



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA  
SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN  
ELECGALAPAGOS S.A PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS  
CONEXIONES ACTUALES”**

Autores:

Changotasig Sisalema José Luis

Estrella Beltrán Juan Gerardo

Tutor:

Ing. MSc. Medina Salazar Franklin G.

Latacunga - Ecuador

Noviembre 2017



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes José Luis Changotasig Sisalema y Juan Gerardo Estrella Beltrán con el título de Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELECGALAPAGOS S.A PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES.”** 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, Noviembre, 2017

Para constancia firman:

Ing. MSc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

C.I. 0502656424

Ing. MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda

C.I. 1710434497

Ing. MSc. Edwin Marcelo Lema Guamán

C.I. 0302241351



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

**“ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELEGALAPAGOS S.A PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES.”** de José Luis Changotasig Sisalema y Juan Gerardo Estrella Beltrán, de la carrera **INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico, técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Noviembre 2017

El Director

Ing. MSc. Franklin Gonzalo Medina Salazar  
C.I. 0501259618



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Eléctrica

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros José Luis Changotasig Sisalema y Juan Gerardo Estrella Beltrán declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELECGALAPAGOS S.A PARA CONEXIONES ACTUALES”**, siendo El MSc. Medina Salazar Franklin Gonzalo, director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

  
José Luis Changotasig Sisalema

C.I. 2000079000

  
Juan Gerardo Estrella Beltrán

C.I. 0502870223

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestras familias y a Dios por ayudarnos a seguir en esta investigación y darnos fuerzas para culminarla.

A nuestros padres y hermanos que nos dieron un pequeño empujón para culminar los estudios universitarios.

A los Ingenieros de la Universidad por darnos los consejos para este proyecto.

En especial dedicamos este logro las esposas y a nuestros hijos que son la razón principal para cumplir nuestras metas.

José Luis y Juan

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a las familias y amigos que siempre nos brindaron su apoyo durante todo el transcurso de la carrera.

Los profesores de la carrera fueron muy importantes al ampliar nuestro conocimiento de mejor manera para nuestra vida fuera de la Universidad.

Agradecemos muy gentilmente Universidad Técnica de Cotopaxi, a todas sus autoridades por permitirnos culminar esta etapa con toda su ayuda.

Y permitirnos decir gracias a ELECGALAPAGOS por ayudarnos a hacer factible el proyecto en general.

José Luis y Juan

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>2</b>
<b>4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
<b>5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>6. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>4</b>
<b>7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS:.....</b>	<b>4</b>
<b>8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....</b>	<b>6</b>
<b>Sistemas Eléctricos de Distribución .....</b>	<b>6</b>
<b>Tipos de Sistemas de Distribución .....</b>	<b>7</b>
<b>Sistema Primario de Distribución .....</b>	<b>8</b>
<b>Descripción De Términos Técnicos.....</b>	<b>10</b>
<b>Pérdidas de Potencia y Energía en Redes Eléctricas.....</b>	<b>12</b>
<b>Clasificación de pérdidas en Sistemas Eléctricos.....</b>	<b>13</b>
<b>Regulación N°.003/99 Arconel con respecto a la reducción de pérdidas en las Empresas Distribuidoras .....</b>	<b>16</b>
<b>Regulación N°.004/01 Arconel con respecto a la calidad de Servicio Eléctrico .....</b>	<b>17</b>
<b>Calidad del Servicio Técnico .....</b>	<b>18</b>
<b>Metodología para la Determinación de las Pérdidas Técnicas.....</b>	<b>19</b>
<b>Alternativas para reducir las pérdidas técnicas .....</b>	<b>21</b>
<b>Restricciones para el Balance de Carga .....</b>	<b>24</b>

Beneficios del Balance de Carga en un Alimentador .....	25
Software Cymdist .....	25
<b>9. HIPÓTESIS.....</b>	<b>27</b>
<b>10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>27</b>
<b>11. DESCRIPCIÓN DEL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL.....</b>	<b>28</b>
Características Eléctricas del Alimentador 1.....	29
<b>12. ANÁLISIS MEDIANTE FLUJOS DE POTENCIA.....</b>	<b>30</b>
Simulación de la Condición Actual del Alimentador 1 .....	30
<b>13. PROPUESTA PARA REDUCIR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN EL ALIMENTADOR 1 .....</b>	<b>41</b>
Cambio de Líneas Sobrecargadas.....	41
Verificación de carga conectada a los transformadores.....	41
Nuevo Cálculo de Balance de Carga .....	45
Comparativa de pérdidas del alimentador 1.....	47
Ahorro de energía.....	48
<b>14. ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>48</b>
Análisis costo beneficio.....	48
Ahorro en reducción de pérdidas.....	50
<b>15. CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>16. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>
<b>18. ANEXOS.....</b>	<b>54</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.....	5
<b>TABLA 2:</b> CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS ELÉCTRICAS.....	13
<b>TABLA 3:</b> VARIACIONES DE VOLTAJE ADMITIDAS CON RESPECTO AL VALOR DEL VOLTAJE NOMINAL.....	18
<b>TABLA 4:</b> CANTIDAD DE TRANSFORMADORES SEGÚN SUS CAPACIDADES.....	28
<b>TABLA 5:</b> DEMANDA ALIMENTADOR 1.....	29
<b>TABLA 6:</b> CANTIDAD DE CLIENTES Y CONSUMO PROMEDIO AL AÑO.....	30
<b>TABLA 7:</b> RESUMEN DETALLADO DE PÉRDIDAS ALIMENTADOR 1.....	32
<b>TABLA 8:</b> ANÁLISIS PERFIL DE VOLTAJE.....	34
<b>TABLA 9:</b> PRIMERA ALTERNATIVA DE TRANSFERENCIA DE CARGA.....	36
<b>TABLA 10:</b> SEGUNDA ALTERNATIVA TRANSFERENCIA DE CARGA.....	36
<b>TABLA 11:</b> TERCERA ALTERNATIVA TRANSFERENCIA DE CARGA.....	37
<b>TABLA 12:</b> CONDUCTORES SOBRECARGADOS.....	38
<b>TABLA 13:</b> TRANSFORMADORES SOBRECARGADOS.....	39
<b>TABLA 14:</b> COMPARACIÓN CORRIDA DE FLUJO.....	46
<b>TABLA 15:</b> NUEVO RESUMEN DE PÉRDIDAS.....	46
<b>TABLA 16:</b> COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS.....	47
<b>TABLA 17:</b> PRECIOS DE LOS EQUIPOS A SER REEMPLAZADOS.....	49
<b>TABLA 18:</b> PÉRDIDAS DE ENERGÍA DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL.....	51

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> RED DE DISTRIBUCION TÍPICA .....	6
<b>FIGURA 2:</b> FORMA SIMPLE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE TIPO RADIAL.....	7
<b>FIGURA 3:</b> SISTEMA EN ANILLO O BUCLE. ....	8
<b>FIGURA 4:</b> AMBIENTE DE TRABAJO DEL SOFTWARE CYMDIST. ....	26
<b>FIGURA 5:</b> DEMANDA MÓVIL ALIMENTADOR 1 .....	29
<b>FIGURA 6:</b> PROPIEDADES DE LA RED .....	31
<b>FIGURA 7:</b> CONFIGURACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA .....	31
<b>FIGURA 8:</b> PARÁMETROS DEL PRIMER ANÁLISIS DE FLUJO DE POTENCIA.....	32
<b>FIGURA 9:</b> ELEMENTOS CON ANOMALÍAS .....	32
<b>FIGURA 10:</b> ESTADO ACTUAL DEL ALIMENTADOR 1 .....	33
<b>FIGURA 11:</b> PERFIL DE VOLTAJE .....	33
<b>FIGURA 12:</b> CONFIGURACION BALANCE DE CARGA .....	35
<b>FIGURA 13:</b> RESULTADO BALANCE DE CARGA .....	36
<b>FIGURA 14:</b> CURVA DE DEMANDA MÁXIMA .....	40
<b>FIGURA 15:</b> CAMBIO DE TRANSFORMADORES SOBRECARGADOS .....	41
<b>FIGURA 16:</b> DEPURACIÓN DE CLIENTES NO EXISTENTES EN EL TRANSFORMADOR N°132.....	42
<b>FIGURA 17:</b> CAMBIO DE TRANSFORMADOR DE 15KVA A 25KVA.....	43
<b>FIGURA 18:</b> TRANSFERENCIA DE CARGA TRANSFORMADOR 37183_MTA-1.....	44
<b>FIGURA 19:</b> NUEVO CUADRO DE FLUJO DE CARGA.....	45
<b>FIGURA 20:</b> RECONFIGURACIÓN DEL ALIMENTADOR 1. ....	47

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

**TITULO: “ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELECGALÁPAGOS S.A., PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES.”**

**Autores: José Luis Changotasig Sisalema**  
**Juan Gerardo Estrella Beltrán**

**RESUMEN**

Las pérdidas de potencia y energía eléctrica siempre han sido un problema que la mayoría de las empresas eléctricas han poseído, motivo por el cual el presente proyecto de investigación tiene como finalidad el identificar las pérdidas técnicas en los diferentes elementos y equipos que se tienen en un Sistema de Distribución, que van desde el Alimentador hasta el consumidor final.

Para llevar a cabo esta investigación se inició con un análisis en el sistema de distribución del alimentador 1 de la Subestación San Cristóbal de Elecgalápagos S.A; este análisis permite conocer el comportamiento de cada uno de sus componentes y sus perjuicios hacia el sistema, determinando de esta manera el estado actual en el que se encuentra la red de distribución de dicho alimentador.

Para este análisis se utiliza una metodología basada en el manejo de equipos de medición el software CYMDIST que, gracias a las características y prestaciones que ofrece este paquete computacional, permite realizar flujos de potencia que muestra a la red a su aproximación más real.

Una vez realizado el estudio del Alimentador 1 se concluye que, las pérdidas se producen principalmente debido al desbalance de carga que tiene el alimentador; así como, al dimensionamiento inadecuado de los conductores como producto del crecimiento de la troncal y sus ramales de la red. Por lo tanto, este trabajo investigativo plantea alternativas como: el balance de carga, incremento de transformadores o la repotenciación de conductores para disminuir las pérdidas y mejorar los niveles de voltajes.

*Palabras claves:* Alimentador, pérdidas, energía, desbalance, carga.

# **COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**

## **ENGENIERRING AND APPLIED SCIENCE SCHOOL**

**TOPIC: "ANALYSIS OF POWER FLOWS IN THE FEEDER 1 OF THE SAN CRISTÓBAL SUBSTATION IN THE ELECGALÁPAGOS COMPANY'S CONCESSION AREA, TO DETERMINE TECHNICAL LOSSES IN THE CURRENT CONNECTIONS."**

**Authors: José Luis Changotasig Sisalema  
Juan Gerardo Estrella Beltrán**

### **ABSTRACT**

Losses of power and electric energy has always been a problem that most power companies have had. This is why this research project aims to identify the technical losses in different elements and equipment that exists in a Distribution System, which goes from the feeder to the final consumer.

To carry out this research, it began with an analysis in the distribution system of the feeder 1 of the San Cristóbal Substation of "Elecgalápagos" Company; this analysis allows knowing the behavior of each of its components and their damages to the system, by determining the current state where the distribution network of feeder 1 is located.

For this analysis, there is a methodology based on the management of measurement equipment is used by the CYMDIST software that, thanks to the features and benefits offered by this computational package, it allows to do power flows that shows the network to its most real approximation.

Once the deep study of the feeder 1 it is concluded that, the losses occur mainly due to the load unbalance of the feeder, as well as, the inadequate sizing of the conductors as a product of the growth of the backbone and its network branches. Therefore, this research work proposes alternatives such as: load balance, increase of transformers or the repowering of conductors to reduce losses, and improve voltage levels.

Key words: Feeder, losses, power, unbalance, load.



### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del Proyecto de Investigación al Idioma Inglés presentado por los señores: CHANGOTASIG SISALEMA JOSE LUIS, ESTRELLA BELTRÁN JUAN GERARDO cuyo título versa: “**ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELECGALÁPAGOS S.A., PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES.**” lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, Noviembre del 2017

Atentamente,

  
Msc. Alison Mena Barthelotty

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**

**C.I. 0501801252**

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

“Análisis de Flujos de Potencia en el Alimentador 1 de la Subestación San Cristóbal en el área de concesión Elecgalápagos S.A, para determinar pérdidas técnicas en las conexiones actuales”

### **Fecha de inicio:**

Mayo 2017

### **Fecha de finalización:**

Noviembre 2017

### **Lugar de ejecución:**

Alimentador 1 de la Parroquia Puerto Baquerizo Moreno Cantón San Cristóbal Provincia Galápagos.

### **Unidad Académica que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Eléctrica

### **Proyecto de investigación vinculado:** Ninguno

### **Equipo de Trabajo:**

Msc. Ing. Franklin Medina

Equipo de Investigadores: Juan Gerardo Estrella Beltrán

José Luis Changotasig Sisalema

### **Área de Conocimiento:**

Ingeniería, Industria y Construcción.

Ingeniería y profesiones a fines.

Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Control y optimización en el uso de la energía en el sector comercial industrial y residencial.

**2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto se centrara en analizar el Alimentador 1 de la subestación San Cristóbal en el área de concesión Elecgalápagos S.A. para conocer el comportamiento de cada uno de sus componentes y sus perjuicios hacia el sistema, determinando de esta manera el estado actual en el que se encuentra la red de distribución del Alimentador en estudio; para este análisis se utiliza una metodología basada en el manejo de equipos de medición y la utilización del software CYMDIST; que gracias a sus características y prestaciones que ofrece este paquete computacional permitirá realizar flujos de potencia que muestra a la red a su aproximación más real.

Una vez realizado el estudio del Alimentador 1 se concluye que, las pérdidas se producen principalmente debido al desbalance de carga que tiene el alimentador, así como al dimensionamiento inadecuado de los conductores como producto del crecimiento de la troncal y sus ramales de la red. Por lo tanto este trabajo investigativo plantea alternativas como: el balance de carga, incremento en la capacidad de transformadores de distribución o la repotenciación de conductores para disminuir las pérdidas y mejorar los niveles de voltajes para cumplir con las regulaciones y disposiciones establecidas por el ente de Control ARCONEL.

**3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La creciente demanda de energía eléctrica exige que los sistemas de distribución sean más eficientes, esto implica una planificación acertada e inversión económica, con el fin de entregar un suministro eléctrico de calidad, cumpliendo con los parámetros exigidos por los agentes reguladores.

De acuerdo a la regulación 004/01 de la ARCONEL, las empresas distribuidoras deben regirse a los niveles de calidad de prestación de servicio eléctrico y procedimientos de evaluación, por ende la Empresa Eléctrica Galápagos ELECGALAPAGOS S.A. no está ajena a dichos reglamentos.

Por lo antes mencionado, es necesario realizar el análisis del alimentador 1 de la subestación San Cristóbal y conocer el estado actual de la red de distribución de dicho alimentador, y así determinar las pérdidas existentes en el sistema; ya que la red de distribución mencionada, por sus años de servicio y las condiciones de operación, presenta varios problemas que afectan al normal servicio eléctrico en los clientes conectados a esta red.

El análisis de dicho alimentador se lo realizara a través del estudio de flujos de potencia utilizando el software CYMDIST, al realizar este estudio se podrá determinar los parámetros actuales de voltaje y compararlos con los porcentajes establecidos por la ARCONEL y así lograr un suministro de energía eléctrica sin interrupciones, sobretensiones y variaciones de voltajes; para de esta forma reducir las pérdidas de energía existentes en la red de distribución del alimentador en estudio.

