



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA DE ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
INSTALACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CON
ALIMENTACIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES EN SUBESTACIONES
DE SECCIONAMIENTO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Electricidad
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Autor

Luis Francisco Bustamante Sarabia

Tutor

PhD. Suárez Vinuesa Rommel Eusebio

LATACUNGA – ECUADOR

2022

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento” presentado por **Bustamante Sarabia Luis Francisco** para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, noviembre, 2022

.....
PhD. Suárez Vinuesa Rommel Eusebio

CC. 1804165353

AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Educación Inicial; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, noviembre, 2022



.....
MSc. Salazar Achig Edgar Roberto
0502847619
Presidente del tribunal



.....
MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco
0503072902
Lector 2



.....
MSc. Proaño Maldonado Xavier Alfonso
0502656424
Lector 3

DEDICATORIA

El desarrollo de este trabajo está dedicado
al esfuerzo que hace cada miembro de mi familia
para brindarme apoyo mientras lucho
por cumplir mis metas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a cada una de las personas
que forman parte de mi camino y formación,
ya que las experiencias se engrandecen
con el compartir de sus conocimientos

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre, 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several large, overlapping loops and a horizontal line at the bottom. The signature is positioned above a dotted line.

Bustamante Sarabia Luis Francisco

0502889413

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several large, overlapping loops and a horizontal line at the bottom. The signature is positioned above a dotted line.

.....

Bustamante Sarabia Luis Francisco

0502889413

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre, 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Roberto Salazar', written over a horizontal dotted line.

MSc. Salazar Achig Edgar Roberto

0502847619

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento.

Autor: Bustamante Sarabia Luis Francisco

Tutor: PhD. Suárez Vinuesa Rommel Eusebio

RESUMEN

En la presente investigación se realizó una comparación entre los costos económicos y los requerimientos técnicos para alimentar los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento; el caso de estudio ha sido aplicado a la subestación de seccionamiento La Concordia, de tal manera que la investigación de campo, permitió obtener información real para constatar la implementación de nuevas tecnologías. Los sistemas que han sido analizados parten de un alimentador de media tensión conectado a la red de 13.8 kV de la empresa de distribución CNEL, que posteriormente está conectada a un transformador tipo PadMounted trifásico de 225 kVA para alimentar los servicios auxiliares de la S/E de seccionamiento La Concordia, en comparación con la implementación de un transformador de tensión con devanado de alimentación para servicios auxiliares, cuya función específica es, mantener dos devanados para medición y protección, que es el trabajo inherente de un TP; pero además adiciona un devanado que permite tomar voltaje de baja tensión directo de la línea de alta tensión, con el objetivo de alimentar cargas puntuales, en este caso, aplicado a los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento. El análisis dio como resultado que, para una proyección de diseño de 10 años, es viable técnica y económicamente la instalación de equipos SSVT frente al sistema convencional de un alimentador de media tensión, resaltando que la confiabilidad y continuidad del suministro de energía para servicios auxiliares mejora en relación al histórico de fallos registrado en la subestación de seccionamiento que se tiene como caso de estudio.

Palabras clave: Servicios auxiliares, transformadores de instrumentación, SSVT, seccionamiento, subestación

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
DIRECCION DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCION SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Title: “Technical and economic feasibility analysis for installing potential transformers with power supply for auxiliary services in sectioning substations.”

Autor: Bustamante Sarabia Luis Francisco
Tutor: PhD. Suárez Vinueza Rommel Eusebio

ABSTRACT

A comparison was made between the economic costs and the technical requirements to feed the auxiliary services of a sectioning substation; the case study has been applied to the La Concordia sectioning substation in such a way that the field investigation allowed obtaining accurate information to verify the implementation of new technologies. The systems that have been analyzed start from a medium voltage feeder connected to the 13.8 kV network of the CNEL distribution company, which is later connected to a 225 kVA three-phase PadMounted transformer to feed the auxiliary services of the sectioning La Concordia S/E; in comparison with the implementation of a voltage transformer with power winding for additional services, whose specific function is to maintain two windings for measurement and protection, which is the inherent work of a PT; yet it also adds a winding that allows direct low-voltage voltage to be taken from the high-voltage line, to feed specific loads, in this case, applied to the auxiliary services of a sectioning substation. The analysis showed, for a design projection of 10 years, the installation of SSVT equipment is technically and economically viable compared to the conventional system of a medium voltage feeder, highlighting that the reliability and continuity of the energy supply for auxiliary services improvement about the history of failures recorded in the sectioning substation that is taken as a case study.

KEYWORD: Auxiliary services, instrumentation transformers, SSVT, sectioning, substation.

Yo, Wilmer Patricio Collaguazo Vega con cédula de identidad número: 1722417571 Magister en: Pedagogía del Inglés como Lengua Extranjera, con número de registro de la SENESCYT: 1027-2021-2388034 ; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: “Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento.”; de Bustamante Sarabia Luis Francisco, aspirante a Magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Latacunga, noviembre, 10, 2022


.....
Wilmer Patricio Collaguazo Vega
DÓCENTE CENTRO DE IDIOMAS UTC
CC: 1722417571



**CENTRO
DE IDIOMAS**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AVAL DEL TUTOR	2
AVAL DEL TRIBUNAL	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	6
RENUNCIA DE DERECHOS	7
AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
ÍNDICE DE CONTENIDOS	11
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes:.....	18
Planteamiento del problema:	19
Formulación del problema:.....	20
Objetivo General:	20
Objetivos específicos:.....	20
Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:	21
Justificación:.....	23
Hipótesis:.....	24
CAPITULO I	25
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA METODOLÓGICA	25
1.1 Antecedentes de la investigación.....	25
1.2 Fundamentación teórica.....	26
1.2.1 Subestación eléctrica.....	26
1.2.2 Tipos de subestaciones eléctricas.....	27
1.2.3 Servicios auxiliares de una subestación:.....	28
1.2.4 Transformadores de tensión.....	29
1.2.5 Clasificación de los transformadores de tensión.....	30
1.2.6 Transformadores de corriente	31
1.2.7 Transformadores De Tensión Para Servicios Auxiliares	32
1.2.8 Protecciones eléctricas del TP con devanado para servicios auxiliares.....	33
1.2.9 Configuración de las protecciones eléctricas	35

1.2.10	Relé de protección súbita.....	36
1.2.11	Caso de estudio Subestación de seccionamiento La Concordia	37
1.2.12	Transformador de potencial de la S/E La Concordia.....	38
1.2.13	Servicios auxiliares de la S/E de seccionamiento La Concordia	39
1.2.14	Transformador trifásico para alimentar servicios auxiliares en la S/E de seccionamiento La Concordia	40
1.2.15	Estudio existente de carga y demanda para servicios auxiliares de S/E La Concordia	41
1.2.16	Histórico de fallas del alimentador primario	41
1.2.17	Histórico de fallas de la línea de alta tensión.....	42
1.2.18	Índices de calidad.....	43
1.3	Fundamentación metodológica:.....	43
1.3.1	Tipo de investigación.....	43
1.3.2	Método de investigación.....	44
1.4	Conclusiones Capítulo I	46
CAPÍTULO II.....		47
PROPUESTA		47
2.1	Título del proyecto.	47
2.2	Objetivo del proyecto.	47
2.3	Descripción de la propuesta.....	47
2.4	Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados	48
2.5	Situación actual de los servicios auxiliares de la S/E de seccionamiento	48
2.6	Propuesta de alimentación de servicios auxiliares	49
2.7	SSVT recomendado para el caso de estudio.....	50
2.7.1	Criterios de selección de SSVT para caso de estudio	50
2.8	Conexión del SSVT para alimentación de servicios auxiliares.....	51
2.9	Criterios para el reemplazo de un alimentador primario de media tensión por un SSVT.....	52

2.9.1	Índices de calidad de la energía	52
2.9.2	Histórico de fallas en alimentador primario y línea de alta tensión.....	53
2.10	Protecciones eléctricas de un SSVT	53
2.11	Conclusiones Capítulo II	54
CAPÍTULO III		55
APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA		55
1.1	Introducción al análisis económico	55
1.2	Costo de implementación de alimentador de media tensión	55
1.3	Costo de planilla eléctrica que se cancela a empresa distribuidora.....	55
1.4	Costo de implementación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento	56
1.5	Costo de energía en transmisión.....	56
1.6	Costo de encendido de grupo electrógeno.....	57
1.7	Comparación de costos entre alimentador de media tensión e implementación de SSVT.58	
1.8	Conclusiones de capítulo III.....	59
CONCLUSIONES GENERALES		60
RECOMENDACIONES GENERALES		61
BIBLIOGRAFÍA		62
ANEXOS		64
A.	BITÁCORA DE FALLAS DEL ALIMENTADOR PRIMARIO.....	64
B.	DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES AC/DC.....	65
C.	PROFORMA DEL TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CON DEVANADO PARA SERVICIOS AUXILIARES	66
D.	PLANILLA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL ALIMENTADOR PRIMARIO ACTUAL	67
E.	DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN DE SECCIONAMIENTO LA CONCORDIA	68
F.	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TIPO PAD MOUNTED, S/E LA CONCORDIA	69
G.	ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA PARA SERVICIOS AUXILIARES... 70	

H. DERIVACIÓN TRIFÁSICA EN MV A 13.8 KV E INSTALACIÓN DE TRANSFORMADOR PAD MOUNTED DE 225 KVA, PARA SUBESTACIÓN LA CONCORDIA. 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de subestaciones [8]	27
Tabla 2 Tipos de transformadores de tensión para servicios auxiliares marca Artech [1]	33
Tabla 3 Características técnicas de transformador de potencial capacitivo existente [14]	38
Tabla 4 Régimen de trabajo de los equipos de las subestaciones año 2020 – S/E La Concordia	41
Tabla 5 Reporte de fallas en la línea de alta tensión	42
Tabla 6 Índices de calidad CNEL EP, a finales del 2021	43
Tabla 7 Límites admisibles de índices de calidad	43
Tabla 8 Características técnicas del transformador en análisis [9].....	50
Tabla 9 Comparación de los límites admisibles de índices de calidad.....	52
Tabla 10 Histórico de consumo de energía eléctrica y costo de planilla.....	55
Tabla 11 Costo del SSVT modelo UTP-145, marca Artech.....	56
Tabla 12 Comparación de costos para sistemas de suministro de energía eléctrica.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Transformador de potencial [9].....	29
Figura 2 Transformador de corriente [11]	31
Figura 3 Transformador de tensión con devanado para SS.AA. [1].....	32
Figura 4 Blindaje de protección [8].....	34
Figura 5 Protección típica de un SSVT [8].....	35
Figura 6 Ubicación geográfica de la S/E La Concordia [14]	37
Figura 7 Equipo primario S/E La Concordia [14]	38
Figura 8 Diagrama unifilar del DCP de S/E La Concordia	39
Figura 9 Suministro eléctrico para servicios auxiliares en S/E La Concordia [14].....	40
Figura 10 Estructura metodológica del proceso	45
Figura 11 Alimentación de servicios auxiliares, (a) alimentador de empresa de distribución, (b) Grupo electrógeno, (c) Transformador de tensión con devanado de servicios auxiliares	49
Figura 12 Sistema de un SSVT Clase 245 kV, salida trifásica 220 V, 50 kVA [8]	51
Figura 13 Consumo de servicios auxiliares [14]	56
Figura 14 SSVT conectado a la línea de alta tensión	57

INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares, enfocado a la aplicación en subestaciones de seccionamiento.

Una subestación de seccionamiento forma parte del sistema de transmisión de energía eléctrica, de tal forma que permite realizar reajuste de flujos de voltaje, cuando se presentan las necesidades de conectar o desconectar carga; una de las características relevantes de este tipo de subestaciones, es que no cuenta con un transformador de potencia, razón por la cual el nivel de voltaje de salida, es igual al nivel de voltaje de entrada.

Es así que, una subestación de seccionamiento o maniobra, es la etapa en donde se conectan varios circuitos para posteriormente realizar la conexión o el corte selectivo de las líneas de una red o puntos de entrega, por medio de interruptores seccionadores.

A los equipos de medición, control y operación de una subestación eléctrica se los enmarca dentro de los servicios auxiliares, dichos servicios funcionan con energía eléctrica de baja tensión en corriente directa.

El hecho de que una subestación de seccionamiento no cuente con un transformador de potencia en su infraestructura principal, y la necesidad de suministro de energía eléctrica para el funcionamiento de los servicios auxiliares, generan el requerimiento de contar con un alimentador dedicado, provisto por la empresa eléctrica de distribución más cercana a la subestación.

Los equipos de medición de una subestación están conformados por transformadores de potencial (TP) y transformadores de corriente (TC), los cuales cumplen la función de transformar niveles de alto voltaje a bajo voltaje para poder monitorear los parámetros de comportamiento del sistema eléctrico.

Actualmente, gracias a los avances en la industria eléctrica, un (TP) puede proveer energía eléctrica de baja tensión a partir de la línea de alta tensión, específicamente para servicios auxiliares, los cuales son requeridos en una subestación eléctrica.

Antecedentes:

El proyecto en desarrollo se enmarca dentro de los lineamientos asociados a las líneas de investigación de **Eficiencia Energética**, sub línea **Control y Optimización en el uso de la Energía del Sector Industrial, Comercial y Residencial**; a la vez, estas líneas de investigación se relacionan con la propuesta de realizar el Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento, promoviendo la optimización en la transmisión de energía eléctrica.

