



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y  
APLICADAS**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ  
DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PARA DETERMINAR LA CARGABILIDAD  
DEL TRANSFORMADOR”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ing.  
Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autores:**

GALARZA JAYA MARCO  
ORLANDO

RAMÍREZ CARRERA DAVID  
EDUARDO

**Director:**

Ing. Vicente Quispe

Latacunga-Ecuador

Mayo 2016



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Galarza Marco y Ramírez David con el título de Proyecto de Investigación: **“SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PARA DETERMINAR LA CARGABILIDAD DEL TRANSFORMADOR”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, 9 de mayo del 2016

Para constancia firman:

.....  
Ing. Ángel León

LECTOR 1

.....  
Ing. Secundino Marreno

LECTOR 2

.....  
Ing. Javier Proaño

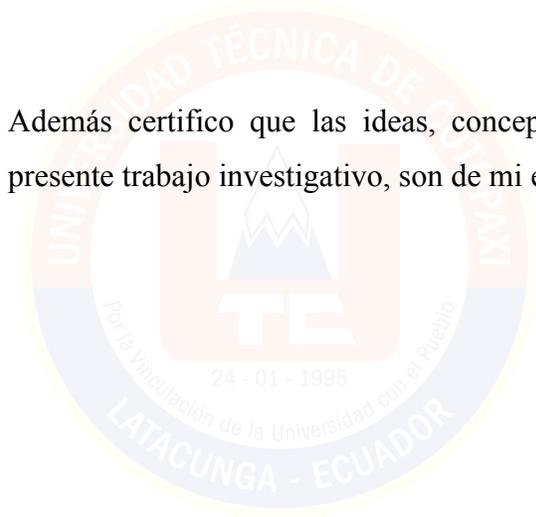


LECTOR 3

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Nosotros Galarza Marco y Ramírez David declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “Simulación de la subestación José maría moral, cantón pujilí de la provincia de Cotopaxi, para determinar la cargabilidad del transformador” siendo Ing. Vicente Quispe director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

.....  
GALARZA JAYA

MARCO ORLANDO

180431625-3

.....  
RAMIREZ CARRERA

DAVID EDUARDO

050256252-3



## AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema:

**“SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PARA DETERMINAR LA CARGABILIDAD DEL TRANSFORMADOR”**, de Galarza Marco y Ramírez David de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga/Mayo/2016

El Director

.....

Ing. Vicente Quispe

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis hermanos que son mi apoyo en todo momento y me dieron las pautas para que no me dé por vencido.

A mi hija la que fue el motor y mi fortaleza para seguir con mi carrera y no darme por vencido.

De todo corazón aquella mujer muy especial, a quien amo mucho, mi esposa, que con su valor y entrega ha sido una persona incondicional para la culminación de mi carrera mejer que me sabe apoyar en todo momento.

*David*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Familia que siempre me han apoyado con todo lo que necesitado a mis padres en especial quienes han sacrificado su vida por darme una mejor vida, me han aconsejado, motivado y creyeron en mí en todo momento.

A mis hermanos que son mi apoyo, quienes han estado incondicionalmente tendiéndome su mano en lo que necesitaba.

*Marco*

## **DEDICATORIA**

Esta trabajo se lo dedico a mi familia quienes por ellos he logrado culminar una meta más en mi vida.

A mi esposa que en todo este momento a mi lado y ha sido la persona que me ha empujado culminar este proyecto.

A mi hija la que ha sido mi mayor motivación para no rendirme en mis estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

*David*

## **DEDICATORIA**

A mis Padres Milton y Carmen, por los consejos, abnegación, paciencia y el más grande amor que han sabido brindarme.

A mis hermanos Iván y Diana, pilares fundamentales en mi vida, que me has sabido guiar por el buen camino y brindarme su ayuda para culminar con mi carrera.

*Marco*

## INDICE

### Contenido

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INFORME DEL DIRECTOR Y TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	6
<b>INFORME</b> .....	6
<b>FORMULARIO DE PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	7
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	7
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	10
<b>3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	10
<b>4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b> .....	11
<b>5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	11
<b>6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA:</b> .....	12
<b>6.1 SUBESTACION ELECTRICA</b> .....	12
<b>6.2 TRANSFORMADOR</b> .....	15
<b>6.3 OPERACIÓN DE SUBESTACIONES</b> .....	16
<b>6.4 OPERACIONES BAJO CONDICIONES DE SOBRECARGA</b> .....	17
<b>6.5 CONDICIONES OPERACIONALES NORMALES DEL TRANSFORMADOR</b> .....	18
<b>6.7 USUARIOS</b> .....	18
<b>7. OBJETIVOS</b> .....	19
<b>7.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	19
<b>7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</b> .....	19
<b>8. OBJETIVOS ESPECIFICOS, ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA</b> .....	20

<b>9.</b>	<b>RESULTADOS E IMPACTOS LOGRADOS .....</b>	<b>20</b>
<b>9.1</b>	<b>SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN PUJILÍ.....</b>	<b>20</b>
<b>9.2</b>	<b>OBTENCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>20</b>
<b>9.3</b>	<b>TABULACIÓN DE LOS DATOS .....</b>	<b>21</b>
<b>9.4</b>	<b>PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>21</b>
<b>9.5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>10.</b>	<b>VALORACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA .....</b>	<b>25</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>12.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>27</b>
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>28</b>
<b>13.1</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>28</b>
<b>13.2</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL.....</b>	<b>28</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>30</b>

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS Y INGENIERÍAS Y APLICADAS**

**TITULO:** “Simulación de la subestación José María Moral, cantón Pujilí de la provincia de Cotopaxi, para determinar la cargabilidad del transformador”

### **Autores:**

GALARZA JAYA MARCO ORLANDO

RAMÍREZ CARRERA DAVID EDUARDO

### **RESUMEN**

El crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el Ecuador es constante, ya que la electricidad es utilizada tanto en zonas urbanas como zonas rurales, es por este motivo que la energía es considerada como servicio básico.

Es el incremento de esta demanda por lo que continuamente se crean nuevas centrales de generación, por lo cual se debe manejar conjuntamente los proyectos de transmisión, subtransmisión, distribución de energía eléctrica y transformadores. Los transformadores son quizá las máquinas eléctricas más importantes y es en estos que se debe tener mayor énfasis en el momento de realizar el estudio de proyección de demanda por motivos económicos, de calidad, disponibilidad y confiabilidad; y mismo que es el factor determinante para la realización del proyecto.

