusible con rompe carga sirve para eliminar el arco eléctrico al momento de hacer la reconexión del fusible con carga en el sistema.

Tabla 7: Caja porta fusible con rompe carga 15 KV

Marca	ABB
Procedencia	Suiza
Modelo	Con rompe carga
Tipo	K
Color	Gris
Voltaje	15KV

Elaborador por Autor

4.3.3 Tira fusible tipo K

Para un disparo más rápido en caso de un disturbio eléctrico en la línea se instala fusible 40K.

Tabla 8: Tira fusible tipo K

Marca	ABB
Procedencia	Suiza
Modelo	40 K
Tipo	K con rompe carga
Voltaje	15KV

Elaborado por Autor

4.3.4 Banco de Capacitores 100 KVAR

Se instalan 2 bancos de 3x100KVAR en el ramal de inyección, ya que en este ramal están la mayor cantidad de máquinas que se van a ir en un futuro y se pensó en quitar un banco de funcionamiento cuando empiece a reducir el consumo total de la planta.

Tabla 9: Banco de Capacitores 100KVAR

Marca	COOPER Power Systems
Procedencia	USA
Modelo	CEP13148
Capacitancia	4,19 μ f
Potencia reactiva	100KVAR
Tipo	EX-7L
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	7960 V

Elaborador por Autor

4.3.5 Banco de Capacitores 200 KVAR

Este banco va a ser instalado en el ramal de inyección que se encuentra más cercano a la subestación.

Tabla 10: Banco de capacitores 200KVAR

Marca	EATON
Procedencia	USA
Modelo	CEP17040A1
Capacitancia	8,37 μ f
Potencia reactiva	200KVAR
Tipo	SD
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	7960 V

Elaborado por Autor

4.3.6 Pararrayos

Cada banco de capacitores debe tener un pararrayos como protección ante las descargas atmosféricas.

Tabla 11: Pararrayos

Marca	ABB
Procedencia	Suiza
Modelo	POLIM-K
Tipo	K
Color	Gris
Voltaje	15KV

Elaborado por Autor

4.4. Costo de Implementación.

Los elementos o accesorios para utilizarse han sido cotizados en el medio local nacional, por lo que cuando se decida implementar la propuesta puede estar sujeta a variación de precios.

Tabla 12: Listado de materiales y mano de obra

Cantidad	Accesorios	Costo unitario	Costo total
20	Conductores	\$ 0,44	\$ 8,80
9	cajas porta-fusible con rompe carga 15KV	\$ 201,25	\$ 1.811,25
9	Tira fusible tipo K	\$ 1,84	\$ 16,56
2	3x100KVAR	\$ 2.700,00	\$ 5.400,00
1	3x200KVAR	\$ 3.350,00	\$ 3.350,00
9	Pararrayos	\$ 40,25	\$ 362,25
1	Mano de obra		\$ 1.800,00
1	Pruebas		\$ 1.792,00
		Costo implementación	\$14.540,86

Elaborado por Autor

4.5. Resultado Implementación

Como se demuestra en la ilustración 32, se puede observar en la medición realizada en los medidores ION que el factor de potencia se encuentra en 0.98, por lo que según los resultados se tiene un valor por encima de los que requiere la normativa vigente que es de 0.92.



Ilustración 32: Factor de potencia Corregido

Elaborador por Autor

Conclusiones

El costo-beneficio de la implementación pronostica un ahorro de \$55,000.00 en el año 2020, teniendo en consideración la disminución de las máquinas que van a ser trasladadas a lo largo del año. Al realizar esta implementación la empresa pudo cumplir con las disposiciones legales emitidas por la ARCONEL y así poder mantener el suministro de energía eléctrica.

Como se demuestra en la ilustración: 32, la implementación de los bancos de capacitores cumplió con su propósito y se pudo mejorar el factor de potencia de la planta a 0.99 en promedio en el mes de enero, dato obtenido en los medidores ION, evidenciado en el anexo 11.

Así mismo se demostró a la gerencia que este tipo de penalizaciones debieron haber sido resueltas con mayor anticipación ya que se estuvo pagando un rubro innecesario por más de un año y esto perjudica tanto a la empresa como a los colaboradores, ya que los costos de producción aumentan y el precio de los productos también se ven afectados.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un mantenimiento anual a los bancos de capacitores donde se realicen las pruebas de capacitancia y resistencia de aislamiento, así como un mantenimiento preventivo a todo su conexionado eléctrico.

Es importante realizar un seguimiento mensual sobre cómo se sigue comportado el factor de potencia y mediante se vaya disminuyendo la carga hay que monitorear el consumo para deshabilitar el 1 banco de 3x100KVAR, para no tener cargas capacitivas en la red, que también es penalizado por CNEL.