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

Al igual que las empresas distribuidoras del país, ELECGALÁPAGOS S.A. presenta mensualmente información requerida por el ente regulador de electricidad; de los índices presentados, el índice de porcentajes de pérdidas técnicas y no técnicas es el que ayuda a medir la calidad del suministro eléctrico; al reducir los niveles de pérdidas el beneficiario principal es la Empresa Eléctrica Provincial Galápagos, si las pérdidas disminuyen; permite que la eficiencia del servicio aumente, beneficiando de igual manera a los 1529 clientes que se encuentran conectados al Alimentador 1.

#### **5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La planificación de un sistema de distribución eléctrico es uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la empresa distribuidora. Una buena planificación requiere resolver un problema difícil y con varias soluciones. El continuo crecimiento de la demanda obliga al redimensionamiento y a la expansión de la red de distribución, ésta planificación tiene un perfil de demanda futura.

Se ha prestado considerable atención a encontrar soluciones para este tipo de problemas y a su aplicación a la industria de energía eléctrica. Para resolver el problema viene de la posibilidad de introducir funciones objetivo complicadas para el mejor balance posible entre los costes de inversión de la red, costes de pérdidas, y costes de fiabilidad. Es importante tratar apropiadamente la planificación de expansión del sistema de distribución para encontrar el balance económico entre los costes de inversión y los costos de fiabilidad.



La ARCONEL exige y supervisa a las empresas distribuidoras que el suministro eléctrico receptado por sus clientes esté dentro de los parámetros establecidos.

Los desbalances de carga encontrada en la red del alimentador 1 se deben a las cargas de los Clientes Industriales y Comerciales conectados al alimentador 1 que por su naturaleza son de carácter reactivo, debido a los equipos eléctricos que poseen en sus instalaciones. Así mismo debido al continuo crecimiento de la demanda existen transformadores que se encuentran sobrecargados, produciendo pérdidas técnicas.

En el presente proyecto nos enfocaremos al desbalance de cargas y determinar si existen transformadores sobrecargados que se encuentran conectados a la red de distribución, utilizando los módulos de análisis de flujos de carga del paquete computacional CYMDIST.

## **6. OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Cuantificar las pérdidas técnicas a nivel de medio y bajo voltaje, con las cargas existentes en el Alimentador 1 de la Subestación San Cristóbal, para establecer una propuesta que permita reducir las pérdidas del Alimentador.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar la fundamentación teórica, que permita sustentar el proyecto de investigación.
- Realizar simulaciones de flujos de potencia en régimen permanente del alimentador, bajo condiciones de operación como Potencia máxima, media y mínima del sistema, utilizando las herramientas del software CYMDIST.
- Proponer criterios técnicos para el planteamiento de alternativas que permitan reducir los niveles de pérdidas.
- Elaborar un estudio técnico económico de las propuestas para verificar la viabilidad de las propuestas.

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

**Tabla 1:** Sistemas de tareas en relación a los objetivos.

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Verificación</b>
Estudiar la fundamentación teórica, que permita sustentar el proyecto de investigación.	Recopilación de la información allegada al tema, libros, revistas normativas y tesis.	Establecer fundamentos técnicos para el desarrollo del proyecto	Información adquirida.
Realizar simulaciones de flujos de potencia en régimen permanente del alimentador, bajo condiciones de operación como Potencia máxima, media y mínima del sistema, utilizando las herramientas del software CYMDIST	Simulación del estado actual del Alimentador 1, con la información obtenida mediante el levantamiento in situ.	Pérdidas de energía y caídas de voltaje en la red de distribución del Alimentador 1	Reporte de análisis del software Cymdist
Proponer criterios técnicos para el planteamiento de alternativas que permitan reducir los niveles de pérdidas.	Simular mediante flujos de potencia el estado del Alimentador 1 después de propuestas planteadas.	Disminución de pérdidas técnicas y mejoramiento del nivel de voltaje en la red de distribución del Alimentador 1.	Reporte de análisis del software Cymdist
Elaborar un estudio técnico económico de las propuestas para verificar la viabilidad de las propuestas.	Adquirir el costo referencial de los materiales.	Viabilidad del proyecto, en relación al costo total de inversión y la utilidad que produce	Costo beneficio

Fuente: Autores

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### Sistemas Eléctricos de Distribución

Según Vilcahuaman (1993) los sistemas de distribución se constituyen por todos los elementos que transportan la energía eléctrica. Un sistema de distribución no tiene uniformidad, es decir; que un sistema eléctrico de distribución será una combinación de sistemas.

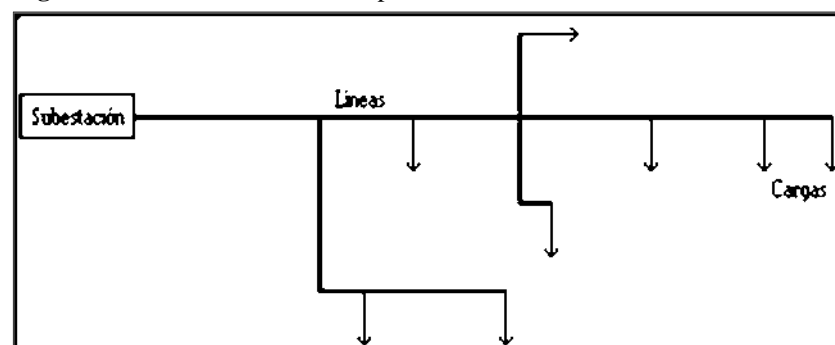
#### Características de los Sistemas de Distribución.

Las redes de distribución presentan características muy particulares, entre estas se distinguen las siguientes:

- Topologías radiales.
- Líneas de resistencia comparables a la reactancia.
- Múltiples conexiones (monofásicas, bifásicas, etc.).
- Cargas de distinta naturaleza.

Los sistemas de distribución son típicamente radiales, es decir, el flujo de potencia nace sólo de un nodo. Este es principalmente la subestación que alimenta a lo largo de toda la red del alimentador, como se representa en la Figura 1.

**Figura 1:** Red De Distribucion Típica



**Fuente:** Regulación en el sector distribución eléctrica VILCAHUAMAN, RAÚL  
 Autor: VILCAHUAMAN, RAÚL

En estos sistemas se pueden encontrar muchos tipos de conexiones: trifásica, bifásicas o monofásicas.

#### Clasificación de los Sistemas de Distribución.

Los sistemas de distribución pueden clasificarse de diversas formas:

- Según la carga: alumbrado público, industrial, comercial, residencial.
- Según la corriente: continua y alterna.
- Según el voltaje: distribución primaria, distribución secundaria.
- Según su topología: radial anillo.
- Según el número de conductores: bifilar, trifilar, a cuatro hilos, etc.
- Según el tipo de conexión: aérea o subterránea”.

### Componentes de un Sistema de Distribución.

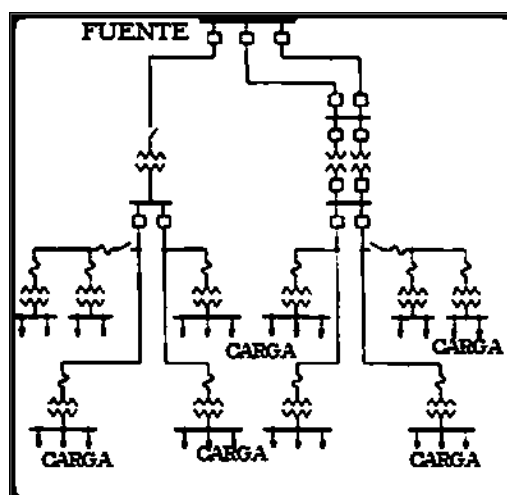
Los componentes de un sistema de distribución suelen ser: alimentadores, transformadores, líneas y cables, capacitores o condensadores y equipos de protección, entre otros, los que se mencionan son los elementos mínimos que conforma un sistema y este se puede incrementar de acuerdo a las necesidades.

### Tipos de Sistemas de Distribución

#### Sistema radial.

Su nombre se debe a que el alimentador inicia desde la subestación y en forma radial se conectan con los distintos transformadores de distribución que alimenta a sus respectivas cargas, tiene un solo camino como se muestra en la Figura 2. La desventaja de este sistema es; si ocurre una falla al principio de la red se debe suspender todo el sistema.

**Figura 2:** Forma Simple del sistema de distribución de tipo radial

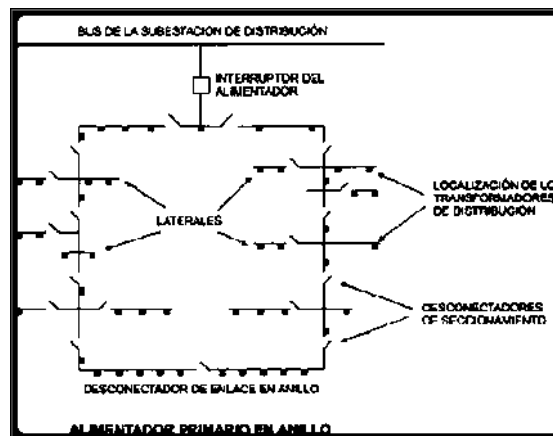


Fuente: Electrical Transmission and Distribution Reference Book

### Sistema en Anillo o Bucle.

Es alimentado por los dos de sus extremos, sus ventajas principales son la facilidad de mantenimiento y seguridad del servicio, se puede mencionar que su complejidad y sistemas de protección son sus desventajas que más realzan de este sistema, Figura 3.

Figura 3: Sistema en anillo o bucle.



Fuente: Autores

### Sistema Mallado.

Se conforma por el enlace de sistemas en anillo y líneas radiales, se caracterizan por; la facilidad de conservación y mantenimiento, seguridad de servicio, flexibilidad de energización, facilidad de conservación y mantenimiento. Sus desventajas; mayor complejidad y rápido aumento de las potencias de cortocircuito.

### Sistema Primario de Distribución

En la distribución de energía eléctrica, se suele designar con el nombre de voltajes primarios a las tensiones de nivel intermedio que preceden inmediatamente a las tensiones de utilización o tensiones secundarias. Los alimentadores primarios parten de las subestaciones de distribución y sirven a un buen número de transformadores de distribución esparcidos en un área relativamente grande.

El sistema primario está constituido por la combinación de la Subestación de Distribución y sus circuitos asociados. Típicamente, el área servida por el primario está compuesta de un conjunto de cargas concentradas que son precisamente las de los transformadores de distribución o agrupaciones de ellos.

### **Componentes del Sistema Primario.**

Los circuitos primarios tienen su punto de origen en el elemento de protección en la Subestación de Distribución.

#### **Troncal Primario.**

Según Muñoz (2010) es la cadena de nodos por donde transcurre el flujo de potencia más importante del circuito en condiciones normales, o en condiciones de emergencia por transferencia de carga desde otros circuitos cercanos. En esta ruta es generalmente donde ocurre la mayor caída de voltaje y tiene un calibre de conductor mayor que el resto del circuito.

#### **Sistema secundario.**

Está compuesto por el resto del circuito, en donde está conectada casi siempre la mayor cantidad de transformadores de distribución.

La red primaria tiene generalmente numerosos equipos de desconexión que alteran en forma temporal su configuración topológica. Algunos de estos elementos ejercen además funciones de protección para mejorar la confiabilidad del servicio; estos son generalmente reconectores o seccionadores. El resto de elementos de desconexión manual sirven al operador de la red para ejecutar las maniobras requeridas por causa del manejo de interrupciones, transferencia de carga y localización de averías.

#### **Alumbrado Público.**

El alumbrado público es el servicio público consistente en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público.

El alumbrado público sea ha convertido en algo primordial para toda la ciudadanía, que ha impulsado a las empresas distribuidoras a cubrir con este servicio cada rincón de las zonas pobladas del país.

#### **Acometidas.**

Se llama acometida en las instalaciones eléctricas a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora (también llamada “Distribuidora”) hacia la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica (normalmente conocido como usuario).

## **Descripción De Términos Técnicos**

### **Puntos de entrega.**

Se define como punto de entrega a los clientes que cuentan con un sistema de medición.

### **Carga Instalada.**

Es la suma de la potencia de todos los equipos que se tiene conectados a una instalación sean fijos o móviles.

### **Demanda.**

Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento (variable en el tiempo). Si se requiere establecer la demanda en amperios para la sección de un juego de fusibles, deberán ser utilizados valores de demanda con un intervalo de cero, no siendo el mismo caso si se quiere encontrar la demanda para aplicarla a un transformador o cable, que será de 10 a 15 minutos.

### **Demanda Máxima.**

Según Yebra (2009) la demanda máxima de un sistema o de una instalación, es la mayor de todas las potencias demandadas que han ocurrido durante un período especificado de tiempo. A la potencia máxima demandada se la conoce también como demanda máxima.

En un sistema eléctrico se pueden tener variaciones bruscas de la demanda, razón por la cual se acostumbra establecer un periodo mínimo de tiempo en el que se debe mantener este valor de potencia, para que se considere éste como el máximo.

### **Curva de Demanda.**

La curva de demanda no es más que la representación gráfica de la variación que tiene la demanda en un periodo específico de tiempo, siendo los periodos de análisis más típicos los diarios, semanales, mensuales y anuales; en las curvas de carga se encuentra representada toda la demanda acumulada de los consumidores, incluido la pérdidas que se registren en cada etapa funcional del sistema.

### **Factor de Demanda.**

Es la razón entre la demanda máxima y la carga total instalada. El factor de demanda por lo general es menor que 1, siendo solo cuando en el intervalo considerado, todos los aparatos conectados al sistema estén absorbiendo sus potencias nominales, lo cual es muy improbable.

Matemáticamente, este concepto se puede expresar como:

$$FdD = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga instalada}} = \frac{D_{max}}{P_i} \quad (1)$$

Donde:

$FdD$ = Factor de demanda

$D_{max}$ = Demanda máxima [kW]

$P_i$ = Carga instalada [kW]

### **Factor de Carga.**

El factor de carga se define como la relación entre la demanda promedio y la demanda máxima registrada.

$$FdC = \frac{D_{prom}}{D_{max}} = \frac{E_{periodo}}{t_{periodo} \cdot D_{max}} \quad (2)$$

Donde:

$FdC$ = Factor de carga.

$D_{prom}$ = Demanda promedio [kW]

$D_{max}$ = Demanda Máxima [kW]

$E_{periodo}$ = Energía en un periodo de tiempo  $i$

$t_{periodo}$ = Tiempo de duración del periodo.

### **Factor de Utilización.**

Se define como la relación entre la demanda máxima y la capacidad instalada, este factor representa la permanencia de la carga máxima en un periodo de tiempo comparada con la carga nominal.



$$F_{util.} = \frac{Demanda\ máxima}{Capacidad\ Instalada} \quad (3)$$

Donde:

*F<sub>util.</sub>* = Factor de Utilización.

*Demanda Máxima* = Mayor potencia demandada durante un período de tiempo [kW].

*Capacidad Instalada* = Capacidad Instalada del Transformador de Distribución [kVA].

### **Factor de Potencia.**

Es la relación entre la potencia activa (W, kW, o MW) y la potencia aparente (VA, kVA, MVA), determinada en el sistema o en uno de sus componentes.

$$\cos\varphi = \frac{Potencia\ activa}{Potencia\ aparente} \quad (4)$$

Donde:

*cosφ* = Factor de Potencia

*Potencia activa* = [W]

*Potencia aparente* = [VA]

### **Consumo de Energía.**

Es la energía eléctrica utilizada por toda o por una parte de una instalación durante un determinado periodo de tiempo.

### **Pérdidas de Potencia y Energía en Redes Eléctricas**

Según GHIA (2013) cuando se transmite energía eléctrica desde las centrales de generación a los usuarios a través de los redes de transmisión y distribución, se producen pérdidas de energía y potencia, debido a las características física de los componentes de la misma red.