En la presente simulación se realizó un análisis de cargabilidad para determinar cuál es la situación actual del transformador en la subestación José María Morán del Cantón Pujilí de la Provincia de Cotopaxi ya que se cuenta con 2 (dos) alimentadores que abastecen de energía eléctrica al Cantón.

Para el análisis pertinente, en el presente proyecto de investigación se utilizó el software de simulación “NEPLAN” y así determinar la cargabilidad y bases de datos concedidas por la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi “ELEPCO S.A.”.

Se concluyó el diagnóstico actual del transformador de la subestación antes mencionada para conocer la cargabilidad de la misma y se determinó que en horas pico (18:00 – 22:00) el transformador está sobrecargado al 14% de su capacidad nominal.

# UNIVERSITY TECHNICAL OF COTOPAXI

## ACADEMIC UNIT OF SCIENCE OF ENGINEERING AND APPLIED

**TOPIC:** “JOSE MARIA MORAL SUBSTATION EXAMPLE IN PUJILI CANTON COTOPAXI PROVINCE TO DETERMINE THE CHARGABILITY TRANSFORMER”.

### **Authors:**

GALARZA MARCO

RAMÍREZ DAVID

### **ABSTRACT**

In Ecuador, the increase in the demand of electrical energy is constant, because the electricity is used in the urban and rural areas and this is the reason why it is considered like a basic service. For that increase in demand that so new electric stations are created continually, so the project of transmission, subtransmission, electricity energy distribution and transformers should be manages together. The transformers are, maybe, the most important electrical machine and should be emphasis in the developing of a demand projection study for reasons such as the economic, quality, availability and the reliability. In the following example was performed a chargeability analysis to determine the current status of the substation José María Morán from Pujilí canton in Cotopaxi Province, it substation counts with two electrical feeders that provide electricity to the canton. For the relevant analysis, in this research project we use the simulation software "NEPLAN" to determinate the chargeability and use to databases granted by Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi “ELEPCO S.A.”. Finally, it was concluded that to know the chargeability of the substation, the current diagnosis about the transformer is overloaded at peak hours to 14% of its rated capacity.

## **AVAL DEL ABSTRACT**

Yo Msc. Alison Mena Barthelotty con número de cédula 050180125-2, Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico haber revisado y corregido el resumen en inglés de la Tesis con el tema **“SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PARA DETERMINAR LA CARGABILIDAD DEL TRANSFORMADOR”** realizado por los señores Galarza Jaya Marco Orlando y Ramirez Carrera David Eduardo de la especialidad Ingeniería Eléctrica.

Y para que conste a los efectos oportunos, expido el presente documento, a petición del interesado.

Latacunga, 10 de Mayo del 2016

Atentamente,

.....

Msc. Alison Mena Barthelotty

**DOCENTE CCI-UTC**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS Y INGENIERÍAS Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE**  
**POTENCIA**

Latacunga 15 de abril del 2016

Estimado(a)

Ing. Ángel León

Coordinador de Carrera

Presente.

Yo, Galarza Jaya Marco Orlando, con cédula de ciudadanía No 180431625-3, y Ramírez Carrera David Eduardo, con cedula de ciudadanía No 050256252-3 en calidad de estudiantes de la Carrera de ingeniería Eléctrica en sistemas eléctricos de potencia de la Unidad Académica de Ciencias e la ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, solicitamos a usted se nos digne autorizar la inscripción del tema:

**SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PARA DETERMINAR LA CARGABILIDAD DEL TRANSFORMADOR** en la modalidad de Trabajo de Titulación.

Proyecto de investigación	X
Otra Modalidad asignada por la carrera	

Línea de investigación: Explotación y diseño de sistemas eléctricos

Sublíneas de Investigación de las Carreras: Diseño de sistemas eléctricos

Área donde propone desarrollar la investigación: Ingeniería, y tecnología eléctrica

Período: 2 meses

Este proyecto se enfoca en la simulación de la subestación Pujili ya que han pasado tres años desde que la subestación esta en funcionamiento, por lo cual la demanda del cantón ha variado notablemente, lo que se pretende realizar mediante los datos obtenidos de dicha subestación, realizar una simulación real, para conocer el estado actual del transformador, y dar una evaluación técnico económica, que seria lo mas factible para la subestación, si el cambio del transformador, o trabajar con el transformador a plena carga también tenemos que tomar en cuenta que actualmente está alrededor de los 4.5 MW en las horas de máxima demanda y la potencia instalada de la S/E Pujilí es de 5 MW

Para cuyo efecto conozco y acepto las disposiciones establecidas en las reglamentaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi para el proceso de titulación.

Atentamente,

Nombres: Galarza Jaya Marco Orlando

Dirección: Ambato

Teléfono:032436574

Celular: 0995821654

Correo electrónico: magos\_g@hotmail.com

Firma:

Nombres: Ramírez Carrera David Eduardo

Dirección: Latacunga

Teléfono: 032804687

Celular: 0987085049

Correo electrónico: tobias\_0706@hotmail.com

Firma:

# **INFORME DEL DIRECTOR Y TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

## **DATOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

### **Nombre de los Estudiantes:**

Galarza Jaya Marco Orlando

Ramírez Carrera David Eduardo

### **Título del Proyecto**

SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ.

### **Sub línea de Investigación.**

Explotación y diseño de sistemas eléctricos

## **DATOS DEL DIRECTOR DE PROYECTO**

Ing. Vicente Javier Quispe Toapanta

INFORME

Evalúe el progreso del Proyecto de Investigación con relación a lo establecido en el plan de investigación y al desarrollo de las actividades formativas

Favorable

Desfavorable

Fecha: Latacunga, abril 14 del 2016

.....  
**Director de Proyecto de Investigación.**

# FORMULARIO DE PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### Título del Proyecto:

**SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN JOSÉ MARÍA MORAL, CANTÓN PUJILÍ.**

### Tipo de Proyecto:

- |                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Investigación formativa    | <input type="checkbox"/>            |
| 2. Investigación Aplicada     | <input type="checkbox"/>            |
| 3. Investigación Evaluativa   | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4. Investigación Experimental | <input type="checkbox"/>            |
| 5. Investigación Tecnológica  | <input type="checkbox"/>            |