En el año 2013 el congreso mundial de energía (WEC) premio el proyecto que se generó entre el gobierno de Chihuahua, México, y la Comisión Federal De Electricidad; por el plan piloto que desarrollo la empresa Artech para extender el servicio eléctrico a las poblaciones del área rural, que se encuentran a una distancia considerable de los centros de distribución de energía eléctrica, pero dentro de los tramos por donde pasan las líneas de transmisión de alta tensión y así, reducir así la marginación de estos sectores, mediante la instalación de transformadores de potencial con devanado para suministro de baja tensión [1]

En el año 2016, la revista Ingeniería publica un estudio titulado “Análisis de Confiabilidad en Subestaciones Eléctricas Tipo Maniobra Implementando el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia”; emitiendo una conclusión en donde indican que es factible la implementación de un Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia en subestaciones de seccionamiento, ya que convierte a la subestación en auto dependiente, pues la alimentación de los SSAA, es directamente tomada de la barra de la misma, simplificando el circuito de alimentación de los mismos sin generar contaminación, como sí lo haría implementar un grupo electrógeno [2]

En el trabajo titulado “Comparación Técnico Económica Para Electrificación Rural Entre La Utilización De Transformador De Tensión De 230/13,8 Kv Para Servicios Auxiliares Y Diseño De Línea De Distribución En Aldea Trapichitos, Sacapulas, Quiché”; concluye que, es factible la construcción de una micro subestación con un transformador de voltaje de potencia es una opción para alimentar cargas en el orden de los kilovatios que se encuentran lejos de la red de distribución, pero cerca de una línea de transmisión [3]

Planteamiento del problema:

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección [4]

Las subestaciones eléctricas se dividen de acuerdo al nivel de tensión que se dispone a la entrada y la salida de los patios, es decir, existen subestaciones de elevación de voltaje, de reducción de voltaje y de maniobra o seccionamiento de voltaje.

En las subestaciones de maniobra no se tienen transformadores de potencia, ya que no se requiere modificar el nivel de voltaje de las fuentes de alimentación y solo se hacen operaciones de conexión y desconexión (maniobra o switcheo) [3]

De acuerdo a la definición de una subestación de seccionamiento, y su característica principal de no disponer en su patio un transformador de potencia, induce a que la energía eléctrica de baja tensión necesaria para los servicios auxiliares y generales dependa de proveedores externos; es decir, el suministro eléctrico se provee desde un alimentador que pertenece a la empresa eléctrica de distribución más cercana.

El planteamiento del problema para este proyecto, se basa en el estudio de la factibilidad técnica y económica para la instalación de un transformador de potencial con devanado para obtener energía eléctrica de baja tensión, orientado al suministro de electricidad para servicios auxiliares y generales, pertenecientes a la subestación de seccionamiento. El montaje de este equipo elimina la dependencia de la S/E a un alimentador externo provisto por la distribuidora eléctrica más cercana, lo cual demanda costos económicos desde la generación e implementación del proyecto, y posteriormente el pago mensual por el consumo energético. Además, al tener una falla en el alimentador dedicado, la S/E queda dependiente del grupo electrógeno, el cual tiene costos de operación y de mantenimiento.

Formulación del problema:

El análisis técnico y económico para la instalación de transformadores de potencial con devanado para alimentación de servicios auxiliares, ¿permitirá emitir una recomendación para su implementación en subestaciones de seccionamiento?

Objetivo General:

Analizar la factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento, caso de estudio subestación La Concordia.

Objetivos específicos:

Revisar el estado del arte referente a las características técnicas de los transformadores de potencial con devanado para alimentación de servicios auxiliares orientado a su instalación en subestaciones de seccionamiento.

Comparar los requerimientos técnicos para el suministro eléctrico de servicios auxiliares en la subestación de seccionamiento La Concordia mediante la proyección de la instalación de transformadores de potencial con devanado de baja tensión.

Realizar un análisis económico de las propuestas para la alimentación eléctrica de los servicios auxiliares en la subestación de seccionamiento La Concordia.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:

Objetivos Específicos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad
<p>Revisar el estado del arte referente a las características técnicas de los transformadores de potencial con devanado para alimentación de servicios auxiliares orientado a su instalación en subestaciones de seccionamiento</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigación de información técnica y teórica referente a subestaciones. 2. Revisión de sistemas actuales para alimentación de servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento, caso de estudio S/E La Concordia. 3. Indagación de datos técnicos sobre TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Generalidades técnicas de las subestaciones de seccionamiento. 2. Compresión del funcionamiento actual de la alimentación para servicios auxiliares de subestaciones de seccionamiento. 3. Entendimiento de las características técnicas, constructivas y de funcionamiento de TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se investiga las características técnicas de una subestación de seccionamiento. 2. Se analiza cómo están alimentados los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento. 3. Se obtiene información técnica de un TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares.
<p>Comparar los requerimientos técnicos para el suministro eléctrico de servicios auxiliares en la subestación de seccionamiento La Concordia mediante la proyección de la instalación de transformadores de potencial con devanado de baja tensión</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtención de información sobre estado y funcionamiento actual de los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento, caso de estudio La Concordia. 2. Caracterización de la propuesta de instalación de TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocimiento del estado actual de los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento que se ha tomado como caso de estudio. 2. Información de los requerimientos técnicos mínimos para poder implementar un TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se obtiene información del suministro eléctrico actual con el cual están funcionando los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento, caso de estudio La Concordia. 2. Se analiza los requerimientos que demanda los servicios auxiliares, para seleccionar el TP adecuado.

<p>Realizar un análisis económico de las propuestas para la alimentación eléctrica de los servicios auxiliares en la subestación de seccionamiento La Concordia</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis del costo de implementación de un alimentador de media tensión para suministro de servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento. 2. Análisis del costo de implementación de TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares. 3. Comparación de costos y beneficios entre sistemas de alimentación convencionales y SSVT para servicios auxiliares aplicado a subestaciones de seccionamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinación de los costos de implementación y operación de un alimentador de media tensión para suministro energético de servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento. 2. Análisis del costo de implementación de un SSVT para la alimentación de energía a servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento. 3. Comparación de los costos de implementación y operación entre un alimentador de media tensión y un SSVT, aplicado al caso de estudio de subestaciones de seccionamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se determinan los costos de implementación de un alimentador de media tensión, así como sus gastos de operación para suministrar energía a los servicios auxiliares de subestaciones de seccionamiento. 2. Se obtienen los costos de implementación de un SSVT para alimentar los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento. 3. Se comparan los costos de implementación de los sistemas de alimentación de energía eléctrica para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento, para establecer el beneficio económico.
---	---	--	--

Justificación:

Debido a emergentes necesidades técnicas de manipulación de cargas dentro del sistema eléctrico de potencia, existen las subestaciones de maniobra o seccionamiento, las cuales trabajan dentro del marco referencial de una subestación eléctrica, realizando control, monitoreo y protección; pero con la diferencia de que no poseen un transformador de potencia en sus instalaciones, por lo cual, para alimentar los servicios auxiliares es necesario disponer de una acometida provista por la empresa eléctrica de distribución más cercana, lo cual incurre en dependencia del servicio, así como gastos de instalación y mantenimiento.

En este análisis, se ha planteado justificar la factibilidad técnica y económica de adquirir e instalar un transformador de potencial con alimentación de servicios auxiliares, de tal forma que se pueda obtener energía eléctrica de baja tensión directamente de la línea de alta tensión, con el fin de suministrar electricidad a los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento.

Se denomina servicios auxiliares a los procesos que incluyen en su funcionamiento equipos de control, medición, protección y supervisión. Siendo estos imprescindibles en el análisis y registro del comportamiento de la energía eléctrica de alta tensión.

La importancia de la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares, se ve reflejado con mayor fuerza en la independencia que tendría el sistema de la subestación de maniobra de la empresa eléctrica de distribución. Este tema es relevante en la configuración de las instalaciones y la infraestructura de una subestación de seccionamiento, ya que actualmente es necesario realizar la contratación de servicios externos de construcción para la implementación de alimentadores dedicados de energía eléctrica para servicios auxiliares, o, por otro lado, la gestión y operación de un grupo electrógeno.

Un beneficio potencial que se derivaría de este proyecto en futuras instalaciones el impacto sería la reducción de trabajos de obra civil, mantenimiento y adquisición de recursos combustibles, incluyendo el mejoramiento de los índices de confiabilidad que se lograría en el proceso de obtener energía eléctrica de baja tensión, a partir de la línea de alta tensión, aprovechando el transformador de potencial.

Hipótesis:

La instalación de un TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares en reemplazo de un alimentador convencional de media tensión ¿es viable para subestaciones de seccionamiento?

CAPITULO I.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA METODOLÓGICA

1.1 Antecedentes de la investigación

En una subestación, los aparatos de medida y los relés de protección no pueden soportar, por lo general, ni elevadas tensiones ni elevadas corrientes, ya que de lo contrario se encarecería de sobremanera su construcción. Por otra parte, es conveniente evitar la presencia de elevadas tensiones en aquellos dispositivos que van a estar al alcance de las personas. Son éstas las principales razones para la utilización de los transformadores de medida y protección, a través de los cuales se pueden llevar señales de tensión y corriente, de un valor proporcional muy inferior al valor nominal, a los dispositivos de medida y protección. Se consigue además una separación galvánica, (entre las magnitudes de alta y baja tensión), de los elementos pertenecientes a los cuadros de mando, medida y protección con las consiguientes ventajas en cuanto a seguridad de las personas y del equipamiento.

Como las mediciones y el accionamiento de las protecciones se hallan referidas, en última instancia, a la apreciación de tensión y corriente, se dispone de dos tipos fundamentales de transformadores de medida y protección: [5]

- Transformadores de tensión
- Transformadores de corriente

En una investigación desarrollada por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se establece como conclusión que, según el estudio de confiabilidad realizado, el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia cumple con las exigencias de diseño, mantenimiento y durabilidad con respecto a los sistemas de alimentación de Servicios Auxiliares actuales en la Subestación. Se establece que implementando el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia la probabilidad de pérdida de carga es menor en comparación a los demás escenarios, por lo tanto, la alimentación de Servicios Auxiliares sería más confiable [6]

1.2 Fundamentación teórica

El Sistema Nacional Interconectado está constituido por las áreas de generación, transmisión y distribución; a la vez que este sistema tiene la función de suministrar energía eléctrica a los usuarios del Ecuador, ofreciendo calidad, confiabilidad y continuidad de servicio; enfocado al aporte del desarrollo productivo del país.

Estos procesos están distribuidos estratégicamente, de tal manera que existen entidades a nivel nacional que se encargan de administrar la generación y el consumo de energía, los cuales son ARCONEL, CENACE, TRANSELECTRIC Y CELEC.

A través de los proyectos de desarrollo para mejorar la matriz energética del país, las administraciones gubernamentales han logrado que la mayor fuente de generación sea la hidroeléctrica, por otro lado, el sistema de transmisión de energía eléctrica ha mejorado la infraestructura a través de la implementación de la línea de 500 kV.

1.2.1 Subestación eléctrica

La distribución de energía eléctrica se ha enfocado en optimizar recursos y priorizar zonas desde donde se pueda mejorar el alcance del suministro de energía eléctrica, siendo una subestación parte primordial dentro de los procesos de generación, transmisión y distribución; de tal forma que, a esta se define como:

“Es un conjunto de equipos de conexión, protección, conductores, barras, transformadores y demás equipos auxiliares, cuyas funciones son las de transmitir, distribuir y transformar con la finalidad de reducir el voltaje para la utilización en la distribución primaria o para interconexión de subestaciones a un nivel más bajo de voltaje” [7].

Las subestaciones eléctricas son esenciales dentro del SEP ya que son instalaciones con un conjunto de dispositivos y circuitos que tienen la finalidad de modificar las variables de tensión, corriente y de dar un medio de interconexión y despacho entre las líneas del sistema. Al ser las subestaciones tan importantes se debe analizar la confiabilidad que se tiene al brindar el servicio así con la importancia en el sistema, de aquí nacen las distintas configuraciones de barras de la instalación en donde se plantea en un diagrama unifilar la filosofía de funcionamiento de la subestación.

1.2.2 Tipos de subestaciones eléctricas

Una vez que se ha definido el concepto de lo que es una subestación eléctrica, se presenta la siguiente información para conocer los tipos de subestaciones que pueden formar parte de un sistema eléctrico de potencia, adelantando el hecho de que las subestaciones pueden ser de diferentes tipos; dependiendo de su aplicación, según la función, nivel de voltaje, tipo de aislamiento, entre otras.

Tabla 1. Tipos de subestaciones [8]

Según la función	- De maniobra o reparto
	- De transformación pura
	- De transformación/maniobra
	- De transformación/cambio del número de fases
	- De rectificación
	- De central
Según el emplazamiento	- De intemperie
	- De interior
Según la movilidad	- Fija
	- Móvil
Según el tipo de aislamiento	- Aisladas al aire (AIS)
	- Aisladas en gas (GIS)
	- Híbridas (HIS)
Según su ubicación	- Urbanas
	- Rurales
	- Industriales
	- Residenciales
	- Específicas (fotovoltaica, eólica, entre otras)
Según el nivel de tensión	- Muy alta tensión (400 kV- 220kV)
	- Alta tensión (132 kV – 66 kV – 45 kV)
	- Media tensión (20 kV – 15 kV)
Según la transformación	- Reductoras
	- Elevadoras

El elemento principal de una subestación eléctrica, cuando esta es de transformación de nivel de voltaje, es el transformador de potencia, el cual se encarga de elevar o reducir los niveles de tensión para permitir la transmisión o distribución de la energía eléctrica.