Estas pérdidas son inherentes a la conducción de la energía eléctrica a través de medios físicos y no pueden evitarse del todo.

Existen oportunidades significativas para mejorar la eficiencia energética de las redes existentes y de las ampliaciones futuras. Mejorar la eficiencia significa implementar medidas

que lleven los niveles de eficacia más allá de las prácticas aceptadas para la actividad. Existen una cantidad de medidas prácticas y tecnologías que pueden implementarse para reducir las pérdidas en las redes.

### **Clasificación de pérdidas en Sistemas Eléctricos**

Según Haro (2015) las pérdidas de energía son aquellas que corresponden a la diferencia entre la energía generada y la energía vendida y pueden clasificarse como pérdidas no técnicas o comerciales y pérdidas técnicas.

Para el caso en análisis, las empresas que prestan el suministro eléctrico generalmente, a las pérdidas eléctricas se las clasifica en dos grupos, las pérdidas no técnicas y las pérdidas técnicas, siendo dos parámetros que influyen de diferente manera y que unidas conlleva a tener pérdidas económicas.

Las pérdidas no técnicas son más frecuentes en las redes de distribución eléctrica y parte administrativa de cálculos y mediciones, mientras que las pérdidas técnicas ocurren en el transporte, transformación e instalaciones de todo nivel de tensión.

En la tabla 2 se detalla la clasificación de las pérdidas eléctricas los diferentes tipos y causas que producen las mismas.

**Tabla 2:** Clasificación de Pérdidas Eléctricas

	<b>POR TIPO</b>		<b>POR CAUSA</b>
	<b>TECNICAS</b>	TRANSPORTE	TRANSMISION
SUBTRANSMICION			EFECTO JOULE
DISTRIBUCION			
TRANSFORMACION		SUBESTACIONES DE POTENCIA	RESISTIVAS (EFECTO JOULE Y NIVEWL DE CARGA)
		SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION	
		TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	
INSTALACIONES BAJA TENSION		ACOMETIDAS MEDIDORES	RESISTIVAS
		EQUIPOS DE MEDICION	

NO TECNICAS	POR TIPO		POR CAUSA
	EN LA RED DE DISTRIBUCION	HURTO	CONEXIÓN ILEGAL DESDE LA RED
			CONEXIÓN DIRECTA EN ACOMETIDAS
		FRAUDE	MANIPULACION DE MEDIDORES
			FUENTES EN MEDIDORES
			MEDIDORES DAÑADOS
			MEDIDORES OBSOLETOS
	ADMINISTRATIVAS	ANOMALIAS DE SISTEMA	ERROR DE PROCESO
			ERROS EN LOS CONSUMOS PROPIOS
		ANOMALIAS DE CALCULO	ERROR POR CONSUMO CONVENIDO
DEFICIENCIA DE INVENTARIO			

**Fuente:** Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica.

### **Pérdidas Técnicas.**

Las pérdidas técnicas constituyen una parte de la energía que no es aprovechada y que el sistema requiere para su operación, es decir, es la energía que se pierde en los diferentes equipos, redes y elementos que forman parte del sistema de distribución y que sirve para conducir y transformar la energía eléctrica y pueden ser determinados por métodos mesurables y analíticos con las herramientas que dispone la empresa distribuidora, sean éstas hardware, software, instrumentos de medición.

Las pérdidas técnicas representan la energía que se pierde durante la transmisión dentro de la red y la distribución como consecuencia de un calentamiento natural de los conductores que transportan la electricidad desde las plantas generadoras.

Este tipo de pérdidas es normal en cualquier distribuidora de energía y no pueden ser eliminadas totalmente; solo pueden reducirse a través del mejoramiento de la red.

Para lograr un plan adecuado de control y reducción de pérdidas técnicas, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Diagnóstico del estado actual del sistema.
- Proyección de la carga.
- Revisión de los criterios de expansión.
- Estudios de flujos de carga para optimizar la operación de líneas y redes.
- Analizar la ubicación óptima de transformadores y usuarios.
- Realizar estudios de reconfiguración de alimentadores primarios.

#### **Subdivisión de las Pérdidas Técnicas.**

Son aquellas que se originan de acuerdo a sus componentes:

- Pérdidas por transporte: se originan por la circulación de corriente por los conductores y redes de transporte de energía en los diferentes subsistemas.
- Pérdidas por transformación: son aquellas que se presentan en los centros de transformación.

#### **Pérdidas en Sistemas de Distribución.**

Estas pérdidas se presentan en los conductores y transformadores de los circuitos en las redes de distribución. Los fenómenos físicos que las originan son:

- ***Efecto Joule:*** Disipación de energía originada por el paso de corriente a través de los materiales conductores.
- ***Efecto corona:*** Este efecto se presenta cuando un elevado nivel de intensidad de campo eléctrico permite la ionización del aire, dando paso a un arco de corriente provocando así pérdidas.
- ***Corrientes parásitas e histéresis:*** Se presentan en los materiales magnéticos como pérdida de energía por disipación de calor. En el núcleo de los transformadores, las corrientes parásitas son el resultado de la FEM inducida en el propio núcleo lo cual provoca pérdidas por la resistencia del material. En el caso de la histéresis origina pérdidas al someter al material magnético a recorrer su ciclo de histéresis.

### **Pérdidas no técnicas.**

Las pérdidas no técnicas, son causadas por acciones externas al sistema de energía, o causadas por las cargas y las condiciones que el cómputo técnico de las pérdidas no pudo considerar. Se las puede considerar según su origen:

- Hurto o fraude
- Mala administración
- Zonas conflictivas

**Por Hurto.-** son provocadas por aquellos usuarios que se conectan directamente a la red de distribución, de esta manera forman parte de cargas no registradas por los medidores de energía.

**Por Fraude.-** se presentan cuando el registro de energía es errado, por la manipulación del equipo de medición.

**Por mala administración.-** esta acción se da por errores presentados en la factura de consumo eléctrico, pueden ser:

- Errores de lectura.
- Clientes sin identificación comercial.
- Falta de registro de los consumos propios.
- Retraso de la facturación.
- Errores de los factores de multiplicación de equipos de medición.

**Zonas conflictivas.-** estas pérdidas se dan por la conexión de cargas considerables en lugares de difícil acceso para el personal de la empresa distribuidora.

### **Regulación N°.003/99 Arconel con respecto a la reducción de pérdidas en las Empresas Distribuidoras**

En su artículo 12 establece que los límites admisibles para las pérdidas no técnicas en el cálculo de tarifas, serán fijadas para cada Distribuidor; hasta llegar al 2%, porcentaje máximo aceptable que se deberá mantener a futuro.

En este sentido las empresas distribuidoras han planteado y efectuado programas de reducción y control de pérdidas no técnicas, siendo las principales acciones: cambio de redes aéreas de

conductor desnudo por redes aéreas pre ensambladas, cambio de medidores electromecánicos por electrónicos, entre otras.

Las pérdidas en la actualidad están convertidas en índices de gestión, medible y cuantificable; razón por la cual todos los departamentos de cada una de las empresas eléctricas deben involucrarse en este tema y ser actores importantes en busca de alternativas para la reducción de pérdidas técnicas y no técnicas.

Las pérdidas en las empresas distribuidoras, se dan desde la operación hasta la administración de la empresa, reflejando la ineficiencia en cada uno de los procesos involucrados y tienen incidencias en las distribuidoras pues afectan a sus ingresos económicos.

La empresa ELECGALÁPAGOS S.A. en su balance energético del año 2016 posee un índice de pérdidas del 15%, esta información lo podremos observar en el **Anexo 4**.

### **Regulación N°.004/01 Arconel con respecto a la calidad de Servicio Eléctrico**

Con el afán de cumplir con el literal e) del artículo 13 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) emitió la Regulación 004 vigente desde el 23 de mayo del 2001 en la cual se establece los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras.

#### **Calidad de Producto.**

- Nivel de voltaje
- Perturbaciones de voltaje
- Factor de potencia

#### **Calidad de servicio técnico.**

- Frecuencia de interrupciones
- Duración de interrupciones

#### **Calidad del servicio comercial.**

- Atención a solicitudes
- Atención a reclamos
- Errores en medición de facturación

### Límites.

El distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje. Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:

**Tabla 3:** Variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal

	<b>Subetapa 1</b>	<b>Subetapa 2</b>
Alto Voltaje	± 7,0%	± 5,0%
Medio voltaje	± 10,0%	± 8,0%
Bajo voltaje, Urbanas	± 10,0%	± 8,0%
Bajo voltaje, Rurales	±13,0%	± 10,0%

Fuente: Regulación calidad de energía 004/01

### Calidad del Servicio Técnico

#### Aspectos Generales.

La calidad del servicio técnico prestado se evaluará sobre la base de la frecuencia y la duración total de Interrupción. Durante la Subetapa 1 se efectuarán controles en función a Índices Globales para el Distribuidor discriminando por empresa y por alimentador de medio voltaje.

El levantamiento de información y cálculo se efectuará de forma tal que los indicadores determinados representen en la mejor forma posible la cantidad y el tiempo total de las interrupciones que afecten a los consumidores. Para los consumidores con suministros en medio voltaje o en alto voltaje, se determinarán índices individuales. En la Subetapa 2 los indicadores se calcularán a nivel de consumidor, de forma tal de determinar la cantidad de interrupciones y la duración total de cada una de ellas que afecten a cada consumidor. El período de control será anual, por tanto, los Distribuidores presentarán informes anuales al ARCONEL, especificando las interrupciones y los índices de control resultantes. Sin embargo de lo anterior, los cálculos de los índices de calidad se efectuarán para cada mes del año considerado y para el año completo.

## **Metodología para la Determinación de las Pérdidas Técnicas**

Según Ipiates (2005) debido a la gran distancia de recorrido que generalmente tienen los alimentadores primarios, y por ende la elevada cantidad de información que se puede obtener de ellos hace que los estudios de pérdidas presenten un grado de complejidad, es así que existen varias metodologías de cálculo que permiten determinar los porcentajes de pérdidas, los resultados de cada metodología dependerán básicamente en la cantidad, tipo y veracidad de la información que se disponga.

Se tiene al menos tres métodos que permiten obtener los indicadores de las pérdidas técnicas, a continuación se detallan:

- Flujo de potencia
- Estimación de estado
- Correlación de circuitos o sistemas similares.

### **Flujo de Potencia.**

El estudio de flujo de potencia, también conocido como flujo de carga, es una herramienta importante que involucra análisis numérico aplicado a un sistema de potencia.

En el estudio del flujo de potencia usualmente se usa una notación simplificada tal como el diagrama unifilar y el sistema por unidad, y se centra en varias formas de la potencia eléctrica AC (por ejemplo, voltajes, ángulos de los voltajes, potencia activa y potencia reactiva).

Este estudio analiza los sistemas de potencia operando en estado estable. Los estudios del flujo de potencia son importantes para el planeamiento de la expansión futura de los sistemas de potencia, así como para determinar la mejor operación de los sistemas existentes. La principal información obtenida del problema de flujo de potencia es la magnitud y ángulo de la fase del voltaje en cada nodo, y la potencia activa y reactiva fluyendo en cada línea.

Los sistemas de potencia comerciales son usualmente demasiado grandes para posibilitar una solución a mano del flujo de potencia. Analizadores de redes de propósito especial fueron construidos entre 1929 y principios de la década de 1960 para suministrar modelos de laboratorio de los sistemas de potencia; posteriormente computadores digitales de gran escala reemplazaron los métodos análogos.



La planificación, diseño y el análisis de la operación de los sistemas de potencia requieren estudios a fin de evaluar el desempeño del sistema existente, confiabilidad, seguridad y economía. Los estudios identifican y alertan potenciales deficiencias en el sistema factibles de corregir o prevenir.

### **Estimación de estado.**

El estimado de estado parte de las lecturas tomadas en diferentes puntos del sistema, requiriendo evaluar la exactitud, simultaneidad, periodicidad y transmisión de datos de todos los equipos, tanto de medición como de comunicación, haciéndolos de suma importancia en el momento de entregar resultados con mayor precisión en comparación con el flujo de carga.

El estimado de estado es una función que utiliza técnicas estadísticas e interactivas, las cuales pueden informar de forma similar al flujo de carga, de momento a momento los valores de pérdidas en el sistema.

### **Correlación de circuitos similares.**

Para realizar un estudio de pérdidas a través de esta metodología se necesita contar con análisis de pérdidas de un alimentador que cuente con características similares al de estudio, el cual nos permita relacionarlos entre sí, para poder estimar los resultados.

Entre otros parámetros, para utilizar esta metodología se debe considerar la simultaneidad de los siguientes factores:

- El valor de la demanda.
- Tipo o estrato de clientes representativos a los que brinda servicio.
- La distancia de recorrido.
- Condiciones de cargabilidad del equipamiento eléctrico.

Una vez planteado las tres metodologías más comunes para el análisis de las pérdidas técnicas, el método de flujo de potencia es la más adecuada para nuestro estudio, debido a que se posee con la información que será útil a lo largo del proceso y por qué sus márgenes de error nos permiten estar aproximados a la realidad del alimentador.

La Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP, invirtió en la adquisición del programa Cymdist de la marca CYME, de manera que en todas las unidades de negocio se analice los

sistemas con el mismo paquete informático, dando lugar a tener una información en el mismo lenguaje de programación.

### **Alternativas para reducir las pérdidas técnicas**

Las diferentes soluciones para reducir las pérdidas técnicas en una red de distribución son las siguientes:

- **Reconfiguración de los sistemas de distribución**

Según Gonzales (2007) la reconfiguración de un sistema de distribución consiste en encontrar nuevas topologías y adaptarlas al sistema para observar su comportamiento, para esto existen varias metodologías que van desde técnicas manuales hasta los más sofisticados algoritmos.

El objetivo principal al reconfigurar un sistema de distribución es encontrar una topología en la que se reflejen mejoras que permitan suministrar un excelente servicio desde el punto de vista de la seguridad, la confiabilidad y la rentabilidad tanto para la empresa distribuidora como para el consumidor final.

- **Instalación de condensadores**

Las pérdidas en las líneas aéreas se incrementan mientras menor es el factor de potencia de carácter inductivo de la carga, que hace que circule mayor corriente por las redes, incrementado de esta manera las pérdidas resistivas.

La inyección de un banco de capacitores en la red eléctrica permite reducir la corriente por medio de la inyección de reactivos, mejorando de esta manera el perfil de voltaje y mejorar el transporte de energía en la red hacia los centros de consumo.

Como consecuencia de tener un banco de capacitores conectado a la red, se reduce las pérdidas, se mejora el nivel de voltaje y por ende se libera una cierta capacidad de potencia del sistema

- **Reemplazo de transformadores obsoletos**

El diseño de transformadores modernos ha alcanzado considerables progresos en términos de reducción de pérdidas, especialmente en lo que se refiere al núcleo. En la actualidad, las

pérdidas en el hierro representan un poco más de la mitad de las pérdidas de transformadores construidos hace 30 años.

- **Reducción Controlada de la Tensión**

Este caso se trata de una técnica que hace uso de la sensibilidad de la demanda eléctrica a las variaciones de la tensión. Cuando se disminuye la tensión al usuario final, la demanda neta de potencia activa y reactiva también disminuye. No todas las cargas se comportan de la misma manera, porque en algunos casos la medida es más efectiva que en otros. A esta técnica se la conoce por su nombre en inglés como “Conservation Voltage Reduction (CVR)”.