### Propósito:

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| - Obtener información para plantear proyecto de mayor trascendencia | <input type="checkbox"/>            |
| - Dar atención a problemas o necesidades locales                    | <input checked="" type="checkbox"/> |
| - Establecer relación con otras entidades                           | <input type="checkbox"/>            |
| - Resolver problemas identificados en la universidad                | <input type="checkbox"/>            |

### Fecha de inicio:

15 de Febrero del 2016

### Fecha de finalización:

13 de Abril del 2016

### Lugar de ejecución:

Sierra, Cotopaxi, Pujili, Inchapo

### Unidad Académica que auspicia

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica en Sistemas de Potencia

### Equipo de Trabajo:

- ✓ *Marco Orlando Galarza Jaya*
- ✓ *David Eduardo Ramírez Carrera*

## HOJA DE VIDA

### DATOS PERSONALES:

**NOMBRES Y APELLIDOS:** Vicente Javier Quispe Toapanta  
**FECHA DE NACIMIENTO:** 1983-12-09  
**CEDULA DE CIUDADANÍA:** 0502918014  
**ESTADO CIVIL:** Soltero  
**NUMEROS TELÉFONICOS:** 0984-700557 / 032729394  
**E-MAIL:** viche\_chente09@yahoo.comvicente,  
quispe@utc.edu.ec

### ESTUDIOS REALIZADOS:

**NIVEL PRIMARIO:** Escuela “Federico Gonzales Suarez”  
**NIVEL SECUNDARIO:** ITS “Ramón Barba Naranjo”  
**NIVEL SUPERIOR:** Escuela Politécnica Nacional  
**NIVEL SUPERIOR:** Universidad Técnica de Cotopaxi

### TÍTULOS:

**PREGRADO:** Ingeniero Eléctrico (2 009)

## HOJA DE VIDA

### DATOS PERSONALES:

**NOMBRES:** David Eduardo  
**APELLIDOS:** Ramírez Carrera  
**CEDULA DE CIUDADANIA:** 050256252-3  
**ESTADO CIVIL:** Soltero  
**DIRECCIÓN DOMICILIO:** Rio Aguarico 1-33 y Rio Coca Las Fuentes Latacunga  
**TELEFONOS:** 032-804-687 Cel. 0987085049

**INSTRUCCIÓN:**

**PRIMARIA:** Escuela Fiscal “Isidro Ayora” (Latacunga).

**SECUNDARIA:** Instituto Tecnológico Superior “Ramón Barba Naranjo” (Latacunga).

Título adquirido en Bachiller Técnico Industrial

Especialización Electromecánica.

**HOJA DE VIDA**

**DATOS PERSONALES:**

**NOMBRES:** Marco Orlando

**APELLIDOS:** Galarza Jaya

**CEDULA DE CIUDADANIA:** 180431625-3

**ESTADO CIVIL:** Soltero

**DIRECCIÓN DOMICILIO:** Ambato

**TELEFONOS:** 032-436-6574 Cel. 0998749102

**INSTRUCCIÓN:**

**PRIMARIA:** Escuela Fiscal “La Merced” (Ambato).

**SECUNDARIA:** Colegio Técnico Atahualpa (Ambato).

Título adquirido en Bachiller Técnico Electricista.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

La construcción de la S/E Pujilí fue ejecutada con la finalidad de mejorar las condiciones del servicio de energía eléctrica del cantón Pujilí y los barrios San Rafael, Loma Grande, Urb. UNE, Santa Rosa de Pichul y Chugchilan del cantón Latacunga, la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi instaló la S/E de distribución en el cantón de Pujilí, la cual está enmarcada dentro de los estándares de calidad y confiabilidad esta S/E fue inaugurada en Febrero del 2013.

Por lo cual este proyecto se enfoca en la simulación de la subestación ya que han pasado tres años desde que la subestación está en funcionamiento, por lo cual la demanda del cantón ha variado notablemente, lo que se pretende realizar mediante los datos obtenidos de dicha subestación realizar una simulación real, para conocer el estado actual del transformador, y dar una evaluación técnico económica, que sería lo más factible para la subestación, si el cambio del transformador, o trabajar con el transformador a plena carga también tenemos que tomar en cuenta que actualmente está alrededor de los 4.5 MW en las horas de máxima demanda y la potencia instalada de la S/E Pujilí es de 5 MW.

## **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La construcción de la S/E Pujilí fue ejecutada con la finalidad de mejorar las condiciones del servicio de energía eléctrica del cantón Pujilí y los barrios San Rafael, Loma Grande, Urb. UNE, Santa Rosa de Pichul y Chugchilan del cantón Latacunga, la Empresa

Eléctrica Provincial de Cotopaxi instaló la S/E de distribución en el cantón de Pujilí, la cual está enmarcada dentro de los estándares de calidad y confiabilidad establecidos por el CONELEC. Esta S/E fue inaugurada en Febrero del 2013.

La Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi preocupada por el mejoramiento de la calidad de la energía eléctrica que provee a sus clientes en los sectores mencionados y la parroquia de Zumbahua, el crecimiento poblacional de los barrios del cantón Latacunga y Pujilí, ha incrementado la demanda de energía eléctrica que actualmente está alrededor de los 4.5 MW en las horas de máxima demanda y la potencia instalada de la S/E Pujilí es de 5 MW.

La Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi, poseen en la actualidad subestaciones cuyos equipos se acercan al borde de su vida útil, previstos según su diseño original.

Para esta empresa es fundamental en estos momentos, evaluar como modernizar los equipos en sus subestaciones. Sin embargo a veces se presenta el dilema sobre que es más conveniente en el caso particular de cada subestación, si el reemplazo por nuevas tecnología o la “repotenciación” de los mismos.

Para esto, existen varias empresas que nos ofrecen una nueva gama de tecnologías para las subestaciones de alta tensión, sin embargo, para la estimación de lo que resulta más conveniente en este caso.

#### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Los beneficiarios de este proyecto serán la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi y los usuarios de la Subestación José María Urbina.

#### **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En la actualidad la aplicación del conocimiento teórico hacia la práctica es uno de los campos más amplios y aplicables en el ámbito de la Ingeniería, por lo que se trata de buscar proyectos mediante los cuales el desarrollo de metodologías sean complementadas con la práctica.

Éste Análisis se enfoca fundamentalmente a la situación actual de demanda eléctrica que está pasando el país, puesto que con la implementación de las cocinas a inducción la demanda eléctrica será más alta a nivel nacional.