El trabajo de investigación que se desarrolla a continuación, se enfoca en el análisis de las subestaciones por el tipo de operación, en este caso, se define el trabajo de las subestaciones elevadoras de tensión, reductoras de tensión y subestaciones de maniobra o seccionamiento, las cuales forman parte activa del SEP del Ecuador.

En una subestación elevadora, el voltaje de la tensión de salida es mayor que el voltaje de la tensión de entrada; siendo común su instalación a continuación de los puntos de generación, hasta niveles más altos de transmisión.

En una subestación reductora, el voltaje de la tensión de salida es menor que el voltaje de la tensión de entrada; esta subestación permite la reducción de niveles de alta tensión que vienen de la transmisión, hasta niveles más bajos de tensión empleados para subtransmisión o distribución.

En una subestación de seccionamiento o maniobra, el voltaje de la tensión de salida es igual al voltaje de la tensión de entrada, por lo tanto, no se utiliza transformador de potencia; siendo su función principal la conexión o desconexión de líneas de transporte con otras de distribución, con el propósito de dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

1.2.3 Servicios auxiliares de una subestación:

Los servicios auxiliares resultan imprescindibles para la operación de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), pues permiten garantizar la calidad y continuidad del suministro eléctrico, complementando así los servicios primarios, además de que son equipos secundarios de una subestación que desempeñan las funciones de medición, control y protección de los diferentes equipos de la subestación, y otros los servicios de comunicación, iluminación, calefacción, bombas, motores de ventiladores, etc. llamados como servicios generales de la subestación.

Los servicios auxiliares de una S/E se definen como el conjunto formado por todos los dispositivos que sirven para alimentar las diferentes cargas necesarias para la operación de la subestación, tales como: baterías, cargadores de baterías, grupos electrógenos de emergencia, transformadores, gabinetes de distribución, interruptores de media y baja tensión, cableado, etc [4]

Los servicios auxiliares de una subestación de voltaje se caracterizan por ser el área encargada de suministrar energía eléctrica de baja tensión, puede ser esta en corriente alterna o corriente continua; destinada para la alimentación de los dispositivos de medición, protección, control y supervisión de una subestación de energía eléctrica.

La correcta operación de una subestación eléctrica radica en el buen y adecuado funcionamiento de los servicios auxiliares, ya que entre sus principales funciones se hallan:

- a. Control de los servicios de corte y seccionamiento.
- b. Alimentación de los sistemas de protección, alarmas y señalización.
- c. Iluminación de emergencia.
- d. Cargador de baterías de corriente continua y rectificadores.
- e. Equipos de refrigeración de transformadores.
- f. Equipos de tratamiento de aceite.
- g. Iluminación de áreas estratégicas de patio de subestación.
- h. Alimentación de servomotores para el control de taps de transformadores.
- i. Alimentación de servomotores de disyuntores y seccionadores.
- j. Equipos de telecomunicaciones
- k. Sistemas de seguridad contra incendios

1.2.4 Transformadores de tensión

Son dispositivos destinados a la alimentación de equipos de medición y/o protección, con tensiones proporcionales a las de la red en el punto en el cual está conectado. El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección.

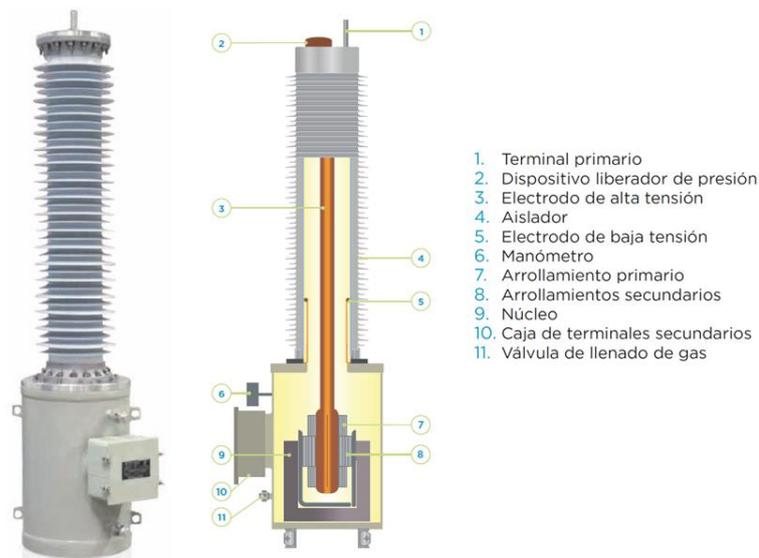


Figura 1 Transformador de potencial [9]

Cada transformador de tensión tendrá, por lo tanto, terminales primarios que se conectarán a un par de fases o a una fase y tierra, y terminales secundarios a los cuales se conectarán aquellos aparatos.

En estos aparatos la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

En esta definición tan amplia quedan involucrados los transformadores de tensión que consisten en dos arrollamientos realizados sobre un núcleo magnético y los transformadores de tensión que contienen un divisor capacitivo [5]

1.2.5 Clasificación de los transformadores de tensión

Los transformadores de tensión están destinados a permitir la medición de los parámetros eléctricos, en este caso, voltaje, de tal manera que están conectados directamente a la línea de alta tensión, lo cual permite tener valores proporcionales, su trabajo se divide de la siguiente manera:

a. Transformadores de tensión para medición

Están destinados a energizar equipos de medición. La necesidad fundamental de estos transformadores es que deben ser exactos en condiciones normales de servicio.

El dato de la clase o precisión indica el grado de exactitud del transformador de medida, lo cual da como información, en tanto por ciento, el máximo error con que se puede registrar la medida. La norma IEC especifica que la clase o precisión debe mantenerse cuando la tensión que se aplica en el arrollamiento primario se encuentre comprendida en un rango que va del 80% al 120% de la tensión primaria nominal; también, debe mantenerse dicha precisión cuando la carga conectada al secundario del transformador esté comprendida entre el 25% y el 100% de la carga nominal y con un factor de potencia de 0,8 inductivo.

Las clases de precisión normales para los TP monofásicos para medidas son: 0.1 – 0.2 – 0.5 – 1.0 – 3.0.

b. Transformadores de tensión para protección

Son aquellos destinados a alimentar relés de protección. Si un transformador va a estar destinado para medida y protección, se construye normalmente con dos arrollamientos secundarios, uno para medida y otro para protección, compartiendo el mismo núcleo magnético, excepto que se desee una separación galvánica. Por esta razón, en la norma IEC, se exige que los transformadores de protección cumplan con la clase de precisión de los transformadores de medida.

1.2.6 Transformadores de corriente

Un transformador de corriente o TC es el dispositivo que alimenta una corriente proporcionalmente menor a la del circuito. Es de aclarar que un transformador de corriente por su aplicación se puede subdividir en transformador de medición y transformador de protección, no obstante, los transformadores se diseñan para realizar ambas funciones y su corriente nominal por secundario puede ser de 1 ó 5 Amperios, es decir desarrollan dos tipos de funciones, transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión [10].



Figura 2 Transformador de corriente [11]

1.2.7 Transformadores De Tensión Para Servicios Auxiliares

Los Transformadores de Tensión para Servicios Auxiliares, conocidos también como: Power Voltage Transformers (PVT) y Station Service Voltage Transformers (SSVT) se utilizan para suministrar energía de baja tensión directamente desde una línea de alta tensión hasta 550kV.

Los transformadores para Servicios Auxiliares combinan los beneficios de un transformador de potencial con aplicaciones de un transformador de distribución. Los PVT o SSVT se construyen tanto en formato de aislamiento de aceite como de aislamiento en SF6.

Su principal aplicación es el suministro eléctrico para los servicios auxiliares de subestaciones (de conmutación, renovables y convencionales). También permite asegurar el suministro eléctrico en zonas rurales aisladas, torres de comunicación en áreas remotas y en zonas con necesidades temporales de suministro eléctrico [1]

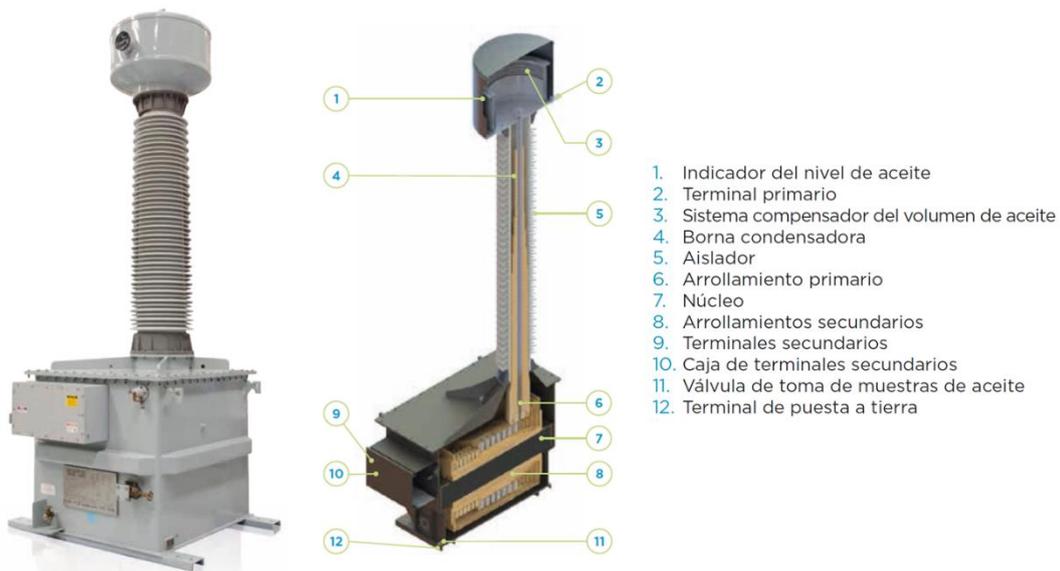


Figura 3 Transformador de tensión con devanado para SS.AA. [1]

El objetivo de estos transformadores es aprovechar la energía eléctrica de la línea de alta tensión, para dotar de energía a equipos o servicios específicos. El campo de aplicación de este tipo de transformadores se da en los siguientes escenarios:

- a. Alimentación de servicios auxiliares de subestaciones.
- b. Alimentación de sistemas de telecomunicaciones.
- c. Electrificación rural de poblados aislados.

Para el desarrollo de esta investigación, se ha recogido información de transformadores de potencial con devanado para servicios auxiliares de la marca Artech, pudiendo hallar el siguiente detalle.

Tabla 2 Tipos de transformadores de tensión para servicios auxiliares marca Artech [1]

Transformadores de tensión para servicios auxiliares marca ARTECHE		
Serie UTP	Serie UG	Serie UTY
Hasta 362 kV y 333 kVA	Hasta 550 kV y 125 kVA	Hasta 245 kV y 16 kVA
Aislamiento de papel de aceite y un sistema de compensación del nivel de aceite metálico.	Aislamiento en SF6 equipado con un densímetro para monitorizar la presión del gas.	Aislamiento en papel aceite. Sistema de compensación del nivel de aceite metálico.

1.2.8 Protecciones eléctricas del TP con devanado para servicios auxiliares

a. Protección en lado primario:

El método para proteger los TP en una subestación se basa en la aplicación de apartarrayos y cables de guarda. El apartarrayos trabaja en las fallas generadas por transitorios atmosféricos y transitorios por maniobra. Internamente el devanado primario tiene un blindaje que lo protege de sobretensiones.

La impedancia del SSVT es del orden del 5 al 10%, es decir que su corriente de corto está entre 20 y 10 veces su corriente nominal o de plena carga (In) respectivamente [8]

Protección contra falla de arco interno, ensayado según norma IEC 61869-1, Cl. 6.9 and 7.4.6 con 40 kA de corriente de falla sostenida por 300 ms con Alivio de presión y resellamiento del transformador.