- **Mejora de la eficiencia de Transformadores De Distribución**

Los transformadores de distribución representan una importante fuente de pérdidas en el sistema, principalmente debido a las pérdidas en el hierro, debido a que el factor de uso de los mismos es bajo (operan mucho tiempo a baja carga). Un estudio exhaustivo llevada a cabo por el laboratorio nacional de “Oak Ridge” en los Estados Unidos, demostró que el reemplazo de transformadores de distribución, especialmente los más antiguos, por otros de mayor eficiencia se puede lograr una reducción de las pérdidas del orden del 20% -30%. A partir de los resultados de ese estudio, se implementaron en Estados Unidos reglamentaciones que exigen un mínimo de eficiencia para los transformadores de distribución que se fabrican e instalan a partir del año 2010.

- **Rebalanceo de Fases**

En los circuitos secundarios de distribución, las cargas monofásicas se conectan a las diferentes fases de los circuitos. Si bien se trata de que las cargas en las distintas fases de los circuitos estén balanceadas, no siempre se logra en forma óptima. El desbalanceo de fases provoca corrientes de circulación que originan pérdidas. Un rebalanceo apropiado de las fases es una medida de relativamente bajo costo que puede ayudar a reducir las pérdidas en distribución.

Para ello, conforme a la medida, registro y características de uso de los clientes de cada alimentador, se puede llegar a re-ubicar a cada uno de los mismos, para llegar a una optimización de la carga y mejorar el factor de uso de cada fase.

- **Incremento del calibre del conductor en primarios y secundarios**

El incremento del calibre del conductor es una de las alternativas que más han optado por elegir las empresas de distribución debido a que gran parte de sus sistemas fueron construidos hace varios años y una gran solución es el cambio de redes por unas de conductor de mayor sección, esto es debido a que un conductor tiene pérdidas que son directamente proporcionales a la resistencia, la resistencia es inversamente proporcional a su sección; lo que significa que si se tiene un conductor con mayor sección se obtiene menor resistencia, y por tanto, sus pérdidas serán menores y disminuye la caída de voltaje.

- **Balance de Carga**

En los sistemas de distribución al existir cargas monofásicas a lo largo de un alimentador trifásico, provocando el desbalance de carga entre fases debido a que las corrientes que circula por cada una de las fases son diferentes a su vez esto eleva la corriente del neutro afectando el límite térmico del conductor del neutro.

Para determinar el desbalance de carga que existe en un sistema de distribución se puede utilizar la ecuación (6) que se detalla a continuación.

$$I_{.pro} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \text{ [A]} \quad (5)$$

$$D = \frac{[(I_a - I_{.pro})(I_b - I_{.pro})(I_c - I_{.pro})]}{I_{.pro}} * 100 \quad (6)$$

Dónde:

D = % desbalance

I<sub>a</sub>, I<sub>b</sub>, I<sub>c</sub> = Magnitud de la corriente en cada fase (A)

I<sub>.pro</sub> = Magnitud promedio de la corriente (A).

Las corrientes desbalanceadas producen voltajes desbalanceados que traen consigo caída de voltaje en líneas, transformadores, etc., y como resultado de esto se dan desequilibrios en las tensiones aplicadas en las cargas. En los sistemas de distribución que presenten cargas desequilibradas tiene un costo operativo mayor. El balanceo del sistema consiste en redistribuir las cargas de este, de tal forma que opere de la manera más balanceada posible.

Por eso es de vital importancia mantener balanceadas las fases en el arranque de las alimentadoras puesto que todos los análisis y conceptos utilizados se basan en tener un sistema equilibrado y balanceado.

Los desbalances en los sistemas de distribución producen algunos inconvenientes como:

- Elevadas corrientes en el neutro, ocasionadas por el desbalance de las carga, puede generar disparos indeseados de las protecciones.
- Limitación adicional en la capacidad de las líneas dada por el límite térmico del conductor de neutro.

Para el análisis de desbalance de carga es necesario un procedimiento para una obtención acertada de resultados, a continuación se presenta un resumen:

1. De la curva de carga diaria del alimentador se obtienen las magnitudes de las corrientes de fase.
2. Se obtienen los porcentajes de desequilibrio entre las magnitudes de corriente de cada fase.
3. Se realiza un equilibrio de carga en el alimentador, que puede ser mediante una distribución de carga del programa Cymdist que se utiliza en el estudio, realizando una transferencia de carga de los transformadores que se encuentran en la fase más cargada a la menos cargada, cuando no es posible hacerlo con transformadores, en circuitos donde la mayor parte de los transformadores son trifásicos, el equilibrio se realiza desde los circuitos secundarios y de esta manera se realiza la curva diaria de carga del alimentador nuevamente si la magnitud de esta en la mayor parte del periodo es menor al 20% antes mencionado se considera al circuito equilibrado, de lo contrario se repite el procedimiento hasta lograr el objetivo.

De esta manera y mediante un buen desarrollo se puede obtener una diferencia entre las condiciones desbalanceadas y balanceadas permitiendo un ahorro de potencia y energía beneficioso para la empresa distribuidora y los clientes.

### **Restricciones para el Balance de Carga**

Cualquiera que sea el criterio o metodología seleccionada, se debe asegurar que cumpla con las restricciones mínimas que son:

- Que los índices de desbalance estén de acuerdo a los realizados por la empresa distribuidora.

- Que los niveles de tensión máximo y mínimo del alimentador sean tomados en cuenta.
- Que no sean excedidos los límites térmicos de las líneas.

### **Beneficios del Balance de Carga en un Alimentador**

Entre los beneficios que se pueden obtener a partir del balanceo de carga en las redes de media tensión y que benefician tanto a la empresa distribuidora como a los usuarios; se puede citar los siguientes:

- Mejora el voltaje igualando las caídas de tensión en cada fase a lo largo del alimentador.
- Mejora la capacidad de conducción en las líneas.

### **Software Cymdist**

#### **Descripción del Software Cymdist.**

El programa CYMDIST permite realizar varios tipos de estudios en sistemas equilibrados o desequilibrados, monofásicos, bifásicos o trifásicos, con configuración radial, en anillo o mallada. El programa CYMDIST incluye un editor completo de redes y las funciones siguientes:

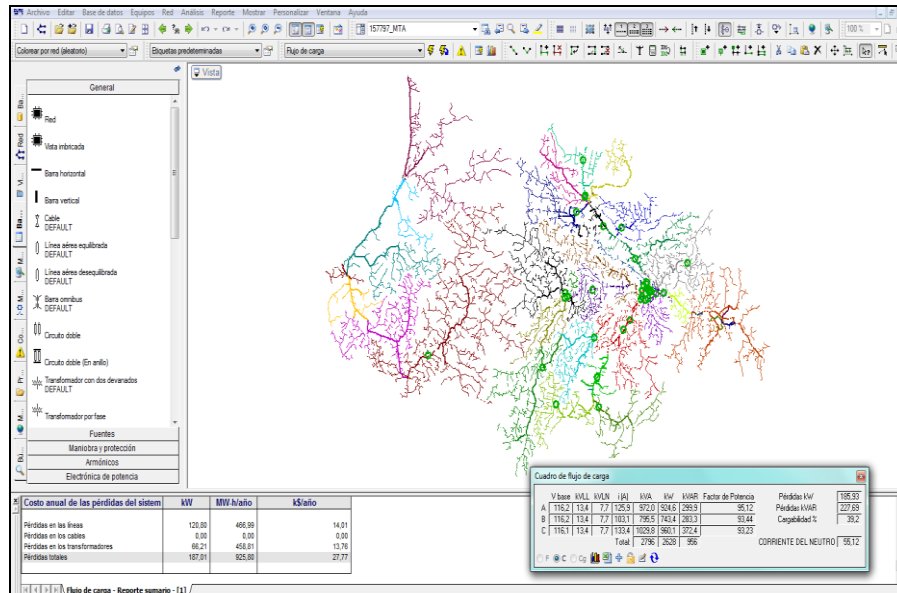
- Flujo de potencia desbalanceado.
- Análisis exhaustivo de fallas.
- Balance de cargas.
- Distribución y evaluación de cargas.
- Ubicación óptima de condensadores.

El programa de análisis de redes de distribución CYMDIST es una serie de aplicaciones que consta de un editor de red, de módulos de análisis y de bibliotecas de modelos personalizables desde las cuales el usuario puede obtener la solución más eficiente.

El programa fue diseñado para realizar estudios de planeamiento y simular el comportamiento de las redes de distribución en distintas condiciones de funcionamiento y distintos escenarios. Incluye varias funciones incorporadas necesarias para el planeamiento, la explotación y el análisis de las redes de distribución.

El programa CYMDIST es una herramienta muy potente para crear sus propios estudios predictivos por simulación para evaluar el impacto de los cambios efectuados en la red. La figura 4 indica la ventana del programa.

**Figura 4:** Ambiente de trabajo del software CYMDIST.



**Fuente:** Software CYMDIST.

El programa de análisis de redes de distribución CYMDIST fue diseñado para realizar estudios de planeamiento y simular el comportamiento de las redes de distribución en distintas condiciones de funcionamiento y distintos escenarios. Incluye varios parámetros de control que se pueden incorporar según la necesidad o la complejidad de análisis, los cuales son necesarios para la interpretación, la explotación y el análisis de las redes de distribución:

- Voltajes LL, LN
- Corrientes
- Potencia Activa, Reactiva y Aparente.
- Factor de potencia.
- Cargabilidad de los elementos eléctricos.
- Pérdidas
- Perfil de voltaje.

## **9. HIPÓTESIS**

Existen elementos que están produciendo pérdidas técnicas en la red de distribución del Alimentar 1 de la Subestación San Cristóbal, entonces podremos recomendar soluciones correctivas que contribuyan a la disminución de los niveles de las pérdidas técnicas.

## **10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

Como metodología para determinar las pérdidas técnicas, y las posibles soluciones; las analizaremos mediante el software Cymdist que permite realizar diferentes tipos de estudios desde la realización de redes en una subestación con sus respectivos alimentador con análisis en sistemas monofásicos, bifásicos y trifásicos, balanceados o desbalanceados, con configuración radial, en anillo o mallada, además incluye un editor completo de redes y funciones tales como:

- Flujo de potencia desbalanceado
- Análisis de fallas.
- Balance de cargas
- Distribución de cargas
- Ubicación optima de condensadores

El programa es una herramienta que permite la simulación de una red de distribución con sus respectivos parámetros, es decir, se puede especificar sus tensiones en los componentes, sus equipos necesarios ya sean de corte o protección así como de ubicación de motores, generadores, cargas concentradas, repartidas, interruptores, etc. Permite un análisis de diferentes situaciones del sistema de distribución de carga, balance de carga, análisis de contingencia, proyección de carga, etc.

Con la información obtenida por parte del Departamento de Planificación de la Empresa Distribuidora, se realiza una actualización y levantamiento de la misma para comprobar la veracidad, ya que de esto depende el resultado del trabajo a desarrollar. Nos centraremos en el calibre de los conductores, la capacidad de los transformadores de distribución. Con la base de datos proporcionada del ArcGIS y la base comercial se contará con las cargas, tipos de clientes conectados a cada transformador y de igual manera la carga total del alimentador 1.

Para el presente proyecto se realizara el análisis de flujos de potencia con sus respectivas caídas de voltajes, así como el balance de carga para el sistema.



Mediante este análisis, los datos obtenidos serán procesados y considerados de diferentes maneras para así buscar la alternativa óptima para la reducción de pérdidas dentro del sistema de distribución del Alimentador 1.

Para obtener resultados confiables en la estimación de pérdidas técnicas por medio de flujos de potencia es necesario disponer de la información necesaria para dicha estimación, es importante disponer las características técnicas del sistema y las características de la carga.

## 11. DESCRIPCIÓN DEL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL

La subestación San Cristóbal está conformada por tres alimentadores con una potencia instalada de 6,55 MVA, una red a 13,2 kV. El alimentador 1 abastece del servicio eléctrico a la mitad de la población urbana con una carga instalada de 3,705 MVA, en el **Anexo 1** se observa la topología y la red de distribución del Alimentador 1 y en el **Anexo 2** se detalla el diagrama unifilar del alimentador.. En la tabla 4 se presenta la cantidad de transformadores conectados al alimentador 1, donde se encuentran clasificados por tipo y capacidad instalada.

**Tabla 4:** Cantidad de Transformadores según sus capacidades

<b>Tipo</b>	<b>Capacidad de transformadores kVA</b>	<b>Total</b>	<b>Capacidad Instalada kVA</b>	<b>Porcentaje</b>
Monofásicos	10	1	10	0,27%
	15	4	60	1,62%
	25	26	650	17,54%
	37,5	14	525	14,17%
	50	7	350	9,45%
	75	1	75	2,02%
Trifásicos	30	2	60	1,62%
	45	5	225	6,07%
	50	4	200	5,40%
	75	2	150	4,05%
	112,5	2	225	6,07%
	125	1	125	3,37%
	150	1	150	4,05%
	400	1	400	10,80%
	500	1	500	13,50%
<b>Total</b>		<b>72</b>	<b>3705</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** Departamento de Planificación

## Características Eléctricas del Alimentador 1

### Demanda Alimentador 1.

De acuerdo a los datos de registro del medidor en la cabecera del alimentador 1, se determinaron los meses de mayor consumo ilustrados en la Figura 5 siendo estos meses, abril y diciembre; tomando para nuestro estudio el mes de abril el cual coincide con el consumo promedio de energía de los clientes conectados a esta red.

**Figura 5:** Demanda móvil alimentador 1



**Fuente:** Departamento de Planificación

La tabla 5 muestra los datos históricos de la demanda del alimentador 1 durante el año 2016, donde encontramos el mes de abril con la máxima demanda de 1,32 MW y su demanda mínima de 1,08 MW en el mes de agosto.

**Tabla 5:** Demanda Alimentador 1

DEMANDA ALIMENTADOR 1 AÑO 2016												
Demanda MW	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
		1,17	1,27	1,24	1,32	1,25	1,29	1,20	1,08	1,10	1,14	1,18
<b>Demanda máxima MW</b>	<b>1,32</b>											
<b>Demanda media MW</b>	<b>1,21</b>											
<b>Demanda mínima MW</b>	<b>1,08</b>											

**Fuente:** Departamento de Planificación

### Tipos de Clientes del Alimentador 1.

En la Tabla 6 observamos que el 44,23% de la energía es consumida por los clientes residenciales seguidos por los clientes comerciales con 37,89% y un consumo del 16,32% de los clientes considerados como otros (alumbrado público, asistencia social, autoconsumo, beneficio público, bombeo de agua y entidades oficiales).

**Tabla 6:** Cantidad de clientes y consumo promedio al año

<b>TIPO DE CLIENTES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Consumo promedio al año de energía (MW-h)</b>	<b>% Consumo de los clientes</b>
COMERCIAL	292	163,51	37,89
INDUSTRIAL	13	2,35	0,54
OTROS	40	70,40	16,32
PEC	14	4,38	1,02
RESIDENCIAL	1169	190,85	44,23
<b>TOTAL</b>	<b>1528</b>	<b>431,49</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Dirección Comercial archivo IMPDOC EMISION 12/2016

## 12. ANÁLISIS MEDIANTE FLUJOS DE POTENCIA

Entre las opciones que posee el software CYMDIST, es el módulo de flujo de carga; el cual nos permite realizar corridas de flujos de potencia determinando si los tramos de la red y cargas concentradas están unidas eléctricamente, usa un número determinado de convergencias para verificar la existencia de errores.

### Simulación de la Condición Actual del Alimentador 1

#### Información para el análisis del alimentador 1.

Con la información y parámetros de los elementos necesarios que constituyen la red del alimentador 1, ingresamos los valores de demanda y factor de potencia registrados en la cabecera del alimentador. La Figura 6 muestra la pantalla donde digitamos los valores ya mencionados, de igual manera en esta configuración podemos revisar la capacidad instalada que tiene el alimentador. Los resultados que se obtenga luego de los distintos análisis dependerán de la veracidad de los datos ingresados.