Razones más que suficientes para desarrollar este proyecto. En este trabajo de investigación se presenta una metodología basada en el análisis del costo del ciclo de vida para evaluar la modernización o repotenciación de subestaciones existentes. Con esto, se pretende evaluar no solo varias alternativas para las subestaciones sino también el tiempo de vida útil, su desempeño y sobre todo la factibilidad de aplicación de las nuevas tecnologías. Entre estas

están las de tipo compacto, tecnología que ofrece en un mismo módulo para una S/E, el interruptor, el seccionador y el transformador de corriente. Estas tecnologías traen como ventaja un ahorro considerable en el espacio para la subestación (lo que se traduce en menor cableado para el caso de una reemplazo) así como también, entre otras cosas, mayor confiabilidad y más facilidad en el momento de prestarle mantenimiento al equipo.

## **6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA:**

### **6.1 SUBESTACION ELECTRICA**

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador. Normalmente está dividida en secciones, por lo general 3 principales, y las demás son derivadas.

Además de transformadores, las subestaciones eléctricas están dotadas de elementos de maniobra (interruptores, seccionadores, etc.) y protección (fusibles, interruptores automáticos, etc.) que desempeñan un papel fundamental en los procesos de mantenimiento y operación de las redes de distribución y transporte.

**Grafico N°1. Subestación Eléctrica.**



Fuente: <http://www.dycit.com/>

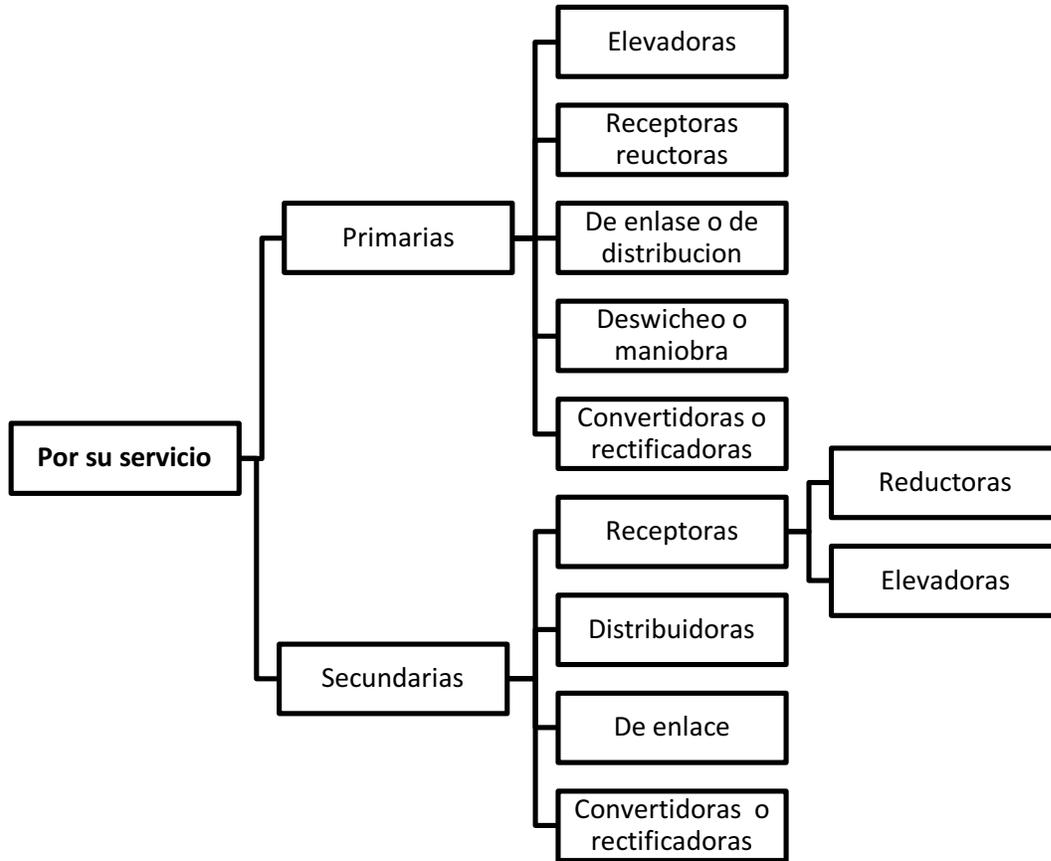
## **CLASIFICACION DE LA SUBESTACIONES ELECTRICAS**

Se clasifican en:

### **A.- Por su operación:**

- 1.- De corriente alterna
- 2.- De corriente continua

**B.-**

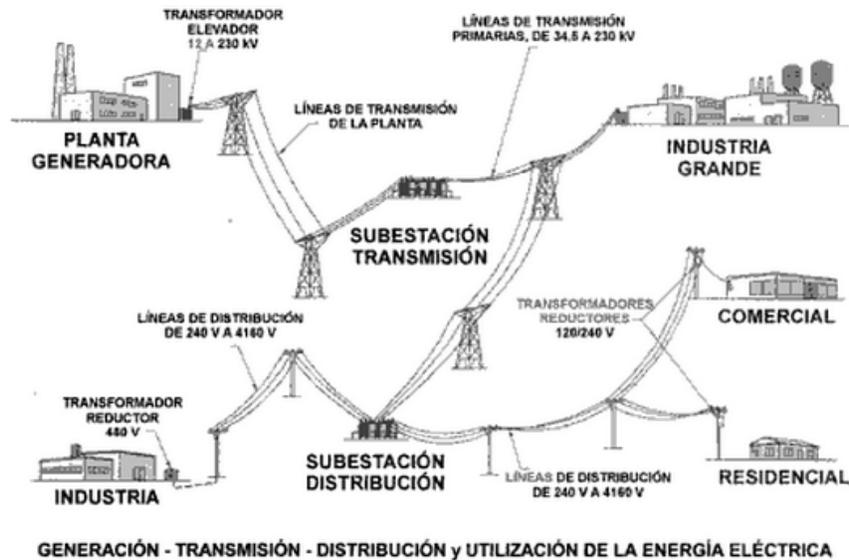


**Elaborado por:** Marco Galarza; David Ramírez

**C.- Por su construcción:**

- 1.- Intemperie
- 2.- Interior
- 3.- Blindado

Grafico N°2. Clasificación de Subestaciones Eléctricas.