Es necesaria el cambio de las celdas de media tensión por interruptores con gas encapsulado SF6, para tener una mejor protección selectiva en el despeje de fallas en el sistema, ya que estas celdas no protegen al sistema contra sobrecargas eléctricas.

Referencias

- Alejandro, D. A. (2007). *Manual de inyección de plásticos*.
- Barros, W. (1981). Corrección del factor de potencia.
- Beltran, A., & Marcillo, A. (2012). *Tecnología de Polímeros*. M. Beltran y A. Marcillo.pdf.
- CELEC. (2010). *Glosario de términos Sistema Eléctrico Ecuatoriano*.pdf.
CELEC.
- Cutti, R. (2010). Análisis técnico reducción del pago por energía reactiva de acuerdo al pliego tarifario y normas vigentes en medianas industria.
- Del Pozo, H. (2015). *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*.
- EFENERGIA. (2010). Instalaciones eléctricas. *EFENERGIA*.
www.efenergia.com
- Garza, C., Martínez, R., & Molina, S. (2011). Análisis de factibilidad técnica y económica de corrección de factor de potencia con bancos de capacitores distribuidos en Valeo sistemas electrónicos S. de R.L de C.V 109.
- GONZALEZ, F. (2010, septiembre 4). Factor de potencia y mejoramiento del factor de potencia [Telergia.blogs.com]. *TELERGIA*.
- Iza, K. (2018). Diseño y construcción de dos transformadores monofásicos para suministro trifásico en conexión delta abierta con control de voltaje mediante TAPS fijos para el laboratorio de sistemas eléctricos de potencia.

Jaimes, D. G. J. (2006). Optimización del proceso de termoformado en polipropileno para envases.

MatyPro. (2012). *Introducción a la tecnología del Plástico.pdf*.

Pérez, J. P. G. (2014). *La industria del plástico en México y el mundo*. 4.

Proceso Soplado.jpg. (s. f.).

Ramal, M. (2003). Componente: Industria de derivados de la petroquímica.

Rave, R. (s. f.). *Extrusión de Películas Multicapa*.


REGULACIÓN-Nro.-ARCONEL-002-17.pdf. (s. f.).

Rossa Sierra, A. (2011). *Imagen Extrusora .pdf*.

TORRES GUTIERREZ, D. O. (2017). Localización óptima de capacitores en redes de distribución para mejorar la eficiencia energética del sistema eléctrico Chungar-Volcan.

Anexos

Anexo 1 Carta CNEL

 www.cnelap.gob.ec

Oficio Nro. CNEL-GYE-GCL-PP-CNR-2019-006-OF
Guayaquil, 23 de octubre de 2019

Asunto: Compensación de bajo factor de potencia del servicio eléctrico a nombre de HIDROSANBARTOLO S.A.
Consumo Propio: PLASTICOS ECUATORIANDOS
Cuenta Contrato: 200024695260
Dirección: VIA DAULE KM. 8,5 PB . FTE.ANT.M.CARMITA

De mi consideración:

Estimado Cliente, su historia de facturación está mostrando que su servicio registra un Factor de Potencia por debajo de 0.92; y de acuerdo al Pliego Tarifario vigente en el numeral 11, en concordancia con el Art. 27 de la Codificación del reglamento de Tarifas: "Cargos por bajo Factor de Potencia", instruye que: "Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0.92, **la facturación total mensual será recargada**; la penalización por bajo factor de potencia será igual a la facturación mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicada por el siguiente factor:

$$Bfp = (0.92/fpr) - 1$$
, donde:
Bfp = Factor de penalización por bajo factor de potencia.
Fpr = Factor de potencia registrado".

Base Legal:


La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, en los siguientes artículos:
Artículo 5.- Obligaciones de los consumidores o usuarios finales, numeral 3: Utilizar de forma eficiente la energía eléctrica.

En su título VI, Eficiencia Energética, Artículo 74, Objetivos, numeral 3: Propiciar la utilización racional de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales;
Numeral 4: Incentivar la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía, para promover la competitividad.
Por las consideraciones de orden legales, regulatorios y técnicos procedo a notificarle en legal y debida forma para que adecue sus instalaciones a fin de alcanzar un factor de potencia de 0.92 como mínimo.

En virtud de lo expuesto, se le concede un plazo de **1 mes improrrogable**, a partir de la recepción de la presente comunicación, para corregir su factor de potencia, **caso contrario se procederá a la suspensión del servicio eléctrico**.