**Figura 6:** Propiedades de la red

Fuente: Departamento de planificación

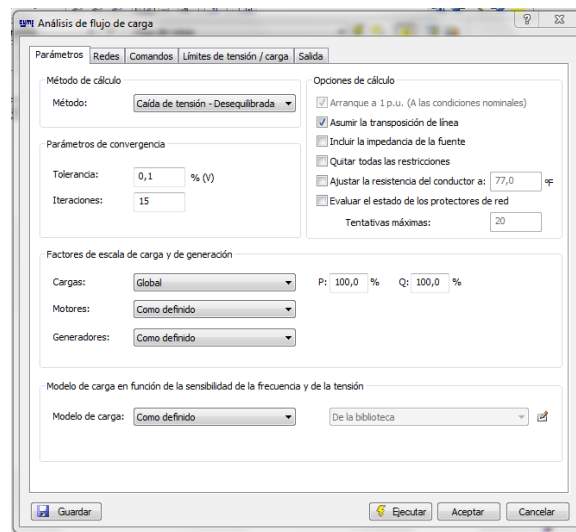
### Distribución de carga.

Una de las características del software CYMDIST es la distribución de carga, donde se asigna un valor determinado de la demanda a cada una de las fases, en función a los kVA conectados al alimentador. La figura 7 presenta las características del análisis de distribución de carga, en la parte inferior derecha se observa los valores de potencia que se asignó a cada fase y de esta manera realizar el flujo de potencia.

**Figura 7:** Configuración para el análisis de distribución de carga

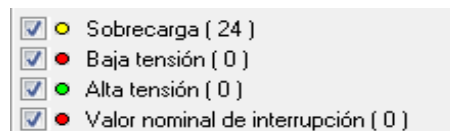
Fuente: Software Cymdist

Al realizar la distribución de carga procedemos a realizar el análisis de flujo de carga en el alimentador 1, procedemos a tomar los valores para el análisis, las interacciones que utilizaremos serán 15 con una tolerancia de 0,1%, como lo indicamos en la figura 8.

**Figura 8:** Parámetros del primer análisis de flujo de potencia.

**Fuente:** Software Cymdist.

En la figura 9 se detalla los resultados; donde podemos observar que existen elementos que se encuentran con sobrecarga representados por el color amarillo; así como los elementos que presentan un bajo voltaje simbolizados por el color rojo.

**Figura 9:** Elementos con Anomalías

**Fuente:** Software Cymdist

En la siguiente tabla presentamos el resumen de las pérdidas, donde se observa un mayor porcentaje de pérdidas en los transformadores seguido de las pérdidas en las líneas y un bajo porcentaje en los cables.

**Tabla 7:** Resumen detallado de pérdidas Alimentador 1

Nombre de la red	Carga total		Pérdidas totales kW
	kW	Fp	
<b>Alimentador 1</b>	1320	0,92	30,10
Resumen detallado de Pérdidas			
Pérdidas en las líneas lado primario Kw			5,33
Pérdidas en los cables lado secundario kW			0,02
Pérdidas en los transformadores kW			24,74
<b>Pérdidas totales</b>			<b>30,10</b>

**Fuente:** Postulantes





La tabla 7 presenta un cuadro resumido de las pérdidas, donde se observa un mayor porcentaje de pérdidas en los transformadores seguido de las pérdidas en las líneas de alto voltaje o lado primario y un bajo porcentaje en los cables del lado secundario.

En la figura 10 tenemos los resultados de nuestro primer estudio con datos actuales y describimos la situación actual de la red del alimentador 1.

**Figura 10:** Estado Actual del Alimentador 1

**Cuadro de flujo de carga**

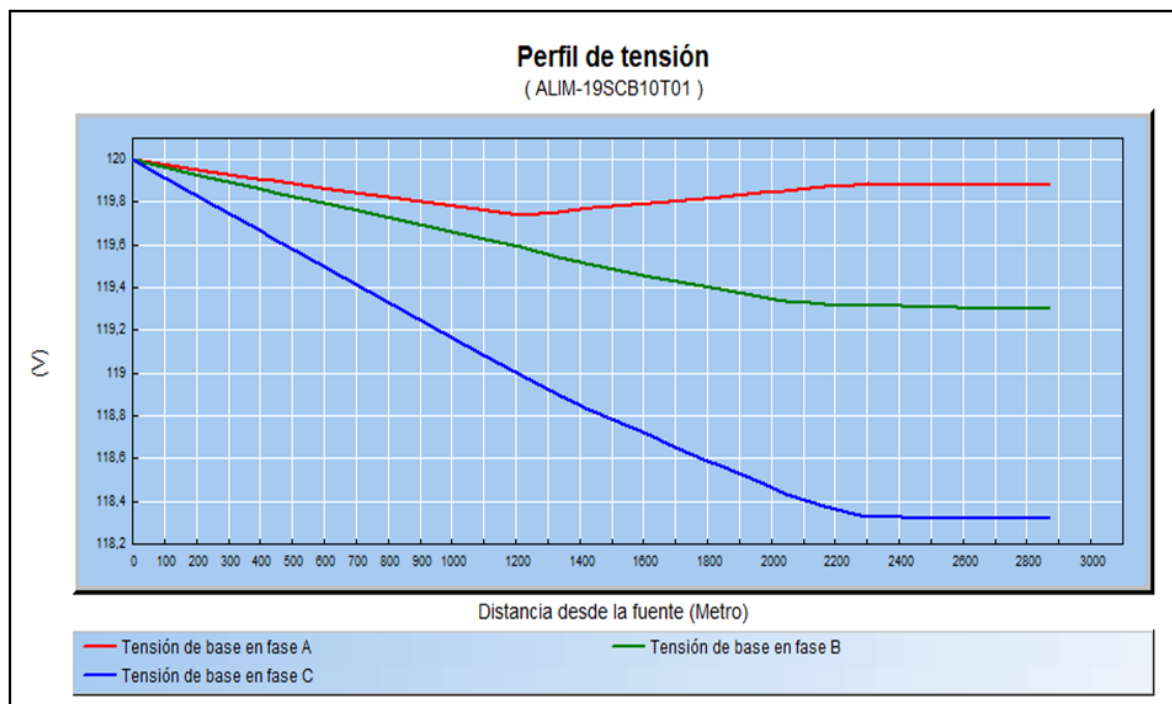
	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	Factor de Potencia	Pérdidas kW
A	120,0	13,2	7,6	53,1	404,8	371,7	160,3	91,83	30,10
B	120,0	13,2	7,6	70,5	537,4	493,3	213,1	91,80	
C	120,0	13,2	7,6	49,3	376,1	346,7	145,6	92,20	
Total:				1318	1212	519			

○ F ○ C ○ Cg    

**Fuente:** software CYMDIST

En la figura 11 se muestra un perfil de voltajes, donde se muestra que la carga no es uniforme en cada fase de acuerdo al recorrido del alimentador.

**Figura 11:** Perfil de Voltaje



**Fuente:** Software Cymdist

Gracias a los perfiles de voltaje tenemos una vision mas amplia de la situacion actual del voltaje que recibe el usuario conectado a la red del alimentador 1, la tabla 8 muestra los niveles de voltaje admisibles con respecto a la regulacion de calidad de servicio 004/01, estos niveles de voltaje se toma cuando el alimentador está en 2 km de recorrido.

**Tabla 8:** Análisis Perfil de Voltaje

<b>Voltaje en función a la distancia</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Voltaje mínimo (Volt)</b>	111,6	111,6	111,6
<b>voltaje registrado (Volt)</b>	119,38	119,3	118,2

Fuente: Postulantes

Podemos constatar el cumplimiento del voltaje admisible por la regulacion, no obstante se puede recalcar que la fase C tiene un cierta variacion con respecto a las demas fases; esto podria ser por las cargas que se encuentran conectadas en esta fase.

### **Balance de carga.**

Aplicamos las ecuaciones (5) para calcular la magnitud promedio de la corriente y la ecuacion (6) para calcular el desbalance de carga que existe en el sistema de distribucion de la red del Alimentador en estudio.

$$I_{pro} = \frac{I_a - I_b - I_c}{3} [A] \quad (5)$$

$$I_{pro} = \frac{53,1[A] - 70,5[A] - 49,3[A]}{3}$$

$$I_{pro} = 57,63 [A]$$

$$D = \frac{[(I_a - I_{pro})(I_b - I_{pro})(I_c - I_{pro})]}{I_{pro}} * 100 \quad (6)$$

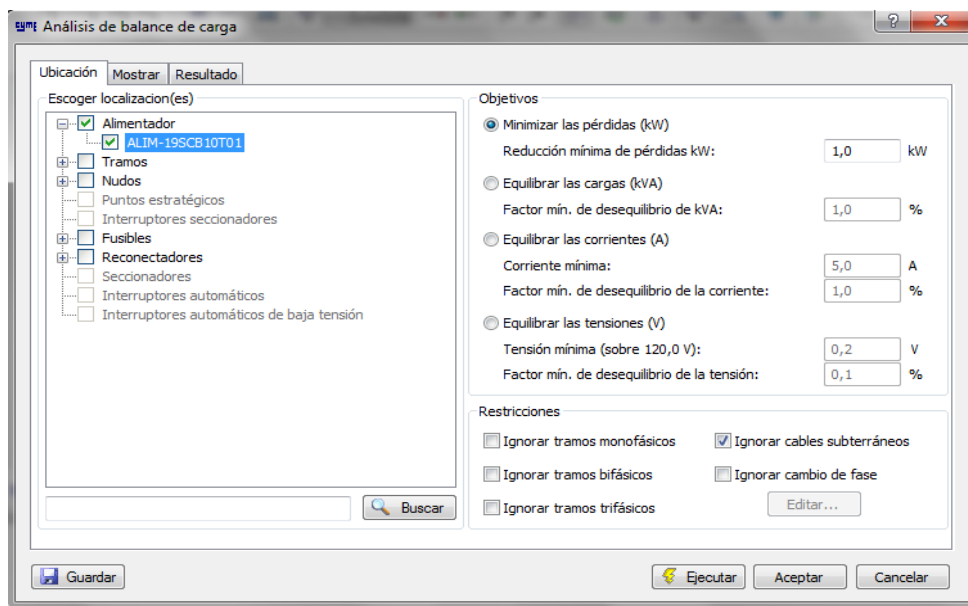
$$D = \frac{[(53,1 - 57,63)(70,5 - 57,63)(49,3 - 57,63)]}{57,63} * 100$$

$$D = 84,33\%$$

Con la aplicación de las ecuaciones (5) y (6) da como resultado que el alimentador 1 se encuentra con un desbalance de 84,33%, determinamos que el Alimentador se encuentra desbalanceado ya que por definición al momento de realizar los cálculos de desbalance; el resultado que se obtendrá no debe ser mayor al 20%. De igual manera se obtiene el resultado de anomalías en la red como son estos: transformadores sobrecargados, cargas concentradas y conductores sobrecargados de acuerdo a los reportes obtenidos por el software CYMDYST que se presentan en las tablas 9, 10, 11, 12 y 13.

De acuerdo a los resultados arrojados por los cálculos anteriores, utilizamos la función balance de carga del software CYMDIST el cual nos dará posibles alternativas para optimizar el equilibrio de las fases.

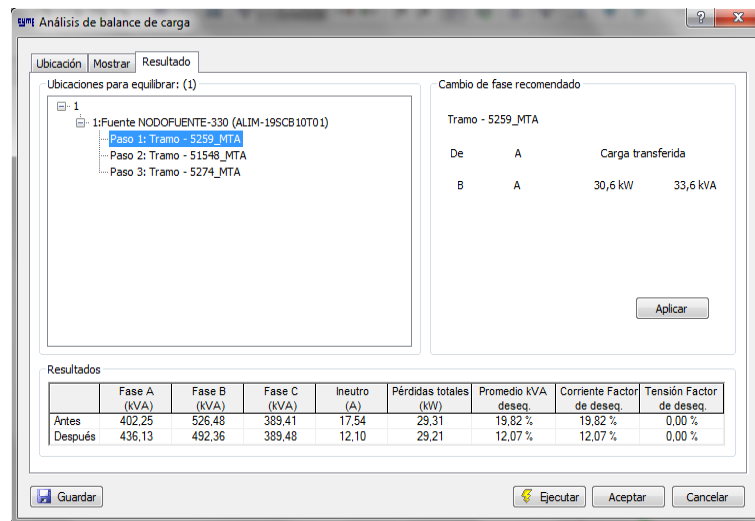
**Figura 12:** Configuración Balance de Carga



**Fuente:** software CYMDIST.

Al realizar el balance de carga al alimentador 1, como se muestra en la figura 13 se presenta la alternativa tomada por el software, la cual permitirá reducir la corriente que circula por el neutro.



**Figura 13:** Resultado Balance de Carga

**Fuente:** software CYMDIST.

A continuación se presentan las tablas de las opciones proporcionadas por el balance de carga luego de la simulación con los datos actuales, brindándonos tres alternativas distintas.

**Tabla 9:** Primera Alternativa de transferencia de carga

Nombre del tramo	Cambio de fase (kVA)				Fase A (kVA)	Fase B (kVA)	Fase C (kVA)	Corriente neutro (A)	Pérdidas totales (Kw)
	A	B	C						
*5259_MTA		a A		Antes	402,25	526,48	389,41	17,54	29,31
		33,57		Después	436,13	492,36	389,48	12,1	29,21

**Fuente:** software CYMDIST.

**Tabla 10:** Segunda Alternativa Transferencia de carga

Nombre del tramo	Cambio de fase (kVA)				Fase A (kVA)	Fase B (kVA)	Fase C (kVA)	Corriente neutro (A)	Pérdidas totales (Kw)
	A	B	C						
*51548_MTA		a C		Antes	436,13	492,36	389,48	12,1	29,21
		23,95		Después	436,06	468,1	413,75	6,62	29,17

**Fuente:** software CYMDIST.

**Tabla 11:** Tercera Alternativa Transferencia de carga

Nombre del tramo	Cambio de fase (kVA)				Fase A (kVA)	Fase B (kVA)	Fase C (kVA)	Corrie neutro (A)	Pérdidas totales (Kw)
	A	B	C						
*5274_MTA		a C		Antes	436,06	468,1	413,75	6,62	29,17
		21,31		Después	436	446,56	435,35	1,82	29,17

Fuente: software CYMDIST.

De acuerdo a la informacion mostrada en las tablas anteriores ilustramos en el **Anexo 3**, los cambios en los tramos despues de haber realizado el balance de carga.

Como se puede observar en el **Anexo 3** se realizo la transferencia de carga del tramo 5259\_MTA de 33,57 kVA desde la fase B hacia la fase A, de igual manera se realizo la transferencia de carga en el tramo 51548\_MTA de 23,95 kVA desde la fase B hacia la fase C; y por ultimo l trasferencia de carga en el tramo 5257\_MTA de 23,31kVA desde la fase B hacia la fase C. Este balance de carga nos permite reducir la corriente que circula por el neutro, ya que previo al balance la corriente del neutro era de 17,54 amperios lo que represnta el 19,82% de desequilibrio y una vez realizado el balance de carga se logra reducir esta corriente a 1,81 amperios que representa el 1,65% de desequilibrio. El resultado del balance de carga es reducir las perdidas en 0,93 kW, obteniendo asi un total de 29,17 kW en perdidas totales en el Alimentador 1.

### **Conductores Sobrecargados.**

En la tabla 12 se indica los conductores que el software reporta con sobrecarga, detallando el nombre del tramo, el tipo de conductor, la corriente que circula por los conductores y la capacidad de conduccion de corriente del conductor.