**Fuente:** GILBERTO ENRIQUEZ HARPER; (Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Medio y Alto Voltaje; pág.19. 1975)

## 6.2 TRANSFORMADOR

Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos bobinas de material conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo. El núcleo, generalmente, es fabricado bien sea de hierro o de láminas apiladas de acero eléctrico, aleación

apropiada para optimizar el flujo magnético. Las bobinas o devanados se denominan primarios y secundarios según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

**Grafico N°3. Transformador**



**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica)

### **6.3 OPERACIÓN DE SUBESTACIONES**

Operación normal Según Gilberto Enríquez Harper, en su trabajo Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas, manifiesta que “Para que los equipos de una Subestación operen en condiciones operacionales normales deben estar sujetos a los parámetros para los que fueron diseñados y tomando en consideración: La inexistencia de fallas del equipo. La inexistencia de fallas “por causas desconocidas” Uso del aislamiento adecuado. La coordinación del aislamiento. Verificación del blindaje en Subestaciones y líneas y del bajo valor de resistencias al pie de la torre. Revisar que las instrucciones o procedimientos para operación, mantenimiento, etc., sean los apropiados”. Pg. 223-224 Por tanto una Subestación eléctrica opera en condiciones normales siempre y cuando durante el proceso

de diseño se seleccione el equipo adecuado para la operación de la Subestación es decir en base a los diferentes eventos eléctricos que se presentan durante el proceso de operación, y lo más importante sin presentar en lo mínimo interrupciones en el servicio salvo que el caso lo amerite o por fuerza mayor.

#### **6.4 OPERACIONES BAJO CONDICIONES DE SOBRECARGA**

Se puede decir que los equipos de una Subestación trabajan en condiciones de sobrecarga cuando su operación excede a las características nominales que presenta cada equipo provocando de esta manera efectos negativos tales como: Elevación de temperatura: la elevación de temperatura de un transformador o parte de este, sobre la temperatura ambiente, cuando se prueba de acuerdo con su capacidad, no deberá exceder los valores dados. El diseño normal de transformadores está basado en una temperatura ambiente máximo de 40°C o de 30°C promedio en 24 horas y -20°C como mínima. Los transformadores sumergidos en líquido aislante, deben ser diseñados y construidos para soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos producidos. Para otras condiciones de falla, los requerimientos deben ser especificados por los responsables de la aplicación del transformador. Se reconoce que la capacidad de soportar cortocircuitos puede ser afectada adversamente por los efectos acumulados, de esfuerzos mecánicos y térmicos repetidos, como los producidos por cortocircuitos y sobrecargas severas..

#### **Factores de corrección en los kVA nominales para alturas de operación mayores a 1000 msnm (metros sobre el nivel del mar).**

El aumento de la altitud produce disminución en la densidad del aire, la cual a su vez disminuye el calor de la tensión del flameo. La rigidez dieléctrica de algunas partes del transformador que dependen total o parcialmente del aire para su aislamiento, disminuye conforme la altitud.

## **6.5 CONDICIONES OPERACIONALES NORMALES DEL TRANSFORMADOR**

Para que un transformador de distribución opere en condiciones normales, debe estar sujeto a sus características de construcción para las cuales fue diseñado. Los más importantes dentro de un transformador para trabajar en un régimen normal son:

- ✓ Potencia nominal
- ✓ Tensión nominal de primario y secundario.
- ✓ Intensidad nominal de primario y secundario.
- ✓ Relación de transformación.
- ✓ Frecuencia nominal

Al igual que en otros equipos, la potencia máxima que puede suministrar el transformador está limitado por la calidad de sus aislantes, los mismos que se pueden llegar a deteriorar si existe un exceso de tensión o por exceso de temperatura:

- ✓ La tensión máxima del aislante fija la tensión máxima del transformador.
- ✓ La temperatura máxima del aislante, junto con la capacidad de disipación de calor del transformador.

## **6.6 CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN**

Para que un transformador opere en condiciones óptimas debe trabajar conjuntamente con sus características técnicas nominales de construcción, para poder cumplir con la vida útil proyectada para un transformador la cual es de 20 años, sin someter al transformador a sobre corrientes, sobre voltajes; etc.

## **6.7 USUARIOS**

Los usuarios son aquellos que dan uso final de la energía transformada para obtener: luz, agua caliente, imágenes por televisión, movimiento de motores eléctricos etc., considerándose esta como la carga del sistema de distribución la cual varía en función del tiempo. En la página [www.conelec.gov.ec](http://www.conelec.gov.ec) los abonados: “Se clasifican en Residenciales, Comerciales, Industriales, Alumbrado Público y Otros (Entidades oficiales, Asistencia

social, Beneficio público, Bombeo de agua, Escenarios deportivos, Periódicos y Abonados especiales), clasificación que obedece a la aplicación tarifaria de acuerdo con el tipo de servicio entregado por las Empresas Distribuidoras”.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 OBJETIVO GENERAL.**

Analizar el crecimiento de la demanda del cantón, con los datos históricos obtenidos de la subestación, con vista a una repotenciación de la subestación José María Moral con el fin de aumentar la capacidad de potencia eléctrica, para mejorar el servicio de la distribución a los usuarios del cantón.

### **7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- ✓ Recopilar información necesaria para llevar a cabo la simulación de cargabilidad del transformador y establecer el tiempo que está en funcionamiento a plena carga para determinar la vida útil.
- ✓ Determinar la potencia nominal del transformador para los usuarios que formarían parte de la red de distribución de la subestación Pujilí.
- ✓ Realizar propuestas en mejoras y evaluación de la viabilidad técnico económico.

## 8. OBJETIVOS ESPECIFICOS, ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA

Objetivo 1	Recopilación de información	Obtener los datos de los alimentadores, y transformador de la subestación	Utilización del métodos estadísticos(histogramas) para los datos obtenidos de los alimentadores, para obtener la demanda promedio
Objetivo 2	Determinar la potencia necesaria del transformador	Obtener la potencia indispensable que necesita los alimentadores	Mediante la simulación de la subestación obtener datos exactos de la carga actual que necesitaría los usuarios del Cantón.
Objetivo 3	Propuestas de mejora de la subestación	Obtener propuestas de mejora para el transformador de la subestación	Evaluando los resultados obtenidos del estado del transformador, se presenta una propuesta de mejora para la subestación

**Elaborado por:** Marco Galarza; David Ramírez

## 9. RESULTADOS E IMPACTOS LOGRADOS

### 9.1 SIMULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN PUJILÍ

Este proyecto se basa en la simulación de la subestación Pujilí mediante es software Neplan, que nos servirá para determinar la cargabilidad del transformador, ya que la subestación Pujilí fue creada en el 2013, por lo cual la demanda es constante en el sector y dicha subestación no podrá abastecer la demanda si la demanda crese, para el proyecto se tomó los datos de los alimentadores y transformador, tanto como datos necesarios para realizar la simulación.