Como protección opcional llevan la llave fusible, en sistemas de hasta 145 kV tiene la opción de instalar una llave fusible de operación manual, con la prioridad de proteger la línea antes que el transformador, y así evitar que una corriente de falla por el transformador provoque la operación de los interruptores del lado de la línea de alta.

b. Protección en el lado secundario

En el bobinado del secundario se cuenta con protecciones contra transitorios de AT inducidos en el primario. El blindaje aterrizado hecho de lámina de aluminio, en el núcleo aterrizado califican el transformador como un transformador blindado o de aislamiento [8]

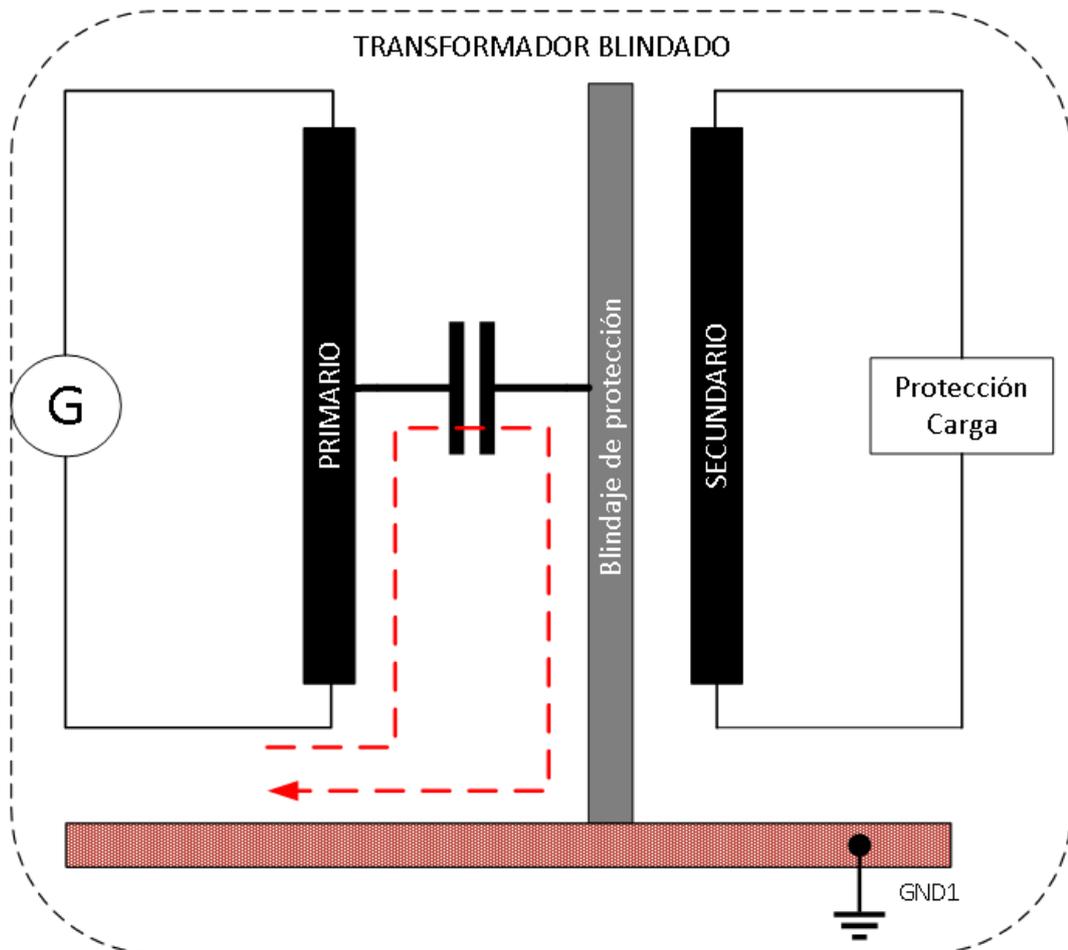


Figura 4 Blindaje de protección [8]

De acuerdo a la figura, mediante la línea de color rojo se representa la liberación de fallas de sobretensión, pueden estas ser causadas por eventos tipo rayo, tipo maniobra y contenido de armónicos; los cuales, mediante el blindaje de protección hecha de lámina de aluminio, despeja la falla hacia tierra. Este funcionamiento es aplicado para transitorios que se pueden generar en el lado del primario; de igual manera se despejaría la falla en caso de suceder un transitorio desde el lado secundario cuando la línea que transporta la energía de baja tensión sobrepasa cierta distancia.

1.2.9 Configuración de las protecciones eléctricas

Se debe considerar la instalación de un seccionador fusible en el primario a tensiones de hasta 138 kV, cuando estos, se encuentran para proteger la línea por una falla interna entre la barra o derivación del conductor, incluido el bushing y tanque.

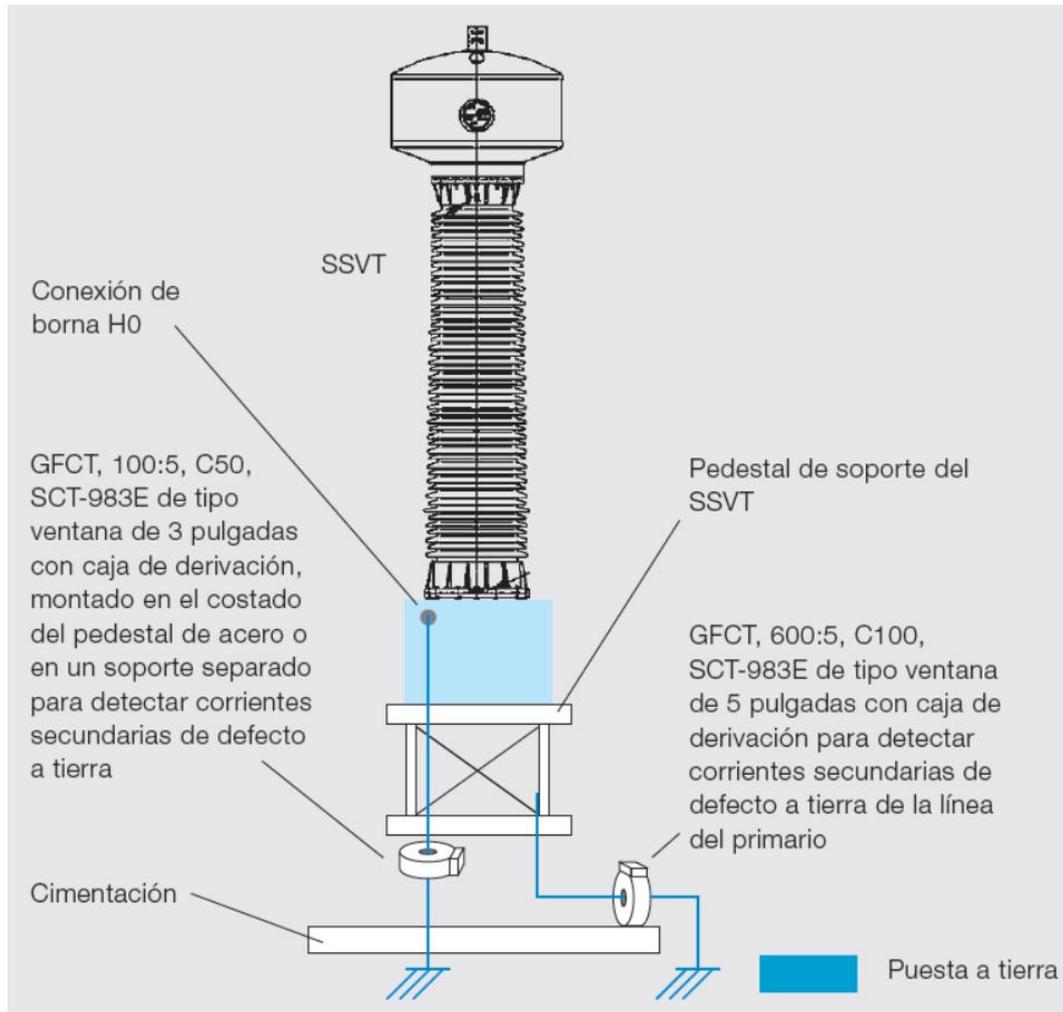


Figura 5 Protección típica de un SSVT [8]

Justamente en esta sección se genera un análisis específico para una falla que cumpliría la siguiente condición, se simula una falla en el lado de baja tensión, con el devanado de servicios auxiliares alimentado directo de la línea de 138 kV.

El escenario posible es que por un cortocircuito o una sobre corriente en el lado de baja tensión se puede disparar las protecciones del lado de alta tensión, lo cual provocaría la disminución de la confiabilidad en este tipo de sistemas.

Debido a este posible evento, el fabricante recomienda por experiencia instalar relés de sobreintensidad, pudiendo por lo general ser un relé 89 o un relé 52, adyacentes al SSVT.

El relé 52 viene siendo un interruptor automático de corriente alterna que activa un circuito de AC en condición normal o lo desactiva en condiciones de falla.

El relé 89 es un seccionador de línea para circuitos de corriente continua o alterna, pudiendo ser accionado con accesorios eléctricos tales como interruptor auxiliar, enclavamientos magnéticos, etc.

La corriente sufre un incremento en su valor cuando ocurre una falla, por tal razón, es la variable más utilizada en la detección de fallas de cortocircuito. Debido a esta característica, los relés de sobre corriente son una alternativa técnica y económicamente viable para la protección de sistemas de subtransmisión, distribución o como una protección secundaria de los sistemas de transmisión [12]

Un SSVT/SSMV tiene cerca de un 5 al 10 por ciento de impedancia en su propia base. Gracias al tamaño de su bastidor con pocos kVA, la corriente de fallo del secundario está limitada a un nivel seguro. Un fusible o un interruptor automático en miniatura (MCB) pueden proteger al SSVT de sobrecargas en el secundario durante el funcionamiento normal. Un interruptor automático de MT podría llevar a cabo la misma función en un SSMV. Si la tensión nominal de AT del primario es de 230 kV, la intensidad a plena carga es de 1,5 A con 200 kVA y el fallo más grave en el secundario induciría 30 A en el primario [13]

1.2.10 Relé de protección súbita

El relé de presión súbita se aplica para detección temprana de una falla, este dispositivo requiere la instalación de una válvula en la pared del tanque cercana al devanado de alta tensión.

El relé de presión súbita es un instrumento diseñado para responder a un aumento repentino de la presión, normalmente generado por una falla interna del transformador. Reacciona rápidamente y tiene un micro interruptor que puede conectarse al disparo del interruptor, para reducir los daños en el tanque del transformador.

1.2.11 Caso de estudio Subestación de seccionamiento La Concordia

Para este análisis, se toman datos de la subestación de seccionamiento La Concordia, la cual se encuentra ubicada en el Km 137 del corredor estatal E20 Santo Domingo – La Concordia. Esta subestación eléctrica fue construida con la finalidad de complementar el proyecto de transmisión La Concordia - Pedernales, seccionando el circuito QNN1SDM 138kV y enviar energía mediante la L/T CNR1PDR 138kV hacia el cantón Pedernales y cubrir el déficit de caída de tensión de la zona, mediante la construcción de una nueva Subestación Pedernales a 138/69kV [14].



Figura 6 Ubicación geográfica de la S/E La Concordia [14]

La subestación La Concordia es del tipo convencional (AIS) de seccionamiento a 138kV que consta con un sistema a doble barra. Su objetivo será evacuar energía eléctrica del SNI hacia el cantón Pedernales mediante la L/T CNRPDR1 138kV.

Las bahías de línea Santo Domingo, Quinindé y Pedernales 1 prácticamente son iguales, presentan la misma configuración, cuentan con un disyuntor principal, dos seccionadores adyacentes de barra y línea, un seccionador de transferencia, dos seccionadores selectores de barra, un seccionador de puesta a tierra, además cuentan también con TC's, DCP's y pararrayos.

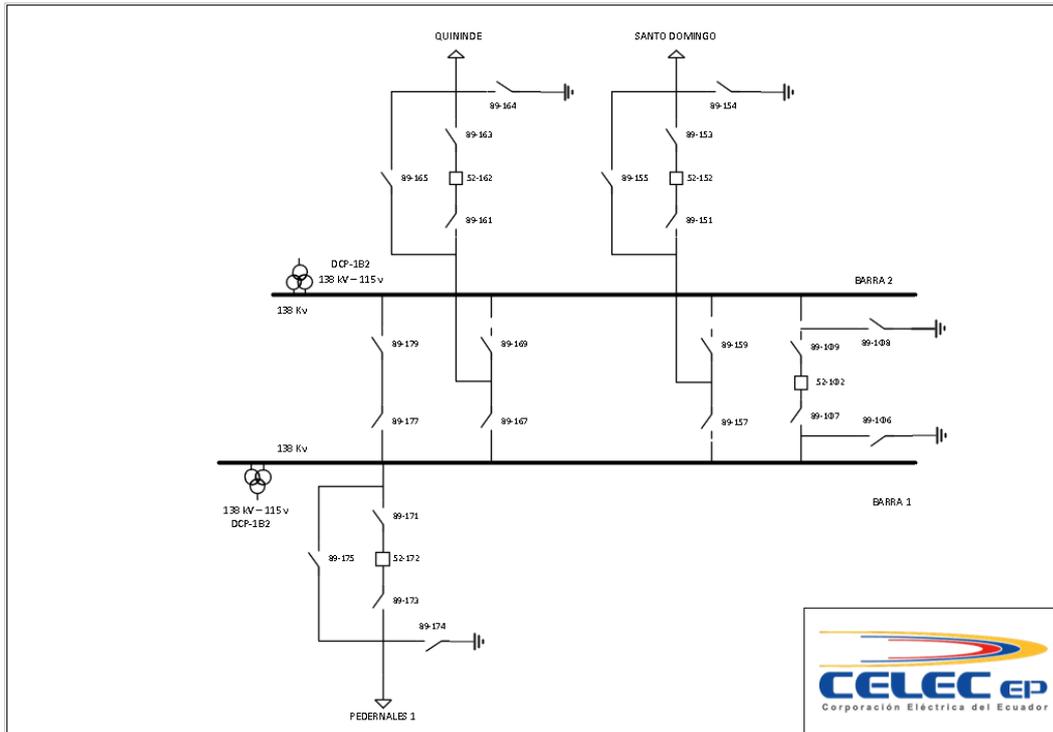


Figura 7 Equipo primario S/E La Concordia [14]

1.2.12 Transformador de potencial de la S/E La Concordia

Para realizar la selección de un SSVT que se pueda comparar con los equipos instalados en una subestación de seccionamiento operativa, se analiza el transformador de potencial capacitivo existente, para lo cual se extraen las características relevantes.