La nomenclatura utilizada en la tabla 12 que identifica a los tramos significa:

**I5301\_BTA**

**I5301**= número del tramo.

**BTA**= Baja tención aérea.

**Tabla 12:** Conductores Sobrecargados

<b>Nro. tramo</b>	<b>Tipo de Conductor</b>	<b>Capacidad (I) Amps</b>	<b>I.Circula (Amps)</b>
I5244_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	233,2
I5301_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	241,4
I5277_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	251,7
I5265_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	234,8
I5270_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	340,1
I51539_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	338,8
I5260_BTA	Aluminio desnudo ACSR 2	185	254,4

**Fuente:** software CYMDIST.

La capacidad de conducción de corriente para el conductor desnudo de Aluminio desnudo ACSR 2 es de 2185Amperios operando a una temperatura de 80°C, con una temperatura ambiente de 28°C; estos datos son aproximados sujetos a tolerancia de manufactura.

Como se observa en la tabla 12 existen 7 tramos de la red de distribución en bajo voltaje que se encuentran con sobrecarga ya que la corriente que circula es mayor a la capacidad de conducción del conductor de aluminio ACSR 2.

### **Transformadores Sobrecargados.**

En la tabla 13 se observa los transformadores que se encuentran con sobrecarga, detallando la capacidad del transformador y la carga instalada en cada transformador.

**Tabla 13:** Transformadores sobrecargados

<b>Nro. equipo</b>	<b>Capacidad Transformador kVA</b>	<b>Carga Instalada kW</b>
5227_MTA-1	15	18,54
37183_MTA-1	45	48,5
5241_MTA-1	45	46,79
132	25	28,31
5297_MTA-1	25	23,99
5277_MTA-1	25	29,47

**Fuente:** software CYMDIST.

Mediante la simulación de la condición actual, se tienen datos iniciales con los cuales podemos tomar acciones para mejorar y comparar con los resultados obtenidos.

#### **Análisis de transformadores sobrecargados.**

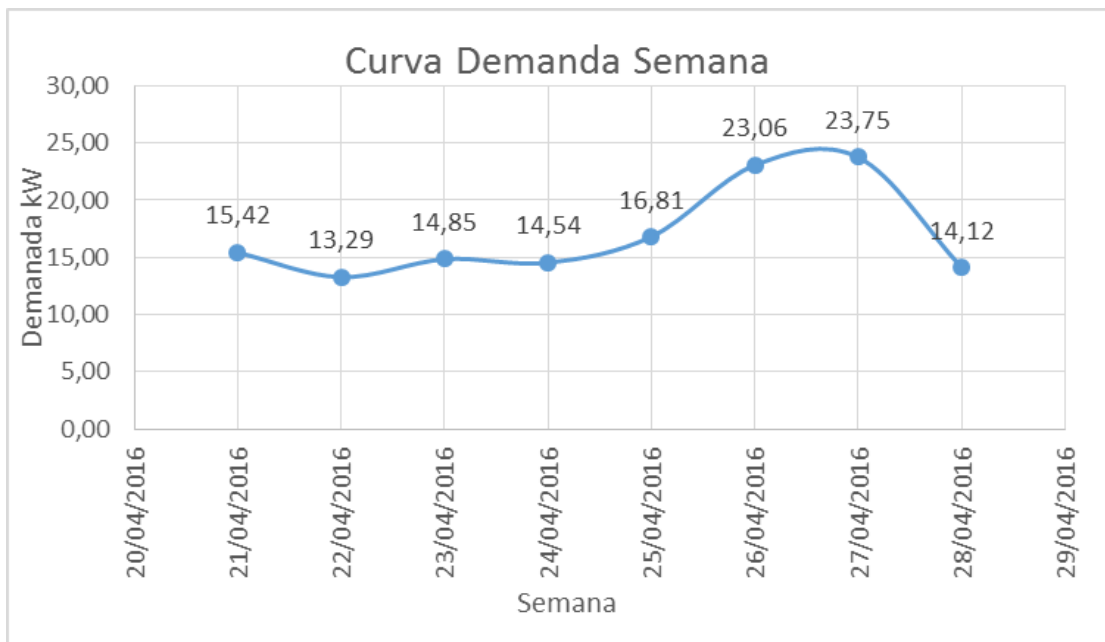
Como podemos observar en la figura 14, tenemos la curva de la demanda del transformador 5227\_MTA-1 durante 7 días consecutivos, donde encontramos que la demanda máxima es de 23,75 kW y la potencia nominal del transformador de distribución es de 15kVA; con esto podemos determinar el factor de utilización del transformador mediante la fórmula:

$$F_{util} = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Capacidad Instalada}} \quad (3)$$

$$F_{util} = \frac{23,75kVA}{15kVA}$$

$$F_{util} = 1,583 * 100\%$$

$$F_{util} = 158,3\%$$

**Figura 14:** Curva de demanda máxima

**Fuente:** Postulantes

El transformador en análisis tiene un factor de utilización mayor al 140%, por lo que se considera al transformador como sobrecargado.

El transformador 5227\_MTA-1 posee un factor de demanda de 1,28 valor calculado mediante la fórmula:

$$FdD = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga instalada}} \quad (1)$$

$$FdD = \frac{23,75kW}{18,54 kW} = 1,28$$

De igual manera calculamos el factor de carga actual del transformador mediante la fórmula:

$$FdC = \frac{D_{prom}}{D_{max}} \quad (2)$$

$$FdC = \frac{16,96kW}{23,75kW} = 0,71$$



posteriormente plantear soluciones como el cambio de capacidad de un transformador y la transferencia de carga a un transformador cercano.

Dentro del análisis a los transformadores que se encuentran con sobrecarga se realizó una verificación de la carga conectada a los mismos, dando como resultado que en cuatro de los seis transformadores existen clientes conectados que ya no se encuentran en la base de datos comercial, de esta manera se procede a desconectar y verificar la ubicación de estos clientes.

Verificando las cargas conectadas en los transformadores y contrastando con la información de la base de datos comercial de la empresa se procede a depurar los clientes no existentes que representan la supuesta sobrecarga de los transformadores.

En la figura 16 se ilustra un ejemplo del procedimiento realizado.

**Figura 16:** Depuración de clientes no existentes en el Transformador N° 132.

Número del cliente	Tipo de cliente	Bloqueado	Desconectado	Año	Prioridad normal	Prioridad de emergencia	Fase	kW reales	kVAR reales	KVA conn.	kWh	# cliente	Toma al centro	Perfiles	Consumo
10979	Comercial	Desbloqueado	<input checked="" type="checkbox"/>	2017	0	0	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
							A	4,56	1,86	0,93	1272,0	1,00	0,00		
							B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Perfiles	Consumo
10468	Residencial	Desbloqueado	<input type="checkbox"/>	2016	0	0	A	0,13	0,05	0,93	66,00	1,00	0,00		
							B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Perfiles	Consumo
							C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10469	Comercial	Desbloqueado	<input type="checkbox"/>	2016	0	0	A	3,83	1,56	0,93	1068,0	1,00	0,00		
							B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Perfiles	Consumo
							C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10888	Residencial	Desbloqueado	<input type="checkbox"/>	2016	0	0	A	0,63	0,26	0,93	314,00	1,00	0,00		
							B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Perfiles	Consumo
							C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
10941	Residencial	Desbloqueado	<input checked="" type="checkbox"/>	2016	0	0	A	2,62	1,07	0,93	1299,0	1,00	0,00		
							B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Perfiles	Consumo
							C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

**Fuente:** Software Cyndist

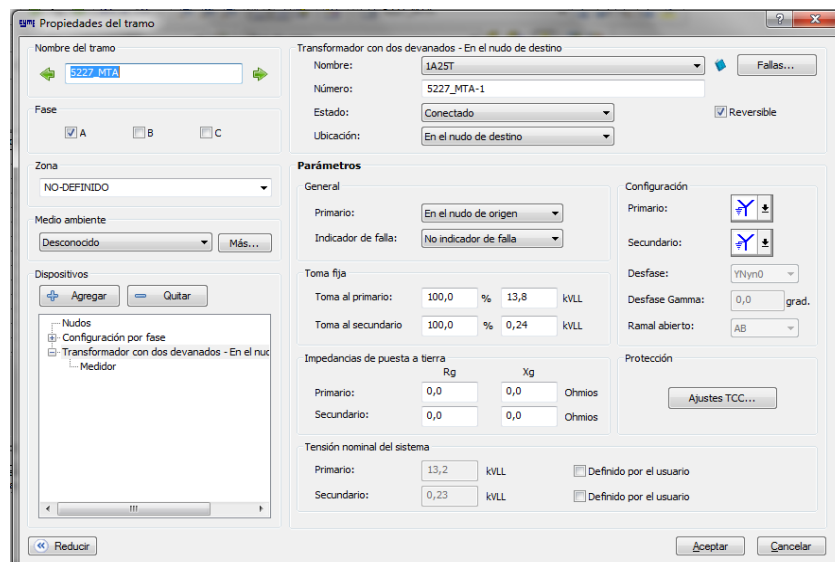
### Cambio de Transformador.

En la tabla 13 se detalla que el transformador N° 5227\_MTA-1 tiene una carga instalada de 18,54 kW, este transformador cuenta con un total de 48 clientes entre residenciales, comerciales e industriales; el consumo promedio de los clientes residenciales es de 9044 kWh, de los clientes comerciales es de 1886 kWh y el consumo de los clientes industriales es de 560 kWh al mes.

De acuerdo a lo manifestado en el análisis de transformadores con sobrecarga la situación actual del transformador 5227\_MTA-1 posee un factor de utilización de 158,3% y una capacidad nominal de 15kVA trabajando con factor de carga de 0,71; produciendo pérdidas de energía.

Analizando los tipos de clientes y el consumo de los mismos que se encuentran conectados al transformador N°5227\_MTA-1, se propone el cambio de potencia de éste transformador que es de 15kVA a un transformador de 25kVA, para de esta manera establecer el factor de utilización dentro del rango de uso confiable del 60% al 120%. En la figura 17 se observa el cambio de potencia del transformador.

**Figura 17:** Cambio de Transformador de 15KVA a 25KVA



**Fuente:** software CYMDIST.

Considerando el cambio de capacidad por un transformador de distribución de 25kVA establecemos el factor de utilización dentro del rango de uso confiable, según la fórmula:

$$F_{util.} = \frac{Demanda\ máxima}{Capacidad\ Instalada} \quad (3)$$

$$F_{util.} = \frac{23,75kW}{25kVA}$$

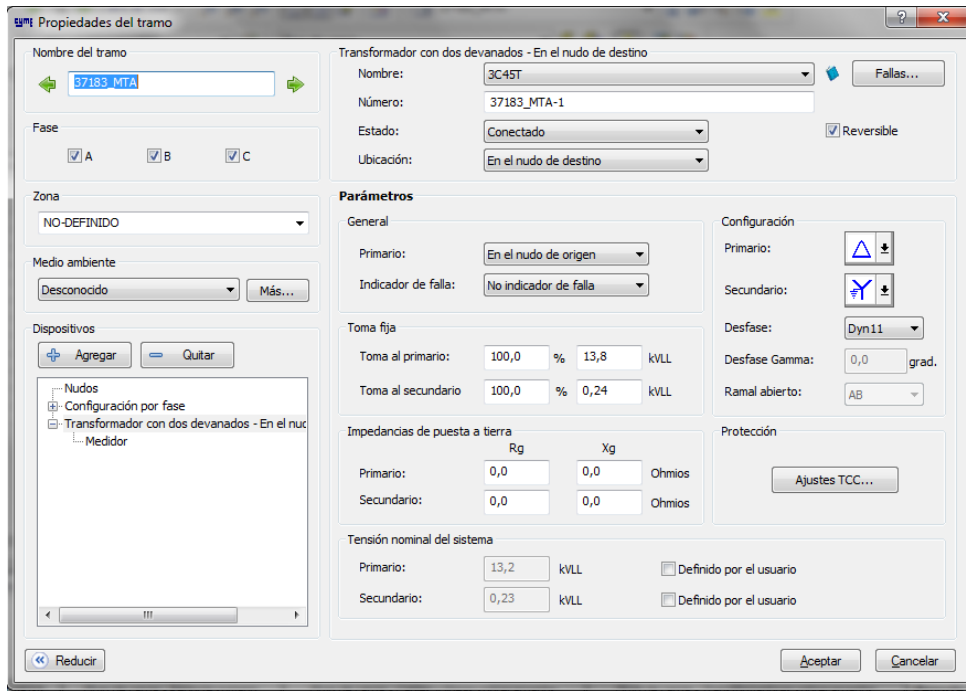
$$F_{util} = 0,95 * 100\% = 95\%$$



### Trasferencia de carga a un transformador cercano.

Al haber analizado la sobrecarga del transformador N° 37183\_MTA-1, donde se encuentran conectados clientes de tipo residencial, comercial e industrial; se propone la transferencia de carga de éste transformador a un transformador que tiene una ubicación cercana.

**Figura 18:** Transferencia de carga Transformador 37183\_MTA-1



**Fuente:** Software Cymdist

Este transformador N° 37183\_MTA-1 posee un total de 56 clientes conectados entre tipos de clientes residenciales, comerciales, industriales y otros; con un consumo mensual en el mes de abril de: 6144 kWh para los clientes residenciales, 3772 kWh en los clientes comerciales, 363 kWh en los clientes industriales y 28140 kWh en otros; dando un total de consumo de 38419 kWh.

La transferencia de carga que se propone realizar es al transformador I5169\_MTA que cuenta con un total de 75 clientes de tipo residencial, residencial PEC y comercial con un consumo mensual de: 11743 kWh para los clientes de estrato residencial, 19 kWh para los clientes residencial PEC y 1791 kWh en clientes de estrato comercial.

Debido a que el transformador I5169\_MTA no posee clientes de tipo industrial se plantea esta alternativa de transferencia de carga ya que a su vez la ubicación es cercana al transformador que se encuentra con sobrecarga.

La alternativa que se plantea es la transferencia de los dos clientes de tipo industrial que posee el transformador con sobrecarga y que su consumo es de 363 kWh. Para de esta forma distribuir con mejores criterios técnicos las cargas conectadas a estos dos transformadores.

### Nuevo Cálculo de Balance de Carga

Una vez solventado los errores que arrojó el primer flujo de carga y analizar cada uno de los componentes con sobrecarga, realizamos una nueva corrida de flujos que nos proporciona los siguientes datos presentados en la figura 19.

**Figura 19:** Nuevo cuadro de flujo de carga

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	Pérdidas
A	120,0	13,2	7,6	54,5	415,2	389,7	143,1	27,03
B	120,0	13,2	7,6	54,6	416,0	384,8	158,1	
C	120,0	13,2	7,6	54,7	417,0	386,0	157,7	
Total:					1248	1161	459	

Fuente: Software Cymdist

Realizando nuevamente los cálculos de balance de carga aplicando la ecuación (5) para calcular la magnitud promedio de la corriente y la ecuación (6) para calcular el porcentaje de desbalance de carga con los resultados obtenidos después de los cambios propuestos obtenemos:

$$I_{pro} = \frac{I_a - I_b - I_c}{3} \quad (5)$$

$$I_{pro} = \frac{54,5 [A] - 54,6 [A] - 54,7 [A]}{3}$$

$$I_{pro} = 54,6 [A]$$

$$D = \frac{[(I_a - I_{pro})(I_b - I_{pro})(I_c - I_{pro})]}{I_{pro}} * 100 \quad (6)$$

$$D = \frac{[(54,5 - 54,6)(54,6 - 54,6)(54,7 - 54,6)] [A]}{54,6 [A]} * 100$$

$$D = 0,1 \%$$

En comparación con los datos de la primera corrida de flujos y la actual, se mejora el balance de carga sustancialmente, en la tabla 14 se puede observar la mejor distribución que existe en las cargas.