### 9.2 OBTENCIÓN DE DATOS

Lo principal que se recolecto fue los datos para poder realizar esta simulación como:

- ✓ Datos de transformador instalado.
- ✓ Calibres de conductor (de la línea de la S/E san Rafael hasta la S/E Pujilí).
- ✓ La carga de los alimentadores.

### **9.3 TABULACIÓN DE LOS DATOS**

Con los datos obtenidos de los dos alimentadores ver Anexo 1, se realizó histogramas por cada alimentador obteniendo diferentes curvas diarias, ya que los datos fueron de una semana, por lo cual se necesitaba tener un promedio de consumo, en los días de lunes a viernes, y los días de sábado y domingo.

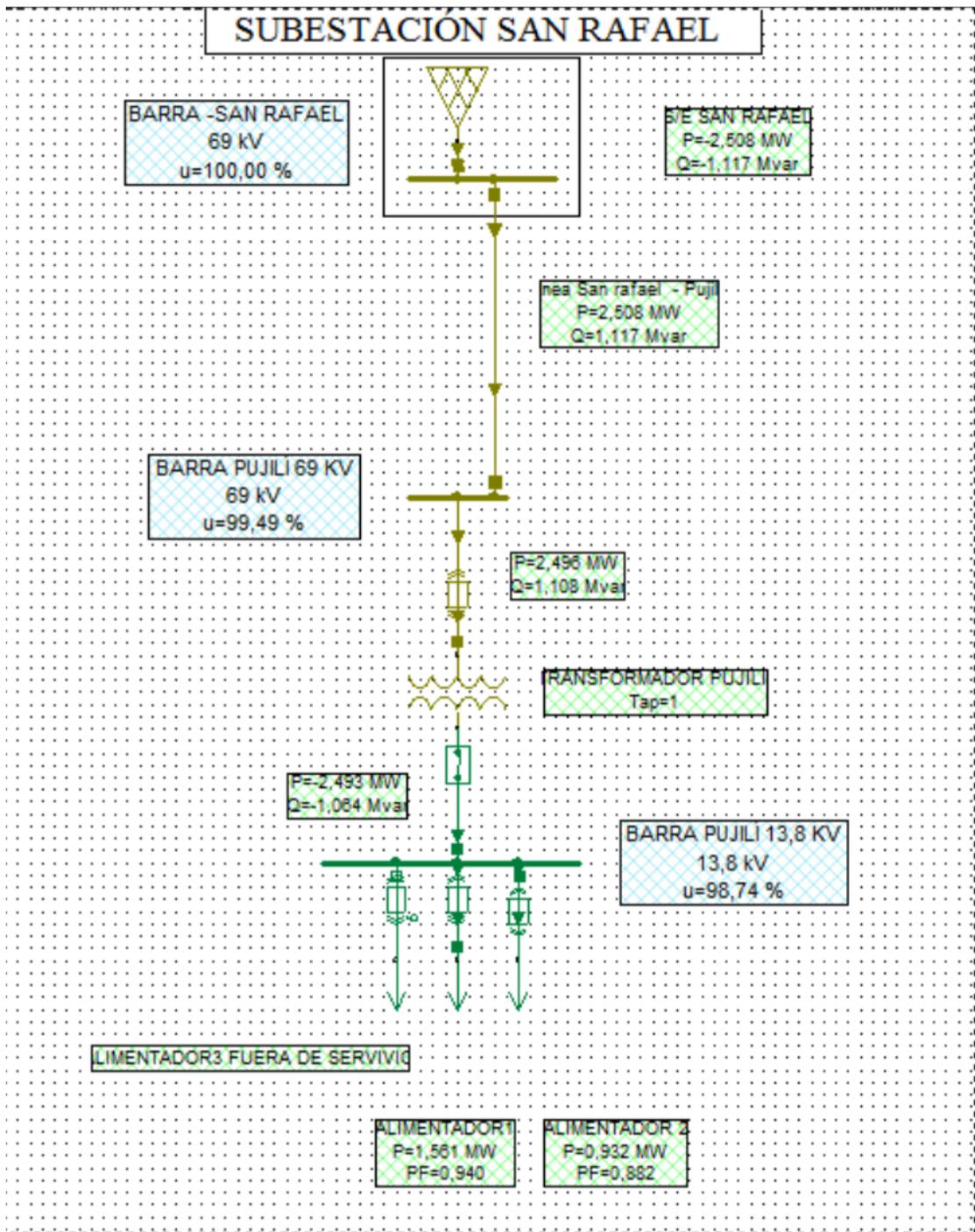
Para así poder correr un flujo de carga con perfiles de carga, médiante el Software Neplan.

### **9.4 PROCEDIMIENTO**

Con los datos ya listos y tabulados se procedió a empezar la simulación, para un mayor estudio se realizó la simulación acopando la línea de 69 kv que alimenta la subestación Pujilí la cual proviene de la subestación San Rafael que está ubicada en el sector de las fuentes y cuenta con una longitud de 8 km hasta la subestación Pujilí.

A continuación se muestra como se realizó la estructura de la simulación y entrada de datos en el software

**Grafico No.4** Simulación de subestación Pujilí



Elaborado por: Marco Galarza; David Ramírez

Los datos del transformador y todos los elementos fueron obtenidos en la empresa ELEPCO.S.A,

El transformador de la subestación Pujilí actual mente cuenta con una potencia de 5 MVA, y consta de tres alimentadores, un alimentador se encuentra fuera de servicio y no está conectado a la red, por lo cual solo contamos con los datos históricos de los dos alimentadores, en la siguiente Grafico No 2 se muestra los datos del transformador de la subestación.

**Grafico No.5** Datos del Transformador ingresados en el software Neplan.

The screenshot shows a software window titled 'Transformador 2 Dev.' with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections for data entry:

- Confiabilidad**: Includes tabs for 'Límites', 'Regulación', 'P. a Tierra', 'SIMPOW-Regulador', and 'Inform.'.
- Más...**: A section for additional parameters.
- Datos de Usuario**: A section for user-defined data.