Tabla 3 Características técnicas de transformador de potencial capacitivo existente [14]

Tipo	TYD 138/ $\sqrt{3}$ – 0.015H	U _{pr} 138/ $\sqrt{3}$ kV	Cr 15000 pF
Nivel de aislamiento	275/650 kV	U _m 145 kV	C1r 17925 pF
Rango de temperatura	-25 ~ 45°C	Fv 1.5 U _{pr} /30s	C2r 91932 pF
Distancia de fuga	4800 mm	Fr 60 Hz	Peso 580 Kg

Los divisores capacitivos de potencial DCP's instalados en la S/E La Concordia son de marca XD de fabricación China, consta con 3 polos, el uno para medición y los otros dos para protección.

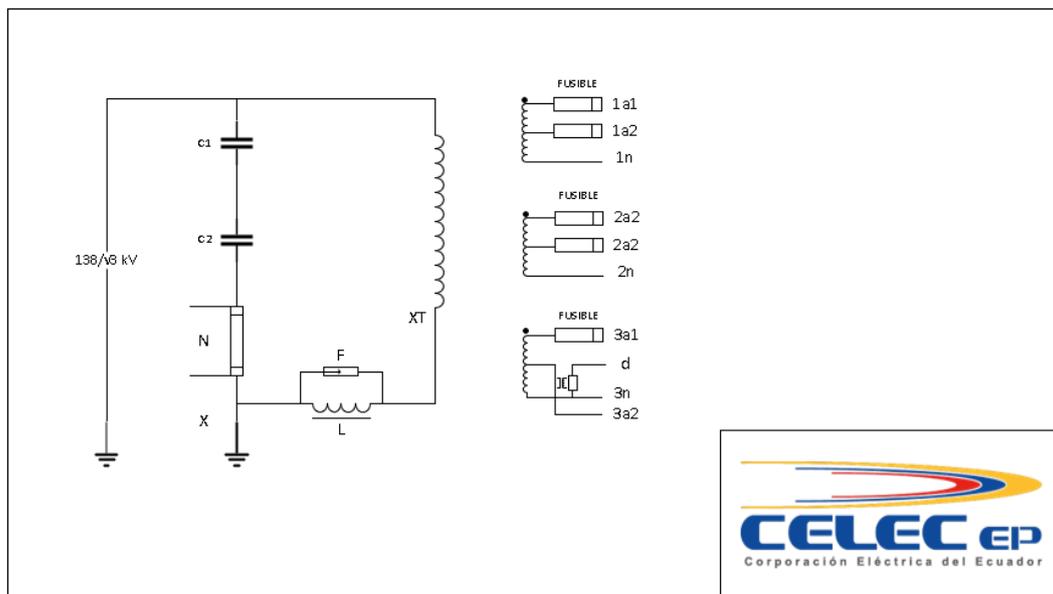


Figura 8 Diagrama unifilar del DCP de S/E La Concordia

El transformador de potencial capacitivo de la S/E La Concordia está conectado de la siguiente manera:

- El núcleo 1 se utiliza para medición y está conectado al medidor de energía ION8650 y al BCU, con una relación de transformación $138/\sqrt{3}$ kV: 115 - $115/\sqrt{3}$ V, clase 0.2 y una carga máxima de 50VA.
- El núcleo 2 está conectado a la protección principal PL1, RAP, con una relación de transformación $138/\sqrt{3}$ kV: 115 - $115/\sqrt{3}$ V, con una clase 3P y una carga máxima de 50VA.
- El núcleo 3 está conectado a la protección de respaldo PL2, con una relación de transformación $138/\sqrt{3}$ kV: 115 - $115/\sqrt{3}$ V, con una clase 3P y una carga máxima de 50VA.

1.2.13 Servicios auxiliares de la S/E de seccionamiento La Concordia

La subestación La Concordia es de tipo seccionamiento, por lo cual no tiene transformador de potencia; los servicios auxiliares en AC están siendo tomados desde un alimentador a 13,8 kV de la regional CNEL – La Concordia, hacia un transformador (T2) tipo PADMOUNTED de 225 kVA a nivel de voltaje de 13,8 kV/220-127V.

El Generador de emergencia es la segunda fuente de alimentación de los servicios auxiliares, al ser la subestación de tipo seccionamiento, no consta con transformador de potencia propio, siendo la red pública (CNEL) su alimentación principal para los servicios auxiliares, este grupo electrógeno es de marca Cummins y tiene una potencia de 260 kVA.

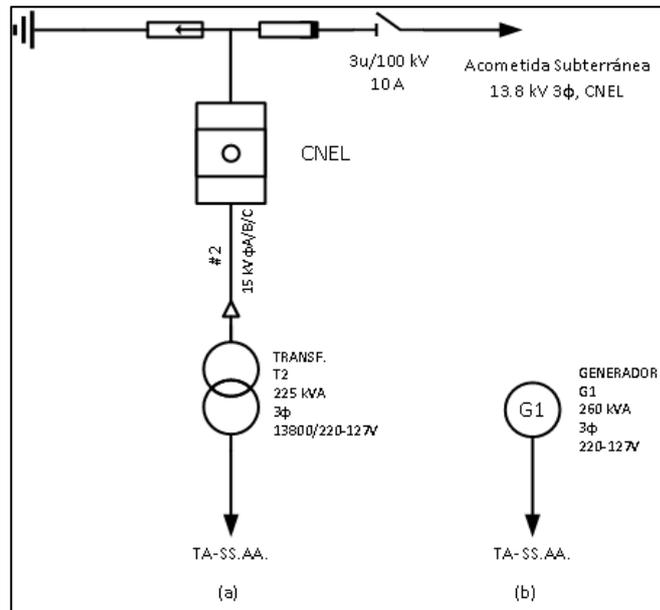


Figura 9 Suministro eléctrico para servicios auxiliares en S/E La Concordia [14]

1.2.14 Transformador trifásico para alimentar servicios auxiliares en la S/E de seccionamiento La Concordia

De acuerdo a la demanda de los servicios auxiliares de la subestación, se implementa el centro de transformación con características técnicas correspondientes al tipo PAD MOUNTED, trifásico de 225 kVA, que funcionara a un voltaje de 13.8 kV/208-120 VAC. Este CT se une a la red trifásica de medio voltaje mediante acometida equipada con pararrayos, seccionadores, fusibles, puntas terminales y conductor aislado para medio voltaje.

El sistema de medición se instala utilizando las señales de un equipo compacto trafomix montado para el efecto. La medición será del tipo indirecto con registrador de la demanda.

Para revisar con mayor detalle las características técnicas del transformador, ver Anexo G.

1.2.15 Estudio existente de carga y demanda para servicios auxiliares de S/E La Concordia

El análisis de demanda de los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento La Concordia se puede verificar en el Anexo G, teniendo el siguiente detalle.

- a. Cargas resistivas una demanda de 122 kVA
- b. Cargas inductivas una demanda de 103.9 kVA

1.2.16 Histórico de fallas del alimentador primario

La bitácora de trabajo de la subestación La Concordia registra las fallas que se presentan en el alimentador primario, razón por la cual los servicios auxiliares quedan dependientes del banco de baterías por unos minutos y posteriormente del grupo electrógeno. En la tabla a continuación se recoge una muestra de las fallas registradas durante el año 2020.

Tabla 4 Régimen de trabajo de los equipos de las subestaciones año 2020 – S/E La Concordia

MES	DIA	OBSERVACIÓN
	05	Se registra un consumo debido a que el 05/04/2020, se presentaron oscilaciones en el sistema, el alimentador de CNEL a 13,8 kV se mantuvo des energizado por 3,48 horas, tiempo en el cual se mantuvo encendido el generador de emergencia
	21	Se registra un pequeño consumo por oscilaciones en el sistema de red publica
Abril	26	Se registra consumo porque el 26/04/2020 a las 11h12 el gde toma carga hasta las 11h45 por falla en la red pública, se mantiene encendido durante 33min
	29	Se registra un consumo debido a que el 29/04/2020, se presentó un problema externo en el sistema de alimentación de red pública 13,8kv. a las 14h40 el gde toma carga hasta las 17h44 por falla en la red pública, se mantiene encendido durante 03h04
Mayo	03	El 03/05/2020 se transfiere la carga al gde por problemas en la red pública, desde 10h58 hasta 12h10. tiempo encendido el gde 1hora 12 minutos
	22	Sale de servicio la red pública por 3:09 horas por trabajos programados en la misma.

Continúa en la siguiente página

MES	DIA	OBSERVACIÓN
	06	El 06/06/2020 00h25 se presenta novedad en la red pública, se enciende el generador, pero no se realiza la transferencia automática, minutos después se normaliza la red pública y aun así no se realiza la transferencia a condiciones normales, los ss.aa. se mantienen alimentados solo por las baterías, el generador estuvo encendido sin carga aproximadamente por 7 horas.
Junio	11	Se registra un pequeño consumo porque el 11/06/2020 a las 19h37 se presenta una oscilación de voltaje en la red pública, se transfiere la carga al gde por 2min aproximadamente.
	12	El 12/06/2020 se registra un consumo porque se realizaron maniobras de transferencia con la ot-36722
	19	Sale de servicio la red pública por 2:54 horas por motivos de falla en la línea de 69kV de la SE CNEL la Concordia.
Julio	01	Sale de servicio la red pública por 3h41min
	19	El 19/09/2020 se registra un consumo porque la red pública CNEL tienen una intermitencia cortando la energía por unos segundos.
Septiembre	22	El 22/09/2020 se registra un consumo porque la red pública CNEL tienen una intermitencia cortando la energía por unos segundos.
	30	Sale de servicio la red pública por motivos desconocidos por 39 min
	07	El 07/10/2020 sale de servicio la red pública por una hora, por trabajos programados en CNEL.
Octubre	09	Debido a una falla en la red pública, por falta de una fase, se transfiere los SS.AA desde las 18:50 del 09/10/2020 hasta las 07:50 del 10/10/2020.
	10	Debido a una falla en la red pública, por falta de una fase, se transfiere los SS.AA desde las 18:50 del 09/10/2020 hasta las 07:50 del 10/10/2020.

1.2.17 Histórico de fallas de la línea de alta tensión

Según la bitácora de la S/E de seccionamiento La Concordia, el registro de fallas en la línea de alta tensión de 138 kV se tiene la siguiente información.

Tabla 5 Reporte de fallas en la línea de alta tensión

Tramo	# de fallas	Fecha	Razón
Quinindé – La Concordia	1	28 de noviembre del 2021	Descarga atmosférica
Quinindé – La Concordia	1	02 de mayo del 2021	Tele protección
Santo Domingo – La Concordia	1	2020 – 2021	Descarga atmosférica

1.2.18 Índices de calidad

En la tabla 6 se puede verificar los índices de calidad FMIK y TTIK presentados por la empresa de distribución.

Tabla 6 Índices de calidad CNEL EP, a finales del 2021

Unidad de negocio	Nro. De clientes	Energía Disponible Sistema Año Móvil (GWh)	Facturación Clientes Regulados (Millones USD)	Pérdidas de Energía Año Móvil (%)	Frecuencia Media de Interrupción (FMIK)	Tiempo Total, de Interrupción (TTIK)
CNEL EP	2.681.531	17.253,15	\$1.227,76	16,30 %	6,01	7,17

En la tabla 7 se indica los valores recomendados mediante la regulación No. Conelec-004/01 para empresas de distribución.

Tabla 7 Límites admisibles de índices de calidad

LÍMITES		
ÍNDICE	LIMITE FMIK	LIMITE TTIK
Red	4.0	8.0
Alimentador urbano	5.0	10.0
Alimentador rural	6.0	18.0

1.3 Fundamentación metodológica:

1.3.1 Tipo de investigación

La siguiente investigación tiene la finalidad de obtener información sobre las características técnicas y constructivas de los transformadores de tensión con devanado para alimentación de servicios auxiliares, de tal modo que se pueda establecer una recomendación para la instalación de estos equipos en subestaciones de seccionamiento.

Con la **investigación bibliográfica**, se obtendrá información sobre las características técnicas de los transformadores de tensión con devanado para alimentación de cargas en baja tensión, para lo cual se indagará en documentos del área eléctrica, basado en artículos, tesis, manuales técnicos; entre otros.

Con la **investigación de campo**, se recolectará información del sistema actual con el que operan los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento La Concordia, para determinar la necesidad, en comparación con los inconvenientes que se registran, obteniendo así los errores que se deben corregir y la practicidad con la que se debe justificar la implementación de este tipo de transformadores de tensión.

De acuerdo a la **investigación descriptiva**, se realiza el análisis de las características técnicas para obtener niveles de voltaje de media y baja tensión directamente de la línea de alta tensión, a través de la instalación de transformadores de potencial que permiten, por su innovador tipo de construcción, conectarse a líneas de hasta 500 kV para obtener energía eléctrica de baja tensión, orientado a la alimentación de los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento.

Aplicando la **investigación exploratoria**, se obtiene los índices SAIDI y SAIFI, para de esta forma conocer el número de fallas que se tiene en el alimentador principal actual conectado a una red de media tensión, a continuación, se puede comparar con los índices de confiabilidad y continuidad que se espera al implementar el transformador de voltaje con devanado para energía eléctrica de baja tensión, siendo este igual a la confiabilidad de un sistema de transmisión de alto voltaje.

1.3.2 Método de investigación

Los métodos de investigación se clasifican en:

- a. Cuantitativos
- b. Cualitativos
- c. Mixtos (cuantitativos y cualitativos)

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se emplea el método cuantitativo, de tal forma que se analiza los posibles escenarios que pueden influir en la operación y funcionamiento del sistema eléctrico de potencia, para lo cual se enfatiza el estudio del comportamiento de las protecciones eléctricas en el lado de alta tensión, en el caso de fallos provocados en el lado de baja tensión.