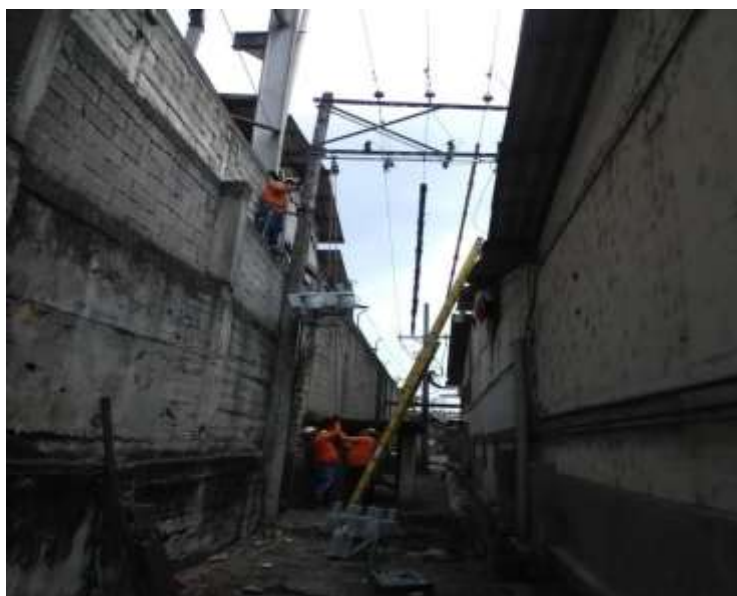
Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,


Ing. Javier León Piguaya
LÍDER DE CLIENTES ESPECIALES, ENCARGADO
CNEL EP - Unidad de Negocio Guayaquil

Ciudadela Guayaquil, sector 3, vial 42 y Guayaquil, Tel.: 04 200 1000
Atención al cliente: 0800 000 000

Anexo 2 Instalación de banco de capacitores 3x100KVAR ramal inyección



Anexo 3: Instalación de capacitores 3x200KVAR ramal Expandido.



Anexo 4: Realizando conexiones estrella en bancos de capacitores 3x200KVAR ramal expandido.



Anexo 5 Realizando conexiones estrella en bancos de capacitores 3x100KVAR ramal inyección.



Anexo 6 Banco de Capacitores 200KVAR ramal expandido instalado



Anexo 7 Instalación de protección en banco de capacitores 3x100KVAR ramal inyección.



Anexo 8 Porta fusible con tira fusible y rompe carga



Anexo 9 Conexión de segundo banco de capacitores 3x100KVAR ramal inyección.



Anexo 10 Armado de portafusibles para protecciones de los bancos de capacitores



Anexo 11 Verificación de corrección de factor de potencia en medidores ION



Anexo 12 Segunda verificación de corrección de factor de potencia en medido ION



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Cooper Florencia Alan Xavier con C.C: # 0921982633 autor del trabajo de titulación: Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos, previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico) en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 10 de febrero del 2020

f. _____

Nombre: Cooper Florencia Alan Xavier

C.C: **0921982633**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Implementación de tres bancos de condensadores para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica Plásticos Ecuatorianos.		
AUTOR(ES)	Alan Xavier Cooper Florencia		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Daniel Bayardo Bohórquez Heras		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad Técnica para el desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	10 de febrero del 2020	No. DE PÁGINAS:	64
ÁREAS TEMÁTICAS:	Industria Plástica, Industria Alimenticia, Distribución eléctrica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Medidor ION, Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica, capacitores, Media tensión, CNEL (Corporación Nacional de Eléctrica)		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En la empresa Plásticos Ecuatorianos S.A. Se está pagando una penalización por bajo factor de potencia y adicional CNEL envió una notificación de quitarnos el suministro de energía eléctrica, por estar incumplimiento en la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica, debido a esta situación ha motivado a realizar el proyecto de "Implementación de 3 banco de capacitores en media tensión, para el mejoramiento del factor de potencia y poder cumplir con lo que estipula la ley". En el desarrollo primero se recolecta información respecto a las maquinarias y equipos que trabajan con el sistema; luego se realiza una recolección de información sobre los consumos promedios y el factor de potencia promedio, para poder realizar un correcto dimensionamiento de los equipos instalado en la empresa Plásticos Ecuatorianos, en la cual se evidencia que tiene que realizar una solución rápida y eficaz para cumplir con la ley. Por lo que se propone la instalación de los bancos de capacitores en media tensión para la corrección inmediata del bajo factor de potencia. En el proyecto se utilizó investigación exploratoria, científica y descriptiva; exploratoria al realizar las mediciones a las líneas y descargar historiales de consumo de los medidores ION; científica al hacer los cálculos del correcto dimensionamiento de los equipos a adquirir; y descriptiva para comunicar adecuadamente la investigación.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-	E-mail: alanxavier_cooper@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: ING. PHILCO ASQUI LUIS ORLANDO		
	Teléfono: +593-4-980960875		
	E-mail: philco_7@hotmail.com		
SECCION PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACION:			
DIRECCION URL (tesis en la web):			