Key parameters and their values are as follows:

Parámetro	Valor
Nombre:	TRANSFORMADOR PUJILÍ
Tipo:	[Empty field]
Vn1 .. kV:	69
Vr1 .. kV:	69
R(1) .. %:	0,4468
Zcc(1) .. %:	5,83
X(1)/R(1):	13,01
I0 .. %:	0
P fe .. kW:	0
Vn2 .. kV:	13,8
Vr2 .. kV:	13,8
R(0) .. %:	1,27
Zcc(0) .. %:	5,83
X(0)/R(0):	4,48
V01(0) .. %:	0
V02(0) .. %:	0
Sr .. MVA:	5
IEC: Valores de oper. previos al CC	<input type="checkbox"/>
Valores de operac. activ.	<input type="checkbox"/>
Valores Secundarios	
Vb máx .. kV:	0
Ib máx .. A:	0
Cos(phi) b:	0
Valores Primarios	
Vb mín .. kV:	0
pTap .. %:	0

Additional options and settings:

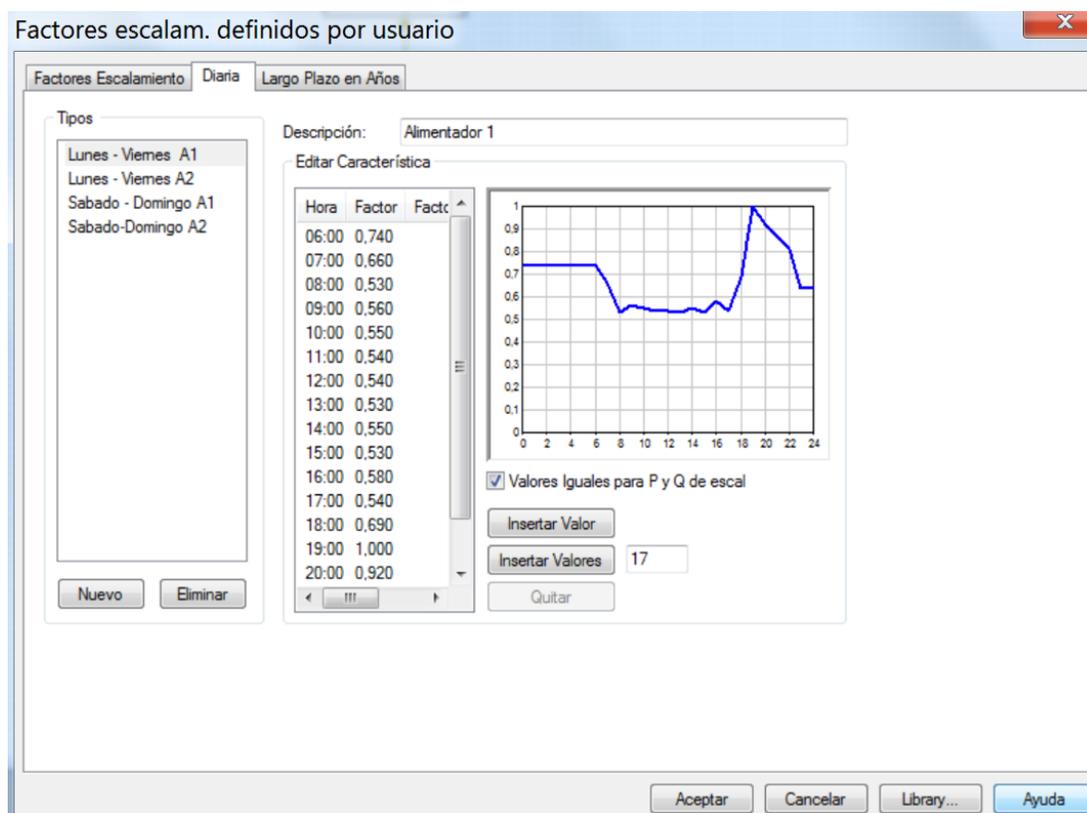
- Camb. Tap bajo carga
- Unid. Transformadora
- Dev. compensador
- Suicheable
- Grupo vectorial: Yd5

At the bottom of the window, there are buttons for 'Copiar', 'Pegar', 'Librería', 'Exportar', 'Aceptar', 'Cancelar', 'Ayuda', and 'Color'.

**Elaborado por:** Marco Galarza; David Ramírez

Mediante los histogramas obtenidos ver en el Anexo 2, se realizó la introducción de los datos en los perfiles escalonamiento para cada alimentador, tomando en cuenta que se realizaron diferentes escalonamientos como pueden ver en el grafico No.6

**Grafico No.6** Ingresos de datos, en los factores de escalonamiento.



**Elaborado por:** Marco Galarza; David Ramírez

**Nota:** Los datos obtenidos de los alimentadores fueron tomados cada hora, a partir de las 06:00 hasta las 22:00, ya que la subestación actualmente no cuenta con un operario que pueda tomar las mediciones en hora de la madrugada, al no tener esos datos no se puede estimar una carga aproximada para esas horas y se realizó, con los datos obtenidos con un total de 17 y no 24 horas.

Los datos ingresados en los factores de escalonamientos están expresados en por unidad, ya que los cálculos reales están en las tablas anexadas ver Anexo 2.

## **9.5 RESULTADOS**

Al tener todo ya cargado en el software se procedió a simular, y comprobar la cargabilidad del transformador y a continuación se muestran los resultados obtenidos, de cada alimentador y transformador en los anexos 3, 4, 5.

Como podemos apreciar en la curva el valor máximo de cargabilidad que tenemos en porcentaje en el transformador es de 114,96% que equivale al 5,24MW, ya que a partir de las 19:00 horas hasta las 20:00 existe una cargabilidad que sobrepasa al 100% se debe a la demanda que tienen los alimentadores en esa hora en específico, el alimentador uno tiene el pico de la demanda a 3,18 MW mientras que el alimentador dos tiene su pico en 2,06 MW, dando un total de 5,24 MW, la capacidad que tiene el transformador es 5MW, según los datos obtenidos el transformador de la subestación sufre una cargabilidad por encima del 100% por el periodo de una hora, aunque alcanza cargabilidades altas en la hora pico que sería de las 18:30 hasta 21:30 siendo las más grave de 19:00 hasta las 20:00.

Al tener estos valores de sobrecarga tan elevados en el transformador, se asume que mientras más pasa el tiempo el transformador pierde su vida útil y se deteriora más rápido.