El proceso para realizar el análisis de factibilidad técnica y económica en la instalación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares de subestaciones de maniobra se organiza de la siguiente forma.

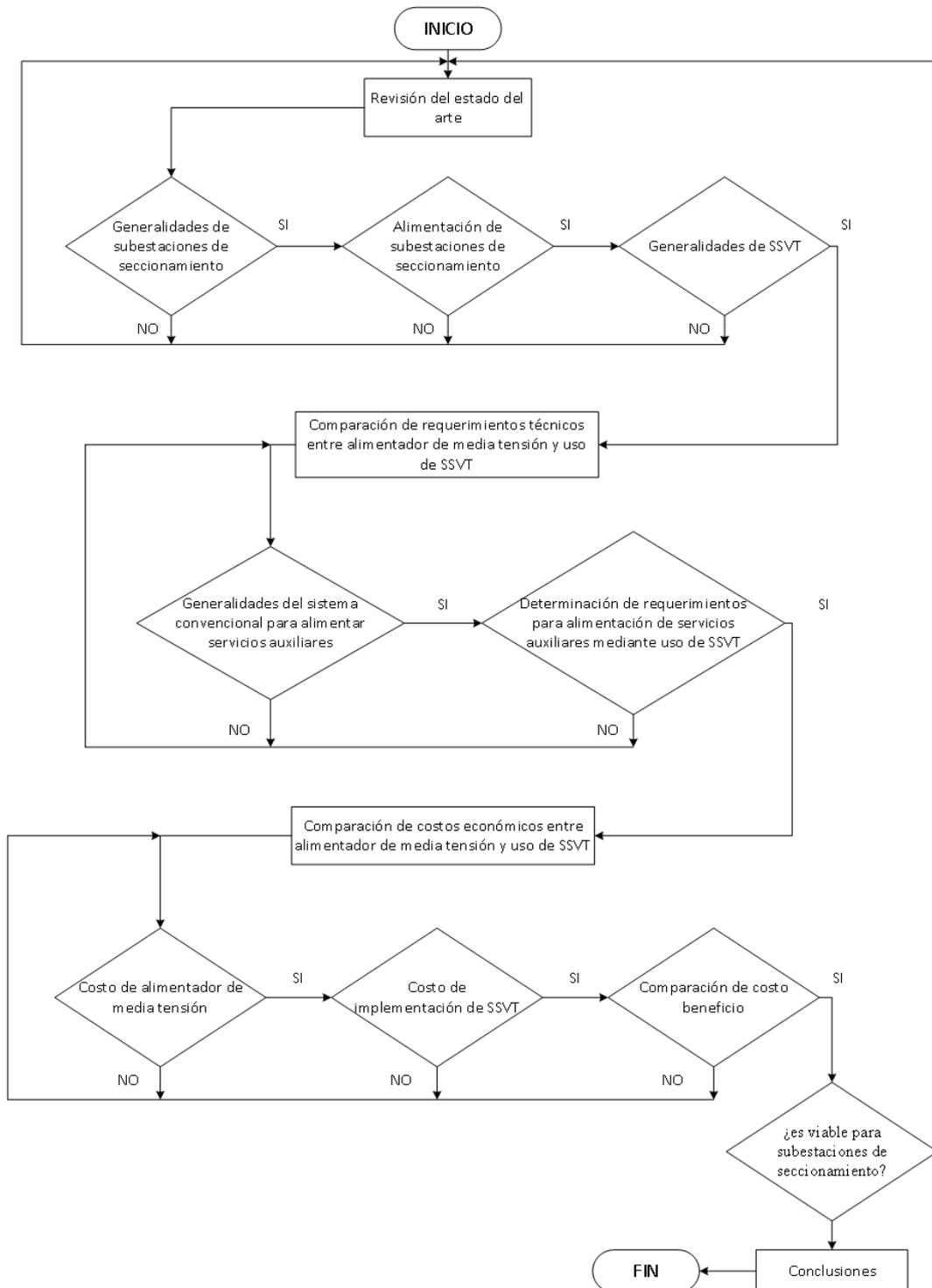


Figura 10 Estructura metodológica del proceso

1.4 Conclusiones Capítulo I

Las empresas que fabrican equipos para subestaciones eléctricas se han enfocado en la necesidad de suministro de energía eléctrica de baja tensión que requieren las subestaciones de seccionamiento para alimentar sus servicios auxiliares, por lo cual, la forma constructiva del SSVT aprovecha el mismo núcleo para agregar un devanado que permita obtener niveles de baja tensión para alimentar cargas específicas.

Los servicios auxiliares de la S/E de seccionamiento que forma parte del sistema de transmisión de alta tensión, se alimentan mediante un transformador de media a baja tensión, el cual está conectado a un alimentador de la empresa de distribución más cercana; en caso de fallas de la red pública, la S/E permanece dependiente del banco de baterías y el grupo electrógeno.

Un transformador de tensión con devanado para alimentación de servicios auxiliares es un TP que conserva sus funciones inherentes que son obtener valores de voltaje para protección y medición, pero su forma constructiva ha permitido agregar un devanado que puede obtener energía de baja tensión directamente de la línea de alta tensión, y es empleada para alimentar cargas en el valor de los kVA, en este caso, alimentar los servicios auxiliares de la subestación.

CAPÍTULO II.

PROPUESTA

2.1 Título del proyecto.

Análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con devanado de alimentación para servicios auxiliares aplicado a subestaciones de seccionamiento.

2.2 Objetivo del proyecto.

Analizar la factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con devanado para alimentación de servicios auxiliares aplicado a subestaciones de seccionamiento.

2.3 Descripción de la propuesta.

Los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento son alimentados convencionalmente desde un transformador de media tensión conectado a una acometida perteneciente a la empresa de distribución más cercana al patio, al realizar el estudio del caso de la S/E de seccionamiento La Concordia, se puede verificar que pertenece a la empresa de transmisión de alta tensión CELEC, pero su servicio de energía depende de la empresa de distribución CNEL, justificando entonces la necesidad de realizar el análisis de factibilidad técnica y económica para implementar equipos que permitan obtener energía eléctrica útil para alimentar los servicios auxiliares directamente de la línea de alta tensión, en busca de mejorar la confiabilidad y continuidad del servicio dentro de la S/E.

La propuesta de realizar el análisis de factibilidad técnica y económica para la instalación de transformadores de potencial con devanado para alimentación de servicios auxiliares aplicado a subestaciones de seccionamiento, se enfoca en establecer un antecedente como referencia para ser tomado en cuenta al momento de realizar el diseño de subestaciones de seccionamiento, de tal manera que se consideren las ventajas y desventajas de este tipo de tecnología.

Los transformadores de tensión para servicios auxiliares (PVT o SSVT), se utilizan para suministrar energía de baja tensión directamente desde una línea de alta tensión, hasta 550 kV. Situados dentro de la propia subestación, pueden proporcionar energía de hasta 333 kVA por fase de una manera fiable y rentable. Ofrecen una amplia gama de aplicaciones, pero sobresalen cuando el suministro de energía de servicio auxiliar de la subestación se necesita en áreas remotas, lo que los convierte en una solución ideal para las subestaciones de energía renovable [1]

2.4 Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se ha realizado el análisis de los parámetros técnicos de una subestación de seccionamiento operativa, de tal forma que se pueda conocer los requerimientos reales que debe entregar el equipo en estudio.

Es así que en el capítulo anterior se ha obtenido información sobre el estado actual de las subestaciones de seccionamiento y la forma convencional de como los servicios auxiliares se alimentan de energía eléctrica.

Posteriormente, se ha recolectado información teórica y técnica de los equipos que permiten obtener energía de baja tensión directamente de la línea de alta tensión, pudiendo ser esta empleada para la alimentación de los servicios auxiliares, aplicado al caso de estudio de la S/E de seccionamiento La Concordia.

2.5 Situación actual de los servicios auxiliares de la S/E de seccionamiento

Las subestaciones de seccionamiento forman parte estratégica para el control de flujos de carga dentro de un SEP, razón por la cual se establece que no poseen transformador de potencia, tan solo equipos de instrumentación para medición y protección, así como equipos para conexión y desconexión de cargas.

A continuación, se desarrolla el análisis de la factibilidad técnica para la alimentación de energía eléctrica de los servicios auxiliares mediante el uso de un SSVT aplicado al caso de estudio de la subestación de seccionamiento La Concordia.

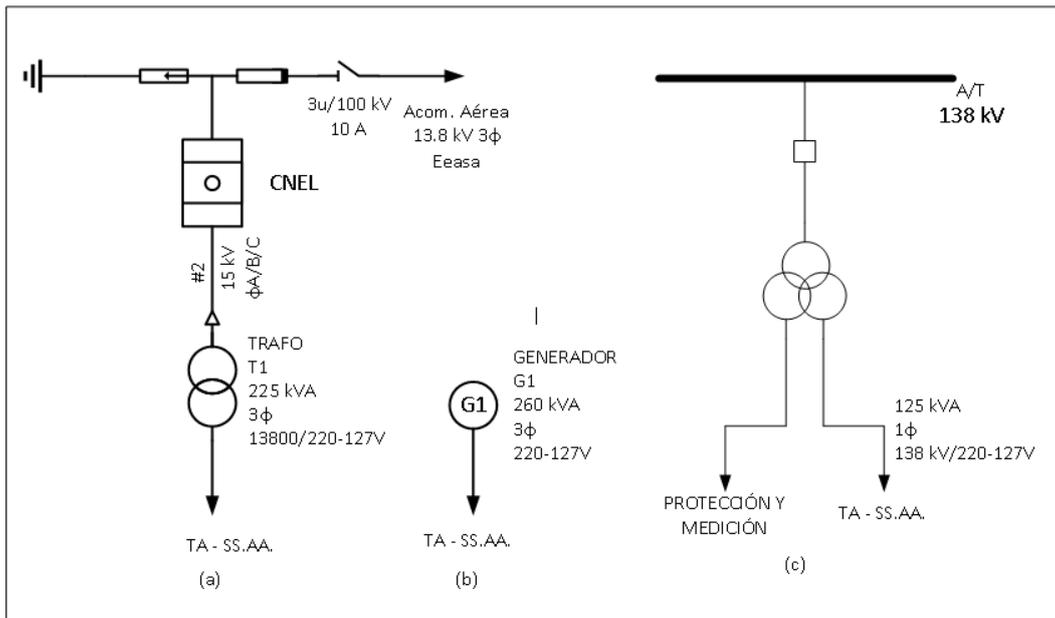


Figura 11 Alimentación de servicios auxiliares, (a) alimentador de empresa de distribución, (b) Grupo electrógeno, (c) Transformador de tensión con devanado de servicios auxiliares

2.6 Propuesta de alimentación de servicios auxiliares

De acuerdo a la figura 12 literal (a), los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento La Concordia, están siendo alimentados desde un proveedor externo de energía eléctrica, en este caso, a través de un transformador trifásico de media tensión conectado a un alimentador primario de 13.8 kV con una potencia de 225 kVA.

En relación a la figura 12 literal (b), los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento La Concordia están siendo respaldados ante fallas del alimentador primario por un generador trifásico de 260 kVA.

En la figura 12 literal (c), se puede observar la propuesta, para alimentar los servicios auxiliares desde un SSVT que cuenta con devanado específico para obtener niveles de baja tensión, sin que el TP pierda sus funciones inherentes que es ofrecer un bobinado para medición y protección.

Este equipo ofrece mejoras en el suministro de energía eléctrica para servicios auxiliares, basado en dos indicadores:

- Independencia del sistema
- Calidad del servicio entregado

La independencia del sistema trata netamente sobre eliminar la conexión al alimentador de media tensión provisto por una empresa de distribución, proyecto en el cual se generan gastos de construcción para el tendido eléctrico que conectara el alimentador de media tensión hacia un transformador de potencia ubicado en la subestación de seccionamiento, y así obtener valores en baja tensión.

La información del proyecto de derivación trifásica en media tensión se puede verificar con mayor detalle en el Anexo H.

2.7 SSVT recomendado para el caso de estudio

En relación a los equipos disponibles en la tabla 2, se ha seleccionado el transformador de tensión para servicios auxiliares marca Artech de la serie UTP, modelo UTP-145, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 8 Características técnicas del transformador en análisis [9]

Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia de salida máxima por fase (kVA)	Línea de fuga estándar (mm)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)		
UTP- 145	145	275	650	-	100	4525

2.7.1 Criterios de selección de SSVT para caso de estudio

Para realizar la selección y recomendación del SSVT aplicado a la alimentación de los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento La Concordia, se han tomado dos criterios,

- a. Basados en el valor del BIL del transformador de tensión capacitivo instalado actualmente en la subestación, tabla 3, de acuerdo a ese nivel de aislamiento, se ha seleccionado el SSVT que iguale las características ya establecidas.
- b. Basados en la determinación de la demanda de diseño, además de cumplir con la potencia nominal instalada, que en este caso es 225 kVA.

2.8 Conexión del SSVT para alimentación de servicios auxiliares

Según manual de instalación de un SSVT, la configuración para la alimentación de los servicios auxiliares se presenta de la siguiente manera.