**Tabla 14:** Comparación corrida de flujo

FASE	DATOS ACTUALES				CAMBIOS EN EL SISTEMA			
	Corriente i (A)	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (KVA)	Factor de Potencia (%)	Corriente i (A)	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (KVA)	Factor de Potencia (%)
<b>A</b>	53,1	371,7	404,8	91,83	54,5	389,7	415	92,03
<b>B</b>	70,5	493,3	537,4	91,80	54,6	384,8	416	92,02
<b>C</b>	49,3	346,7	376,1	92,20	54,7	386,0	417	92,18

Fuente: Postulantes

Con respecto a las pérdidas técnicas en los transformadores se presentan un cambio notable, al realizar un nuevo reporte con las modificaciones propuestas considerando las falencias encontradas podemos indicar, en la tabla 15 la disminución de las pérdidas técnicas comparando con el primer análisis.

**Tabla 15:** Nuevo Resumen de Pérdidas

Nombre de la red	Carga total	
	kW	Fp
<b>Alimentador 1</b>	1214	0,92
Resumen detallado de pérdidas		
Pérdidas en las líneas lado primario		4,57
Pérdidas en los cables lado secundario		0,02
Pérdidas en los transformadores		22,44
<b>Pérdidas totales</b>		<b>27,03</b>

Fuente: software CYMDIST.

### Comparativa de pérdidas del alimentador 1.

En la tabla 16 se muestra las pérdidas que arrojó el primer análisis del alimentador 1 y las pérdidas obtenidas después de aplicar los correctivos propuestos.

**Tabla 16:** Comparación de pérdidas

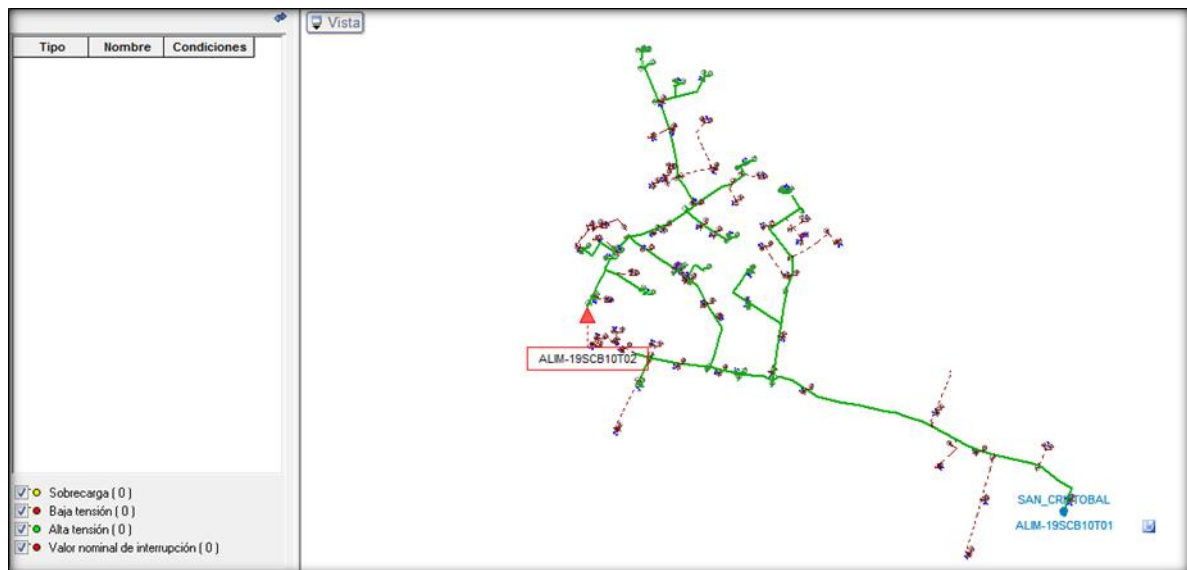
	<b>Pérdidas en las líneas Primario (kW)</b>	<b>Pérdidas en los cables Secundario (kW)</b>	<b>Pérdidas en los transformadores (kW)</b>	<b>Total pérdidas (kW)</b>	<b>Pérdidas totales (kWh)</b>
<b>Antes</b>	5,33	0,02	24,74	<b>30,10</b>	21672
<b>Después</b>	4,57	0,02	22,44	<b>27,03</b>	19461,6

**Fuente:** Postulantes

Luego de realizar el balance de carga, análisis de los transformadores y repotenciación de los conductores obtenemos una reducción favorable de las pérdidas, como observamos en la tabla 16 la diferencia es de 3,07 kW este valor representado en kilovatios hora es 2210,4 kWh.

En la figura 20 se muestra que al realizar los correctivos mencionados anteriormente se ha disminuido las pérdidas del alimentador, como resultado tenemos que ningún tramo refleja elementos con sobrecarga

**Figura 20:** Reconfiguración del Alimentador 1.



**Fuente:** software CYMDIST.

## Ahorro de energía

Para determinar el ahorro de energía que se puede obtener con la implementación de las alternativas planteadas como el cambio de transformador y repotenciación de conductores, se determinan de la siguiente manera:

$$E_{\text{ahorro}} = E_{p\_inicial} - E_{p\_final} \quad (7)$$

Donde:

$E_{\text{ahorro}}$  = Energía ahorrada por la implementación de las alternativas [kW]

$E_{p\_inicial}$  = Pérdidas de energía antes de la implementación de alternativas [kW]

$E_{p\_final}$  = Pérdidas de energía después de la implementación de mejoras [kW]

Se establece que la energía al iniciar el análisis es de 21672 kWh al mes y la energía final obtenida después de la aplicación de las mejoras es de 19461,6 kWh. Para el cumplimiento de la ecuación (7) obtenemos que la energía ahorrada es:

$$E_{\text{ahorro}} = 21672[\text{kWh}] - 19461,6[\text{kWh}] \quad (7)$$

$$E_{\text{ahorro}} = 2210,4[\text{kWh}]$$

La energía ahorrada por la empresa es de 2210,4 kWh al mes, esta energía en dólares representa \$ 375,77 al mes y al año la empresa ahorraría \$ 4509,22.

## 14. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico del proyecto implica la evaluación de los costos y beneficios, los cuales permitan establecer los alcances que obtendrá Empresa Eléctrica Provincial Galápagos al ejecutar el proyecto. El análisis económico permitirá conocer indicadores los cuales determinarán si el proyecto cubre los costos de inversión.

### Análisis costo beneficio

Es una herramienta financiera que determina la relación entre costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión evaluando su rentabilidad.

La relación costo beneficio (C/B), se obtiene al dividir el valor de los ingresos totales o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto, la relación es la siguiente:

$$C/B = \frac{VAI}{VAC} \quad (8)$$

Donde:

$C/B$ = Relación costo beneficio

$VAI$ = Valor actual de inversión

$VAC$ = Valor actual de los costos

En el análisis costo beneficio de un proyecto o negocio, este es rentable siempre y cuando su relación es mayor que la unidad.

$C/B > 1$ = el proyecto es rentable

Una vez realizado el análisis del alimentador 1 y con los resultados arrojados, tomamos en cuenta el cambio de los equipos que presentan problemas. Mediante la cotización en diferentes distribuidores especializados de equipos eléctricos se pudo obtener un precio referencial de los transformadores y cable para ser reemplazados en el alimentador los cuales se detallan a continuación en la tabla 17.

**Tabla 17:** Precios de los equipos a ser reemplazados

<b>PRESUPUESTO</b>				
<b>MATENIMIENTO EQUIPOS ALIMENTADOR 1</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Transformador monofásico	25 kV	1	\$ 2.600,51	\$ 2.600,51
Cable aluminio ACSR 1/0	1/0	115 m	\$ 7,82	\$ 899,3
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 3.499,81</b>
<b>Mano de Obra (30%)</b>				<b>\$ 1.049,9</b>
<b>Gastos Administrativos (5%)</b>				<b>\$ 175</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 4.724,71</b>

**Fuente:** Postulantes.

El valor referencial que la empresa ELECGALAPAGOS S.A. debería tomar en cuenta para adjuntar a los proyectos PLARED que se presentan al finalizar cada año es de: \$ 4724,71 dólares americanos.

Aplicando la ecuación (8) para calcular el costo beneficio del presente proyecto tenemos:

$$C/B = \frac{VAI}{VAC} \quad (8)$$

$$C/B = \frac{4724,71}{4509,22} = 1,04$$

La relación es mayor a 1 cumpliendo de esta manera lo establecido anteriormente dando paso a la factibilidad del presente proyecto.

### **Ahorro en reducción de pérdidas**

Con el fin de determinar el beneficio económico que la empresa puede obtener por el presente trabajo, citamos los análisis económicos que son concisos y breves, estos serían:

- Calculo de la energía que se ahorra por la reducción pérdidas.
- Calculo de la energía ahorrada por medio de las alternativas planteadas.

### **Costo de pérdidas de energía**

Utilizamos el costo de las pérdidas de energía vienen dado por el producto entre el precio de la energía y pérdidas producidas en la red primaria, para determinar el valor se emplea el costo marginal de potencia de **5,7 \$USD** y para la energía utilizaremos el costo **0.17 \$USD** por kWh, su fórmula viene dada:

$$C_{p_{energía}} = k * P_{energía} \quad (9)$$

Dónde:

$C_{p_{energía}}$  = Costo de las pérdidas de energía [\$]

$k$  = Precio de la energía en la etapa de distribución [\$]

$P_{energía}$  = Pérdidas de energía en la red [kWh]

$$C_{p_{energía}} = \$ 0,17 * 21672[KWh] \quad (9)$$

$$C_{\text{energía}} = \$ 3684,24$$

La empresa ELECGALAPAGOS S.A. tiene un costo de pérdidas de energía de \$ 3684,24 por kWh. Tomando en cuenta el ahorro que existe entre las pérdidas totales en kilovatios horas, las cuales son 21672 kWh y proyectándolas para 12 meses tendríamos un total de 260064 kWh que en dólares representaría un total de \$ 44210,88 USD.

En la tabla 18 se presenta el valor total de las pérdidas de energía en la Subestación San Cristóbal con un valor de 188.291,34 kWh durante el año 2016, la energía recuperada mediante nuestro estudio es de 26.524,80 kWh que representa el 0,1% del total de pérdidas de energía de la Subestación, disminuyendo estas pérdidas a 161.766,54 kWh.

**Tabla 18:** Pérdidas de energía de la Subestación San Cristóbal

<b>Pérdidas de Energía totales año 2016 (kWh)</b>	<b>Energía recuperada en el estudio (kWh)</b>	<b>Pérdidas de Energía totales (kWh)</b>	<b>Pérdidas de Energía (%)</b>
188.291,34	26.524,80	161.766,54	0,1%

Fuente: Postulantes.

Se presenta en el **Anexo 4** el balance energético y el análisis de rendimiento de la Isla San Cristóbal en el año 2016. Cabe resaltar que el MEER notifica a la empresa mediante oficio la meta que debe alcanzar con respecto a lograr disminuir las pérdidas de energía en 8,5%,



## 15. CONCLUSIONES

- Los análisis que se realizan con la finalidad de disminuir los niveles de pérdidas técnicas en cada elemento de la red, nos permite plantear posibles soluciones como se ha demostrado en el estudio presentado.
- Al realizar el análisis del Alimentador 1 luego de ejecutar la corrida de flujos de potencia se encontró elementos sobrecargados, los cuales son tomados en cuenta para su repotenciación y reconfiguración para así poder mejorar la calidad del servicio eléctrico a los clientes conectados al alimentador en estudio.
- Al haber determinado elementos sobrecargados en la red se plantea alternativas que permitirán reducir las pérdidas en la red de distribución del Alimentador 1.
- Al verificar los tramos de los conductores con sobrecarga se logró determinar que estos conductores se encuentran en la red de bajo voltaje.
- Una vez realizado la verificación y depuración de las cargas conectadas a los transformadores de distribución que el software reportaba con sobrecarga, se propone el aumento de la capacidad solamente de un transformador de 15kVA a uno de 25kVA.
- Al realizar el nuevo balance de carga, el análisis de los transformadores y repotenciación de los conductores obtenemos una reducción favorable de las pérdidas de energía de 3,07 kW este valor representado en kilovatios hora son 2210,4 kWh.
- Al haber calculado el costo beneficio del presente proyecto se obtiene que el proyecto es factible.

## 16. RECOMENDACIONES

- La elaboración de un plan permanente para la reducción de pérdidas técnicas y no técnicas, tiene un beneficio económico muy importante, por lo que se recomienda a ELECGALAPAGOS S.A. su consideración como parte de los planes de mejora.
- Concientizar al personal de ELECGALAPAGOS S.A. sobre la importancia que conlleva la reducción de pérdidas, beneficiando la calidad del servicio eléctrico.
- Mediante el análisis para mejorar la calidad del servicio se recomienda a ELECGALAPAGOS S.A., incluir en el plan de mantenimiento anual el cambio de los transformadores sobrecargados.

- Se recomienda realizar un estudio a todos los alimentadores de la Subestación San Cristóbal que se encuentran con bajo factor de potencia ya que con esto se reducen las pérdidas y se mejora la calidad del servicio eléctrico en los parámetros de calidad del producto.
- Realizar una óptima distribución en la instalación de los transformadores de distribución efectuando un pre estudio del factor de uso de los transformadores a ser instalados.