## **10. VALORACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA**

Actualmente en el Ecuador se encuentra en la construcción de centrales de generación, para cubrir la demanda eléctrica, El propósito es describir al transformador como una entidad económica, en el cual se tiene que invertir para sacar el mayor provecho. Actualmente, las reparaciones de transformadores de potencia en algunas compañías son llevadas a cabo evaluando solamente como alternativa de decisión las diferentes ofertas que proponen los diferentes “reparadores de transformadores”. Cuando tiene carga de trabajo, la reparación de transformadores, representa ocupar un espacio de planta y un tiempo que podría ser utilizado para fabricar un transformador nuevo, con el cual pueden alcanzar una mayor rentabilidad.

Reemplazar un transformador, implica dar de baja como activo el transformador a sustituir y dar de alta el transformador de reemplazo, incrementando el valor de los activos, sin ningún incremento en la capacidad instalada. Desde el punto de vista económico, incrementar los cargos fijos relacionados con el uso del capital para comprar un

transformador nuevo, el incremento del valor de los activos a su vez aumenta el costo financiero derivado del costo del capital, sin ningún incremento marginal del ingreso por venta de energía, puesto que, se está reemplazando solamente la capacidad del transformador.

La decisión de reparar un transformador tiene como objetivos principales, recuperar la disponibilidad del transformador en el mínimo tiempo posible y maximizar la vida residual, minimizando el costo. La importancia de incluir en el alcance de la decisión, el reparar o reemplazar, tiene que ver con la evaluación de la mejora del desempeño en servicio y con el hecho de que la vida residual de un transformador.

Al momento tenemos dos opciones, para realizar en la subestación, seguir trabajando con el transformador sobrecargándolo cada día en las horas pico esto disminuye el tiempo de vida, por lo cual dejaría de cumplir su función sin previo aviso, y ocasionaría pérdidas a los usuarios y una multa a las empresas distribuidoras.

La segunda alternativa es cambiar el transformador teniendo en cuenta la demanda que existe, no solo la demanda actual si no la demanda proyectada, este caso sería la mejor opción pero la más cara económicamente, ya que al cambiar de transformador se vería afectada toda la subestación, y los elementos que la conforman.

Tenemos que aclarar que este análisis se realizó tomando en cuenta la cargabilidad del transformador de la subestación, pero para reemplazar o cambiar el transformador no es suficiente para hacerlo ya que influyen más variables en el proceso de Decisión, de cambiar o reparar el transformador como las siguientes:

- ✓ Número de años en servicio antes de la ocurrencia de la falla o de la necesidad de rehabilitarlo.
- ✓ Vida económica.
- ✓ Tipo y causa de falla.
- ✓ Tasa promedio de fallas.
- ✓ Costo promedio de fallas.
- ✓ Pérdidas en vacío, debidas a la carga y consumo de enfriamiento del transformador a reparar.
- ✓ Factores de evaluación de las pérdidas

- ✓ Vida estimada de la reparación.
- ✓ Incertidumbre de la estimación de la vida.
- ✓ Costo de un transformador nuevo (incluyendo transporte, montaje, instalación y puesta en servicio).

La mejor opción es cambio de transformador no se podría dar un estimado, porque no es un estudio completo para la subestación. El proyecto en si es determinar la cargabilidad para tener una idea del estado actual del transformador.

## 11. CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó la cargabilidad y se evaluó los resultados, los cuales nos informaron que en las horas más críticas para el transformador son las de la hora pico, que va desde las 18:30 hasta las 21:30.
- ✓ El transformador es la máquina eléctrica más importante, no solo por su coste de fabricación, sino también por ser uno de los puntos críticos en cualquier sistema de potencia, es la máquina en donde mayor inversión se realiza y es donde más sentido tiene invertir en un mantenimiento predictivo y preventivo.
- ✓ Después de analizar los resultados que obtuvimos mediante la simulación, se observa que el transformador trabaja 3 horas diarias sobrecargado, por lo mismo se acorta la vida útil del mismo.

## 12. RECOMENDACIONES

- ✓ En cuanto a los datos que arroja el software **Neplan**, son guardados en un archivo y en formato **txt** y es totalmente exportable a una tabla **Excell**.
- ✓ Se recomienda a las Empresa Distribuidora encargada de la subestación Pujilí en este caso Elepco.S.A, realizar estudios, que permitan obtener resultados no solo de cargabilidad, si no, también de demanda actual y proyectada de los alimentadores.
- ✓ Es importante cuando se realice una proyección de demanda en el cantón Pujilí tomar en cuenta que el transformador que se instale no este sobredimensionado, porque sería un costo excesivo.

- ✓ Se recomienda el cambio del transformador en base a los resultados obtenidos en la simulación, por lo cual toda la subestación estaría involucrada en la repotenciación de la misma.

### 13. BIBLIOGRAFIA

#### 13.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

ALEGRE, María. Sistemas operativos en red. Editorial PARANINFO, España 2011.

BALCELLS, José. Eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Editorial MARCOMBO, S.A., España, 2010.

CARLOS RAUL TASIPANTA: Estudio e implementación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas y puesta a tierra de protección de la compañía “Helmerich and Payne del Rig 132”

CROFT, Terrell. Manual del montador electricista: el libro de consulta del electrotécnico. Editorial REVERTE S.A., España.

GILBERTO ENRIQUEZ HARPER; Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Medio y Alto Voltaje

#### 13.2 BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL

[1]

Subestaciones eléctricas;

[http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica)

[Fecha de consulta: 14 de febrero del 2016].

[2]

Clasificación de transformadores

<http://es.scribd.com/doc/52155220/CLASIFICACION-DE-TRANSFORMADORES#scribd>

[Fecha de consulta: 20 de febrero del 2016].

[3]

Protecciones eléctricas.

**<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/seccionadores.pdf>**

[Fecha de consulta: 27 de febrero del 2016].

[4]

Tipos de protecciones eléctricas.

**<http://ie.fing.edu.uy/ense/asign/ese/material/Curso%20estabilidad,%20Protecciones.pdf>**

[Fecha de consulta: 29 de febrero del 2016].

[5]

Ondas eléctricas.

**[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin 2 ondas electromagnticas transversales.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin%202%20ondas%20electromagneticas%20transversales.html)**

[Fecha de consulta: 08 de marzo del 2016].

[6]

Clasificación de líneas de transmisión

**<http://proton.ucting.udg.mx/temas/comunicaciones/lineas/anel.htm>**

[Fecha de consulta: 08 de marzo del 2016].

# ANEXOS