- Sistema de 3 transformadores de voltaje; Tres fases en AT alimentan circuitos en BT monofásicos (L-N), bifásicos (L-L) y trifásicos; Suministro nominal máximo de 1 MVA (333.3 kVA x 3).
- Sistema de 2 transformadores de voltaje, estrella abierta/delta abierta; Dos fases en AT alimentan circuitos en BT trifásicos, monofásicos (L-N) bifásicos (L-L); Dos (2) unidades monofásicas pueden conectar sus secundarios en delta abierto y proveer 87% de los kVA monofásicos totales. Es decir 2 unidades de 100 kVA que suman 200 kVA suministran 174 kVA,
- Sistema de un (1) Transformador de tensión; Una fase en AT alimenta circuitos en BT trifásicos y monofásicos (L-L, L-N); Las cargas trifásicas requieren el uso de un convertidor, preferiblemente digital, de una a tres fases que típicamente tiene una potencia máxima de 80 kVA por convertidor pero que puede conectar más en derivación.

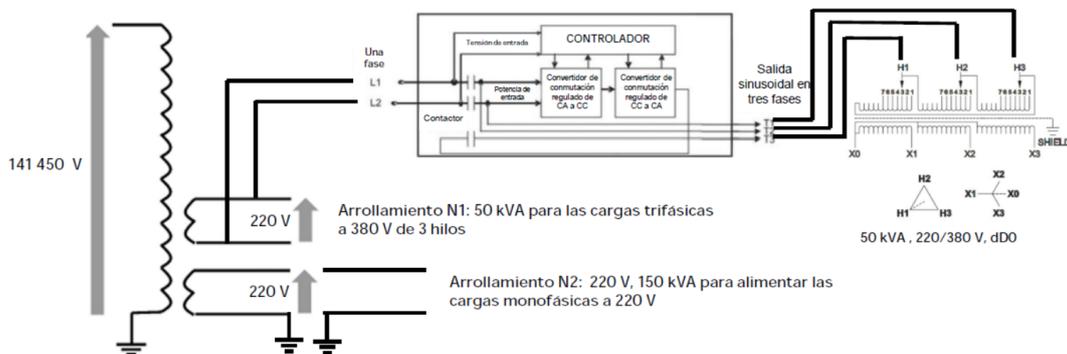


Figura 12 Sistema de un SSVT Clase 245 kV, salida trifásica 220 V, 50 kVA [8]

2.9 Criterios para el reemplazo de un alimentador primario de media tensión por un SSVT.

Para justificar el reemplazo de un sistema convencional construido a partir de un alimentador de media tensión por un TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares, se han tomado los siguientes criterios, basados en la calidad de la energía y el histórico de fallas de la línea de media tensión y la línea de alta tensión.

2.9.1 Índices de calidad de la energía

En la tabla 9 se establece la comparación de los índices de la tabla 6 y tabla 7.

Tabla 9 Comparación de los límites admisibles de índices de calidad

ÍNDICE	LÍMITES		ÍNDICES DE CALIDAD AL 2021	
	LÍMITE FMIK	LÍMITE TTIK	Frecuencia Media de Interrupción (FMIK)	Tiempo Total, de Interrupción (TTIK)
Red	4.0	8.0	6,01	7,17
Alimentador urbano	5.0	10.0		
Alimentador rural	6.0	18.0		

Como se puede observar en la tabla anterior, el índice FMIK supera el límite establecido por la resolución del CONELEC, demostrando que la frecuencia media de interrupción es alta y tiene incidencia sobre los servicios auxiliares de la subestación de seccionamiento.

Similar tendencia se puede observar con el índice TTIK, cuyo valor está cerca del límite establecido, por lo cual, el tiempo total de interrupción también genera incidencia sobre los servicios auxiliares.

Al realizar una comparación entre la tabla de Reporte de fallas en la línea de alta tensión y la tabla de Régimen del trabajo de los equipos de las subestaciones año 2020 – S/E La Concordia, se puede evidenciar que las fallas en el alimentador de la empresa distribuidora supera ampliamente a las fallas en la línea de alta tensión, lo cual es un indicio de la confiabilidad que se podría dar al suministro energético desde un TP con bobinado para alimentación de servicios auxiliares.

2.9.2 Histórico de fallas en alimentador primario y línea de alta tensión

En la tabla 4 y en la tabla 5 se evidencia el registro de fallas, tanto en el alimentador primario a media tensión como en la línea de alta tensión, pudiendo evidenciar que, el alimentador de media tensión presenta al menos 1 falla por mes.

Mientras que la línea de alta tensión presenta 1 falla durante el año.

El SSVT tiene el objetivo de conectarse directamente a la línea de alta tensión, lo cual permite que la calidad de la energía para la alimentación de los servicios auxiliares basado en la confiabilidad y la continuidad del servicio, se establezca de acuerdo a los índices de la línea de alta tensión, agregado que, en el SEP, el sistema de transmisión tiene prioridad ante distribución.

2.10 Protecciones eléctricas de un SSVT

El blindaje aterrizado hecho de hoja de aluminio en el núcleo aterrizado, califican al transformador como un equipo blindado o de aislamiento.

El primario se conecta directo a la línea de alta tensión, tal como lo es un TP normal.

La corriente de cortocircuito de falla en el secundario está limitada por la impedancia del SSVT.

Por recomendación del fabricante, se debe considera la instalación de un seccionador fusible en el primario a tensiones de hasta 138 kV, cuando estos se encuentran para proteger la línea por una falla interna entre la barra o derivación del conductor, incluido el bushing y tanque.

2.11 Conclusiones Capítulo II

En el caso de una S/E convencional, un transformador de potencia de 230 kV/100 MVA puede contener hasta 25000 kg de aceite dentro de su forma constructiva; mientras que un SSVT de 230 kV/200 kVA contiene hasta 2000 kg de aceite, lo cual es una ventaja para instalaciones con cargas relativamente pequeñas y puntuales, como los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento; permitiendo mejorar la eficiencia en costos económicos, funcionalidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

En las líneas de transmisión es sumamente importante, y tiene como prioridad asegurar la continuidad del servicio; por lo cual se analiza que el uso de un SSVT como opción para alimentar servicios auxiliares es idóneo mientras se conserve el menor impacto sobre la línea de transmisión; ya que se estaría variando la impedancia física de la línea, además que, se podría causar asimetrías en caso de no tener cargas equilibradas en la línea de AT.

CAPÍTULO III.

APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

1.1 Introducción al análisis económico

Para el análisis económico se realiza una comparación entre los costos que demandan la implementación de un alimentador de media tensión en relación a la instalación de transformadores de potencial con devanado para alimentación de servicios auxiliares, aplicado a subestaciones de seccionamiento.

1.2 Costo de implementación de alimentador de media tensión

El costo referencial para la ejecución del proyecto de DERIVACIÓN TRIFÁSICA EN MV E INSTALACIÓN DE TRANSFORMADOR PAD MOUNTED DE 225 KVA, PARA SUBESTACIÓN LA CONCORDIA asciende a un valor de \$ **96.464,00**; cuyos precios unitarios se pueden ver detallados en el **ANEXO F**.

1.3 Costo de planilla eléctrica que se cancela a empresa distribuidora

Según el histórico de planilla eléctrica, una muestra en el **ANEXO D**, el consumo de energía durante el año 2021 se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 10 Histórico de consumo de energía eléctrica y costo de planilla

2021													
mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total, anual
kWh	10692	9405	10396	10810	9895	11652	8799	9682	9920	9375	9434	9484	
\$	932.27	842.14	906.21	934.05	861.86	1000.47	789.97	849.00	875.45	827.32	836.91	843.90	\$ 10499.55

Además, en la siguiente tabla se puede ver el consumo de potencia que han registrado los servicios auxiliares de la subestación La Concordia durante el año 2021, teniendo un promedio de consumo de potencia de 10000 kWh por mes.



Figura 13 Consumo de servicios auxiliares [14]

1.4 Costo de implementación de transformadores de potencial con alimentación para servicios auxiliares en subestaciones de seccionamiento

Según la proforma emitida por un representante del grupo Artech, el costo del transformador de tensión con devanado para alimentación de servicios auxiliares es:

Tabla 11 Costo del SSVT modelo UTP-145, marca Artech

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Valor total
3 unidades	Transformador de tensión con devanado para servicios auxiliares, modelo UTP-145, aislamiento de papel – aceite.	\$ 57.750	\$ 173.250
	Mano de obra y protecciones eléctricas recomendadas	\$ 8.000	\$ 8.000
	Total		\$ 181.250

1.5 Costo de energía en transmisión

La propuesta se basa en alimentar los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento, mediante la instalación de un transformador de tensión con devanado para obtener energía útil de baja tensión directo de una línea de alta tensión.

En este caso, la línea de alta tensión adyacente a la subestación de seccionamiento tomada como referencia, tiene un nivel de voltaje de 138 kV.



Figura 14 SSVT conectado a la línea de alta tensión [8]

Normalmente los transformadores de instrumentación toman energía eléctrica de la red de alta tensión para alimentar sus funciones inherentes de medición y protección.

En este caso, se ha indagado para obtener mayor información sobre el costo que se generaría al aprovechar la energía eléctrica directamente de la línea de alta tensión, de tal forma que el costo por kWh para transmisión tiene un valor de 0.68 USD/kWh.

Encontrando el criterio de que la subestación de seccionamiento pertenece a la misma empresa administradora de la transmisión de energía en alta tensión, entonces, no existiría un rubro de cobranza, más allá de un historial de consumo.

1.6 Costo de encendido de grupo electrógeno

Los servicios auxiliares de una subestación tienen como requerimiento estandarizado el contar mínimo con dos suministros de energía de alta confiabilidad, por tal razón no se analiza a detalle el costo de operación del generador, ya que es el respaldo del sistema eléctrico en caso de fallas.

Se establece que el costo por kWh del grupo electrógeno es de 0,98 c/kWh.

1.7 Comparación de costos entre alimentador de media tensión e implementación de SSVT.

En la tabla a continuación se presentan los costos generales en una comparación de inversión inicial y gastos de operación anual, enfatizando que se han generalizado los gastos de mantenimiento, que, en un sistema convencional, constan como gastos de adquisición dentro del presupuesto anual de contratación.

Estos gastos de mantenimiento se justifican por la necesidad de requerir limpieza, reajuste, reemplazo de piezas dañadas, inspección de integridad del sistema.

Tabla 12 Comparación de costos para sistemas de suministro de energía eléctrica

Año	OPCIÓN MEDIA TENSIÓN		OPCIÓN SSVT	
	Alimentador de media tensión		Transformador de tensión con bobinado para servicios auxiliares	
0	Inversión inicial	\$ 96,464.00	Inversión inicial	\$ 181,250.00
1		\$ 10,499.55		\$1,000
2		\$ 10,915.33		\$1,000
3		\$ 11,347.58		\$1,000
4		\$ 11,796.94		\$1,000
5	Costo operativo anual	\$ 12,264.10	Mantenimiento	\$1,000
6		\$12,749.76		\$1,000
7		\$13,254.65		\$1,000
8		\$13,779.54		\$1,000
9		\$14,325.21		\$1,000
10		\$14,892.48		\$1,000
	Total	\$ 222,289.14	Total	\$ 191,250
Tasa de inflación				
(2022)				
3.96%				
	VAN	TIR	VAN	TIR
	\$ 4359.42	5%	-110978.19	-31%

La interpretación de resultados de la tabla 12, para la opción de media tensión, indica que, para una proyección de funcionamiento a 10 años, el sistema va a demandar un costo total de \$ 222.289 dólares americanos.

Mientras que, para la opción de SSVT, con una proyección a 10 años, los costos operativos que demanda este tipo de equipo tienen un valor de \$ 191.250 dólares americanos.

Es decir, a la proyección de 10 años se tiene un ahorro con la instalación del SSVT de \$ 31.039 en relación a la ejecución del tendido de media tensión; haciendo viable la implementación de estos equipos en las nuevas subestaciones de seccionamiento; cabe resaltar que, el análisis no tiene el objetivo de proponer un reemplazo del sistema actual de acometida de media tensión en la subestación de seccionamiento La Concordia, más bien, se estudia como una recomendación a ser tomada en cuenta para futuros proyectos, aplicado a subestaciones de seccionamiento.

1.8 Conclusiones de capítulo III

La investigación de campo ha permitido obtener el valor referencial del costo de construcción del alimentador de media tensión a 13.8 kV. De tal forma que se puede conocer incluso los costos unitarios que va a demandar este tipo de proyecto, además, se agrega el valor anual que se está cancelando por el consumo de energía eléctrica, lo cual permite hacer un análisis más real del costo beneficio.

Mediante la gestión a través del representante del Grupo Arteche en Ecuador, se pudo obtener una cotización del transformador de tensión con devanado para alimentación de servicios auxiliares, considerando además que, para cumplir con los requerimientos de la subestación del caso de estudio, se requieren tres equipos de similares características, para abarcar la demanda de diseño de servicios auxiliares de 225 kVA.

Se realiza la comparación entre los costos operativos de los dos escenarios con los cuales se puede suministrar energía eléctrica a los servicios auxiliares de una subestación, enfatizando que, la vida útil de un transformador por normativa de construcción debe ser de mínimo 20 años.

CONCLUSIONES GENERALES

En respuesta a la pregunta de hipótesis que dice, “La instalación de un TP con devanado para alimentación de servicios auxiliares en reemplazo de un alimentador convencional de media tensión ¿es viable para subestaciones de seccionamiento?”; se puede deducir que, si es viable, en la parte técnica demanda menos recursos en comparación a un tendido eléctrico de media tensión, incluso, ofrece mayor confiabilidad y continuidad en el servicio de energía.