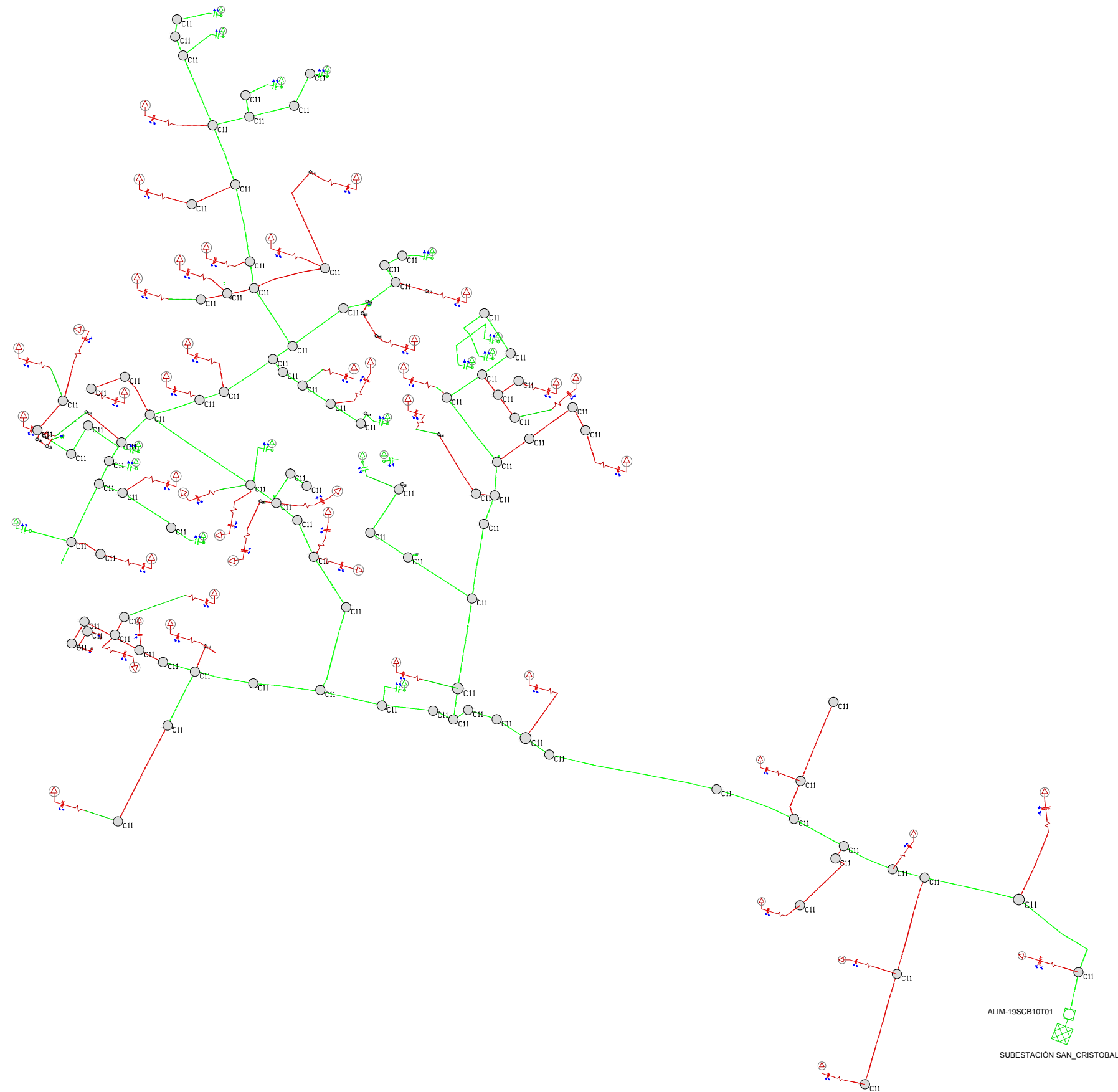
## 17. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arconel. (2014). *REGULACIÓN 004/01 CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO*. Obtenido de [www.regulacionelectrica.gob.ec](http://www.regulacionelectrica.gob.ec)
- Chilet, L. C. (2000). *FLUJOS DE POTENCIA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN*. Universidad Continental-Huancayo.
- Correa, O. (2010). *ESTUDIO DE RECONFIGURACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN MACHALA*. Universidad Politécnica Salesiana - Cuenca.
- Haro, D. P. (2015). *MEJORA DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EEQ*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Quito.
- López, M. & Núñez, G. (2017). *DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS, A NIVEL PRIMARIO EN EL ALIMENTADOR GUARANDA- CHIMBO DE LA SUBESTACIÓN GUARANDA PERTENECIENTE A LA CNEL- BOLÍVAR, PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SERVICIO*. Universidad Técnica de Cotopaxi, Carrera de Ingeniería Eléctrica, Latacunga.
- Martin, M. (1991). *PÉRDIDAS DE ENERGÍA*, Comisión de Integración Eléctrica Regional Cier. Quito, Ecuador.
- Olade, C. Segunda edición Vol. I y II (1993). *MANUAL LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE PARA EL CONTROL DE PERDIDAS ELÉCTRICAS*. Montevideo, Uruguay.

- Ramírez, C. S. (2010). *REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA, CONCEPTOS Y NORMAS*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Riofrio, C. (2004). *DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA*, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Quito.
- Rosero, R. (1994). *EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN, APLICACIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Quito.
- Zamora B. & Calderón J. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

## **18. ANEXOS**

# ANEXOS



Simbología	
	Subestación
	Cabezera del Alimentador 1
	Transformador 1φ
	Carga 1φ
	Fusible
	Transformador 3φ
	Red Eléctrica Alimentador 1
	Red Monofásica
	Poste de hormigón 11 m
	Carga 3 φ

Postulantes :  
 Changotasig Jose  
 Estrella Juan

**RED ELÉCTRICA ALIMENTADOR 1**

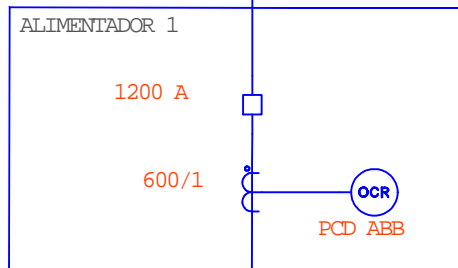
ANEXO 1

ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELEGALAPAGOS S.A PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES

Escala:  
 1:04

# Diagrama Unifilar Alimentador 1 Subestacion San Cristóbal

BusMAIN  
13,2 kV



Alim1\_13,8kV 1  
3 km

60 A

60 A

13,2 kV  
Alim 1

Alim 1\_13,8kV 2  
2,38 km

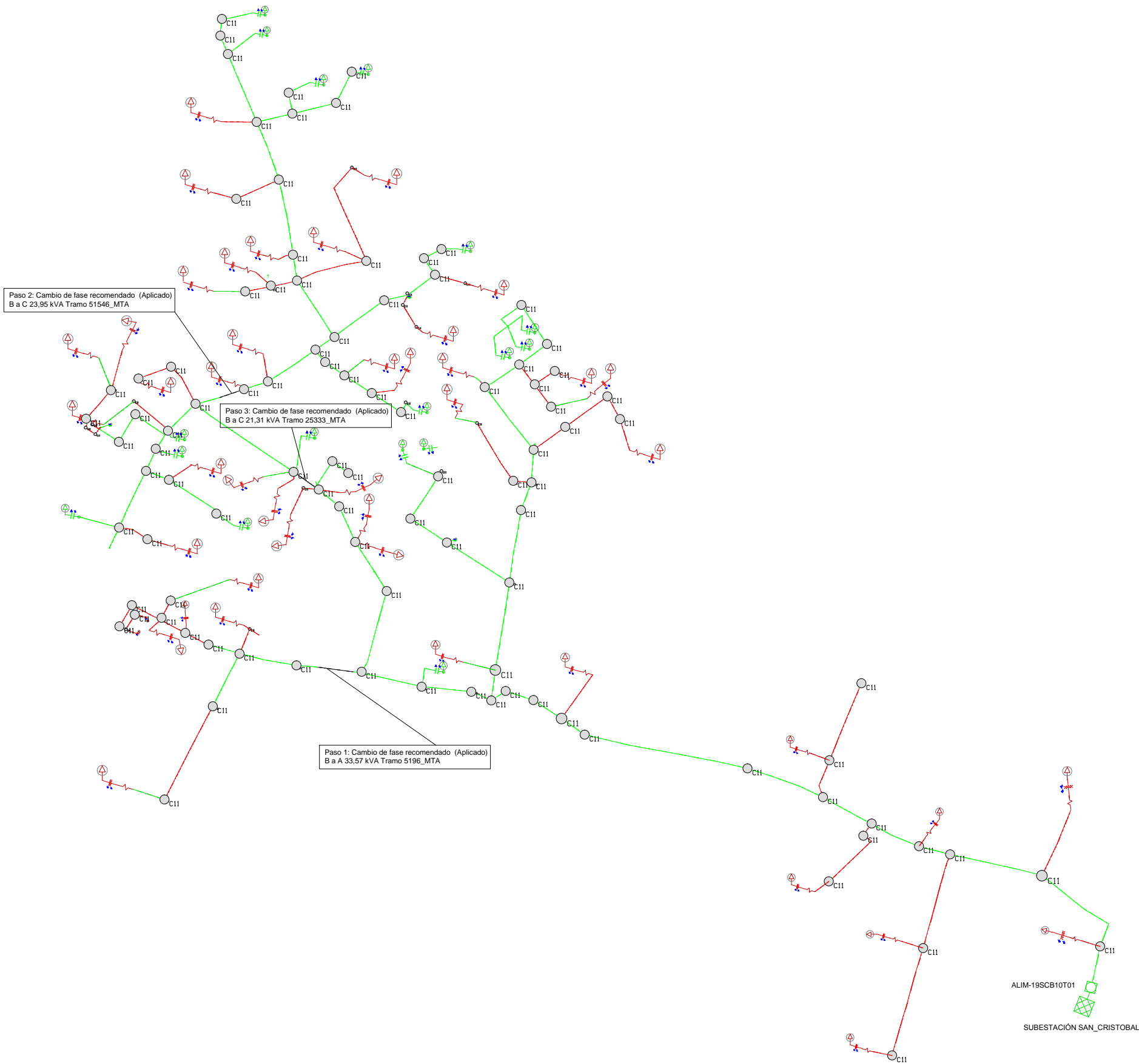
C Alim1/1  
700 kVA

13,2 kV  
Alim1 cola

C Alim1/2  
580 kVA

SIMBOLOGÍA	
	FUSIBLE 60A
	Reactancia de la línea
	Relé multifunción PCB
	Carga Concentrada

Postulantes Changotasig Jose Estrella Juan	UNIFILAR ALIMENTADOR 1
ANEXO 2	ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELEGALAPAGOS S.A PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES
Escala: S/N	



Simbología	
	Subestación
	Cabezera del Alimentador 1
	Transformador 1φ
	Carga 1φ
	Fusible
	Transformador 3φ
	Red Eléctrica Alimtaor 1
	Red Monofásica
	Poste de hormigón 11 m
	Carga 3 φ

Postulantes :  
 Changotasig Jose  
 Estrella Juan

ANEXO 3

Escala:  
 1:04

**BALANCE DE CARGA**

ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN EL ALIMENTADOR 1 DE LA SUBESTACIÓN SAN CRISTÓBAL EN EL ÁREA DE CONCESIÓN ELECGALAPAGOS S.A PARA DETERMINAR PÉRDIDAS TÉCNICAS EN LAS CONEXIONES ACTUALES

**Anexo 4: Balance Energético y análisis de rendimiento de la Subestación San Cristóbal año 2016**

**BALANCE ENERGÉTICO Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO -2016-**

SCY													
PARÁMETROS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIE MBRE	OCTUBRE	NOVIEMBR E	DICIEMBR E	TOTAL
Energía Bruta (kWh)	1.406.398	1.185.305	1.507.300	1.419.559	1.346.756	1.166.425	1.119.013	1.088.239	1.036.200	1.066.388	1.076.848	1.229.589	14.648.020
Energía Térmica - Diesel (kWh)	<b>1.261.007</b>	<b>1.155.560</b>	<b>1.476.498</b>	<b>1.313.439</b>	<b>1.244.249</b>	<b>969.143</b>	<b>879.288</b>	<b>875.773</b>	<b>994.684</b>	<b>989.514</b>	<b>1.057.856</b>	<b>1.228.158</b>	<b>13.445.169</b>
Aporte de Térmica - Diesel ( % )	90%	97%	98%	93%	92%	83%	79%	80%	96%	93%	98%	100%	-
Energía Eólica (kWh)	<b>143.915</b>	<b>28.444</b>	<b>29.534</b>	<b>104.720</b>	<b>101.251</b>	<b>196.028</b>	<b>238.992</b>	<b>211.261</b>	<b>40.043</b>	<b>75.542</b>	<b>17.664</b>	<b>0</b>	<b>1.187.394</b>
Aporte Eólico ( % )	10%	2%	2%	7%	8%	17%	21%	19%	4%	7%	2%	0%	-
Energía Solar Fotovoltaica (kWh)	<b>1.476</b>	<b>1.301</b>	<b>1.268</b>	<b>1.400</b>	<b>1.256</b>	<b>1.254</b>	<b>733</b>	<b>1.205</b>	<b>1.473</b>	<b>1.332</b>	<b>1.328</b>	<b>1.431</b>	<b>15.457</b>
Aporte de Solar Fotovoltaica ( % )	0,10%	0,11%	0,08%	0,10%	0,09%	0,11%	0,07%	0,11%	0,14%	0,12%	0,12%	0,12%	-
Autoconsumo de equipos auxiliares (kWh)	<b>6.658</b>	<b>6.265</b>	<b>8.037</b>	<b>7.868</b>	<b>7.237</b>	<b>12.838</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>48.903</b>
Energía Neta (kWh)	1.399.740	1.179.040	1.499.263	1.411.691	1.339.519	1.153.587	1.119.013	1.088.239	1.036.200	1.066.388	1.076.848	1.229.589	14.599.117
Energía Disponible (kWh)	1.324.154	1.304.549	1.410.807	1.343.930	1.277.901	1.130.526	1.108.854	1.087.182	1.034.691	1.063.188	1.072.541	1.209.516	14.367.839
Energía Alimentador 1 (kWh)	<b>577.748</b>	<b>569.194</b>	<b>615.556</b>	<b>596.270</b>	<b>566.948</b>	<b>535.344</b>	<b>528.716</b>	<b>522.088</b>	<b>506.841</b>	<b>510.565</b>	<b>525.382</b>	<b>583.599</b>	<b>6.638.250</b>
Energía Alimentador 2 (kWh)	<b>565.586</b>	<b>557.212</b>	<b>602.598</b>	<b>576.922</b>	<b>538.681</b>	<b>499.286</b>	<b>485.039</b>	<b>470.791</b>	<b>435.822</b>	<b>460.401</b>	<b>451.764</b>	<b>525.682</b>	<b>6.169.784</b>
Energía Alimentador 3 (kWh)	<b>180.820</b>	<b>178.143</b>	<b>192.653</b>	<b>170.738</b>	<b>172.272</b>	<b>95.896</b>	<b>95.100</b>	<b>94.303</b>	<b>92.028</b>	<b>92.222</b>	<b>95.395</b>	<b>100.234</b>	<b>1.559.804</b>
Pérdidas de Energía en S/E (kWh)	75.586	-125.509	88.457	67.761	61.618	23.061	10.159	1.057	1.509	3.199	4.307	20.073	231.278
Pérdidas de Energía en S/E ( % )	5,40%	-10,65%	5,90%	4,80%	4,60%	2,00%	0,91%	0,10%	0,15%	0,30%	0,40%	1,63%	-
Energía Facturada (kWh)	<b>1.243.598</b>	<b>1.346.649</b>	<b>1.397.883</b>	<b>1.426.534</b>	<b>1.292.661</b>	<b>1.233.526</b>	<b>1.184.141</b>	<b>1.088.970</b>	<b>998.436</b>	<b>1.041.089</b>	<b>1.020.477</b>	<b>1.136.862</b>	<b>14.410.826</b>
Energía Refacturada (kWh)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Pérdidas de Energía en Distribución (kWh)	80.556	-42.100	12.924	-82.604	-14.760	-103.000	-75.287	-1.788	36.255	22.099	52.064	72.654	-42.987
Pérdidas de Energía en Distribución ( % )	5,76%	-3,57%	0,86%	-5,85%	-1,10%	-8,93%	-6,73%	-0,16%	3,50%	2,07%	4,83%	5,91%	-
Pérdidas de Energía (kWh)	156.142	-167.609	101.380	-14.843	46.858	-79.939	-65.128	-731	37.764	25.299	56.371	92.727	188.291
<b>Pérdidas de Energía ( % )</b>	<b>11,16%</b>	<b>-14,22%</b>	<b>6,76%</b>	<b>-1,05%</b>	<b>3,50%</b>	<b>-6,93%</b>	<b>-5,82%</b>	<b>-0,07%</b>	<b>3,64%</b>	<b>2,37%</b>	<b>5,23%</b>	<b>7,54%</b>	
Potencia Máxima (kW)	<b>3.371</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.371</b>
Consumo Diesel (Galones)	<b>100.157</b>	<b>92.286</b>	<b>116.639</b>	<b>106.256</b>	<b>103.111</b>	<b>83.612</b>	<b>72.325</b>	<b>71.071</b>	<b>79.347</b>	<b>81.382</b>	<b>82.951</b>	<b>90.271</b>	<b>1.079.408</b>
Rendimiento (kWh/Gal.)	12,59	12,52	12,66	12,36	12,07	11,59	12,16	12,32	12,54	12,16	12,75	13,61	-
Clientes	<b>3.169</b>	<b>3.177</b>	<b>3.183</b>	<b>3.203</b>	<b>3.231</b>	<b>3.228</b>	<b>3.255</b>	<b>3.263</b>	<b>3.273</b>	<b>3.280</b>	<b>3.293</b>	<b>3.292</b>	-