Desde el punto de vista económico, es viable la instalación cuando se hace una proyección de la inversión a 10 años, teniendo en cuenta que según normativa de construcción según la interpretación de la norma IEEE Std C57,91-1995, para el aislamiento térmicamente mejorado a 65 °C de referencia, la vida útil de un transformador debe ser mínimo de 20 años, pudiendo extenderse con un mantenimiento adecuado del equipo.

Al revisar el estado del arte para transformadores de tensión con devanado para alimentación de servicios auxiliares, se pudo encontrar antecedentes que datan de su aplicación en otros países, sin tener mayor estudio de los inconvenientes que estos pueden haber causado en las líneas de alta tensión; a nivel de Ecuador, no se ha hallado antecedentes que indiquen sobre su implementación en subestaciones.

Los requerimientos técnicos para alimentar los servicios auxiliares de una subestación de seccionamiento están gobernados principalmente por el valor del diseño de la demanda, para este caso de estudio, la demanda entre cargas inductivas y resistivas es de 225.9 kVA con un sistema trifásico, de tal forma que, se requieren de tres equipos SSVT modelo UTP 138 kV, 100 kVA, cada uno conectado a la línea de alta tensión, para poder suministrar esa cantidad de potencia en un sistema trifásico.

El análisis económico entre los costos de implementación de una red de media tensión y equipos SSVT, dan como resultado la viabilidad económica, enfatizando que se recomienda para el pre diseño de subestaciones de seccionamiento, ya que no es rentable aplicarlo como reemplazo de la red de media tensión que ya está implementada.

RECOMENDACIONES GENERALES

Se recomienda ampliar la investigación con el modelamiento de la subestación del caso de estudio y la simulación del comportamiento del transformador de tensión con devanado para alimentación de servicios auxiliares.

La investigación se enfoca en comparar las características del equipo SSVT con el alimentador a media tensión disponible actualmente para suministrar energía a los servicios auxiliares, se recomienda ampliar la investigación para determinar si las características del SSVT suplen a los requerimientos del TP instalado, esto en comparación de nivel de aislamiento, clase de precisión, entre otros.

La proyección económica del equipo determina la facilidad para su instalación, en relación a esta conclusión, se recomienda establecer un detalle de la normativa de construcción de estos equipos SSVT, para determinar la calidad de funcionamiento en relación al cumplimiento de estándares de calidad, referente a subestaciones eléctricas.

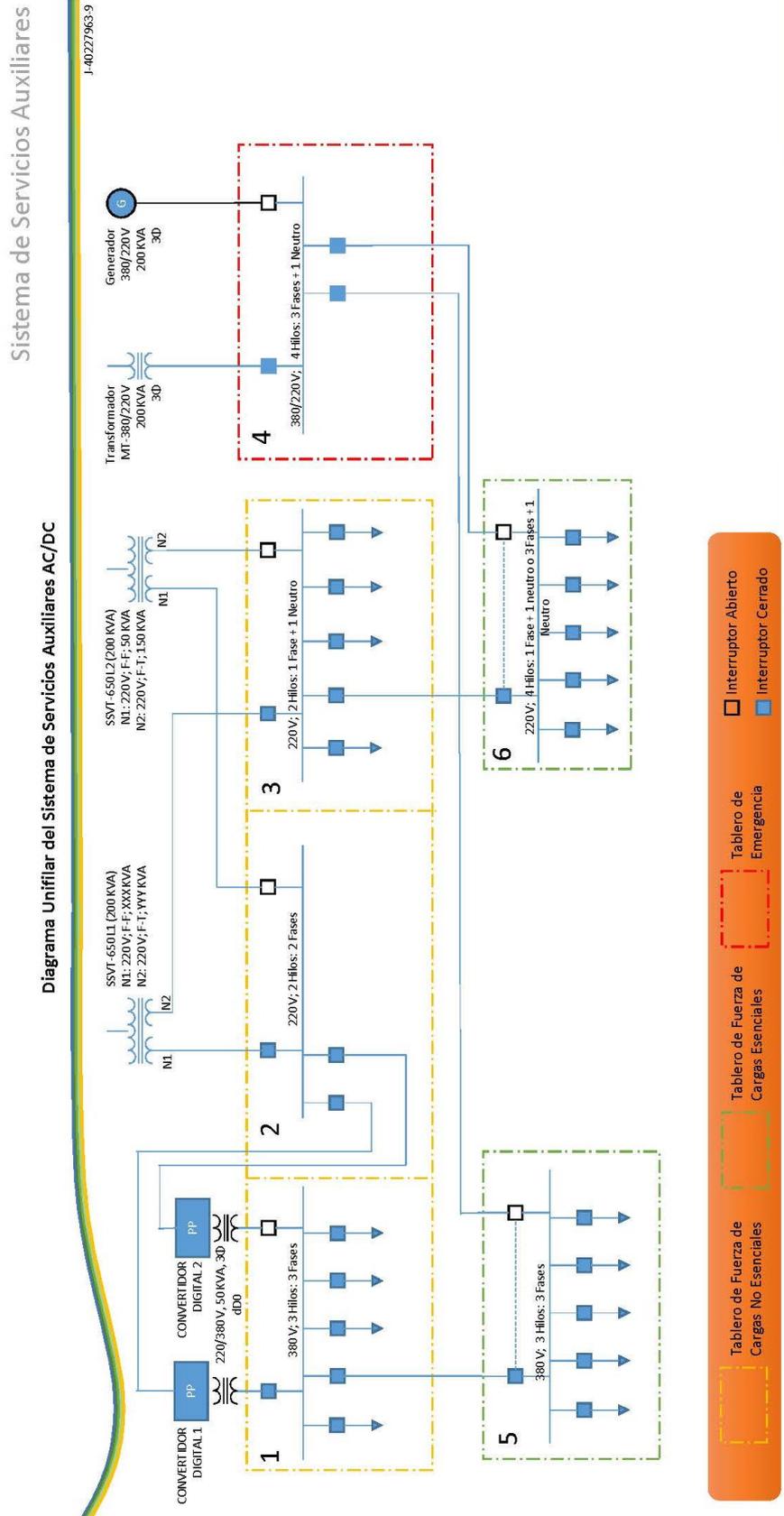
BIBLIOGRAFÍA

- [1] Artech, «Transformadores de tensión para servicios auxiliares,» Artech, Vizcaya, 2018.
- [2] CDA_Ingenieros, «CDA Ingenieros del Perú,» CDA_Ingenieros, [En línea]. Available: <https://www.cdaingenieros.com/contacto/>. [Último acceso: 06 Abril 2021].
- [3] E. Harper, Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión, México DF: Limusa S.A., 2005.
- [4] C. F. Ramírez, Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Colombia: Mejía Villegas S.A., 2003.
- [5] E. Ras, Transformadores, de potencia, medida y de protección, Barcelona: Marcombo, 1991.
- [6] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, «Análisis de Confiabilidad en Subestaciones Eléctricas Tipo Maniobra Implementando el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia,» *Revista Ingeniería*, vol. 22, n° 1, p. 18, 2016.
- [7] ARCONEL, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, 2015.
- [8] W. Henao, «Transformadores de servicios auxiliares Microsubestaciones, renovables, Electrificación rural, servicios auxiliares,» ABB, Santiago de Chile, 2019.
- [9] Artech, «Transformadores de tensión inductivos Serie UT,» Grupo Artech, Madrid, 2022.
- [10] A. Lijeron Richter, «Transformadores de Corriente TC,» INTECAP, Soyapango, 2011.
- [11] Artech, «Transformadores de intensidad Serie CA,» Grupo Artech, Madrid, 2022.
- [12] N. J. Estrada Cardona y O. Gómez Carmona, «Coordinación de relés de sobrecorriente usando programación lineal,» *Revista Energía y Computación*, vol. 15, n° 1, pp. 29-36, 2007.
- [13] P. Mathew, «Transformadores de tensión de servicio para necesidades de poca potencia,» *ABB Review*, vol. 3, n° 18, pp. 1-16, 2019.
- [14] CELEC EP, Manual de Operacion S/E La Concordia, La Concordia: CELEC EP,

2020.

- [15] J. T. Montecelos, *Subestaciones eléctricas Energía y Agua*, Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A., 2015.
- [16] J. R. Martín, *Diseño de Subestaciones Eléctricas*, México DF: UNAM, 2000.
- [17] C. J. Zapata, «VALORACIÓN DE CONFIABILIDAD DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS UTILIZANDO,» *Scientia et Technica*, vol. XII, n° 32, pp. 67-72, 2006.
- [18] B. L. Saray, «DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION Y CONTROL DE SUBESTACIONES ELECTRICAS,» Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2011.
- [19] D. Viteri Toquica, C. Garzón Bustos y A. Narvárez Cubillos, «Análisis de Confiabilidad en Subestaciones Eléctricas Tipo Maniobra Implementando el Transformador de Tensión con Núcleo de Potencia,» *Revista Ingeniería*, vol. 22, n° 1, pp. 65 - 82, 2016.
- [20] M. A. PÉREZ CASTILLO, «COMPARACIÓN TÉCNICOECONÓMICA PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL ENTRE LA UTILIZACIÓN DE TRANSFORMADOR DE TENSIÓN DE 230/13,8 KV PARA SERVICIOS AUXILIARES Y DISEÑO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN EN ALDEA TRAPICHITOS, SACAPULAS, QUICHÉ,» UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Ciudad Universitaria Zona 12, 2019.
- [21] CNEL EP, «PRINCIPALES INDICADORES,» 12 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.cnelep.gob.ec/servicio-indicadores-gestion-pec-comercial-energia/>. [Último acceso: 12 SEPTIEMBRE 2022].

B. DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES AC/DC



C. PROFORMA DEL TRANSFORMADOR DE TENSIÓN CON DEVANADO PARA SERVICIOS AUXILIARES



Solicitante	Luis Sarabia
RUC	0502889425
Fecha	26/5/2021

ORDEN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P/Unitario	P/Total
1º	3	TRANSFORMADORES DE TENSIÓN SERVICIOS AUXILIARES Serie UTP, modelo UTP-145	\$ 57.750,00	\$ 173.250,00

TIEMPO DE ENTREGA
Una vez aceptada la propuesta, y firmado el contrato, el despacho del equipo se hace en 140 días.

SUBTOTAL	\$ 173.250,00
12 % IVA	\$ 20.790,00
TOTAL	\$ 194.040,00

FORMA DE PAGO
60% para iniciar la orden, 40% contraentrega del equipo

D. PLANILLA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL ALIMENTADOR PRIMARIO ACTUAL



Matriz: Km. 6 1/2 Vía a la Costa,
Edificio GRACE Cetbos, piso 3
Guayaquil - Ecuador
Tel: (04) 3727 319

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad **CNEL EP** • SUICURSAL: Av. Tschilla SN y Clemencia de Mora Telf: 02275004 - Santo Domingo - Ecuador
RUC: 09885920001 / CONTRIBUYENTE ESPECIAL / RESOLUCIÓN N° 69 del 17-Marzo-2009

1

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

Factura No. 043-029-008999848
No Autorización 300420210109865890200012043029008998481178497415
Ambiente PRODUCCION
Emisión NORMAL
Fecha de autorización 2015/ENE/06
Fecha de Emisión: 2021/ABR/30



No. de Control: 1784974
Valor a pagar: 934,05

Fecha de Vencimiento: 2021/MAY/17

SUMINISTRO: 1784974 **CELEC EP**

Código Único Eléctrico Nacional: 1701784974 **Cédula / R.U.C.:** 1768152800001

Dirección servicio: 23-01-59-930-10331 **Tarifa:** OH ENTOF. DMDA. HORARIA

Provincia - Cantón - Parroquia: SANTO DOMINGO TSACHI - LA CONCORDIA - PLAN PILOTO

Dirección notificación:

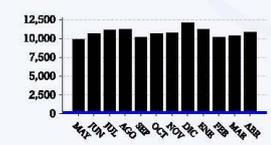
1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 15028850 **Desde:** 27-Mar-21 **Hasta:** 27-Abr-21 **Días Facturados:** 31 **Tipo Consumo:** null

Factor de multiplicación: 1.020 **Factor Corrección:** 0.909 **Factor Potencia:** 0.966 **Constante:** 0.00

Descripción	LECTURAS		Consumo	Unid.	Valores
	Actual	Anterior			
Eng. Activa	0.00	0.00	10810	kWh	714.75
Activa 07h-18h	72182.00	67701.00	4550	kWh	0.00
Activa 18h-22h	32595.00	30767.00	1864	kWh	0.00
Activa 22h-07h	76088.00	71778.00	4386	kWh	0.00
E. Reactiva	42322.00	39485.00	2893	kWh	0.00
Demanda 18h - 22h (L-V)	22.00	0.00	22	kWh	0.00
D. Max. Pico	20.00	0.00	20	kWh	0.00

Consumos



1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

CARGO POR COMERCIALIZACION	1.41
CARGO POR DEMANDA	91.52
CARGO POR ENERGIA	714.75
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	807.68
SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO	55.97
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	55.97

1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

INTERES SERVICIO DE ALUMBRADO	0.04
INTERES CARGO POR DEMANDA	0.07
INTERES VENTA DE ENERGIA	0.47
SUBTOTAL OTROS:	0.58
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO, SERVICIO ALUMBRADO PÚBLICO Y OTROS (1):	864.23

2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
Planillas anteriores	0.00
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0.00

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

Cocción y calentamiento	0.00
Tarifa de dignidad	0.00
Total	0.00



TOTAL

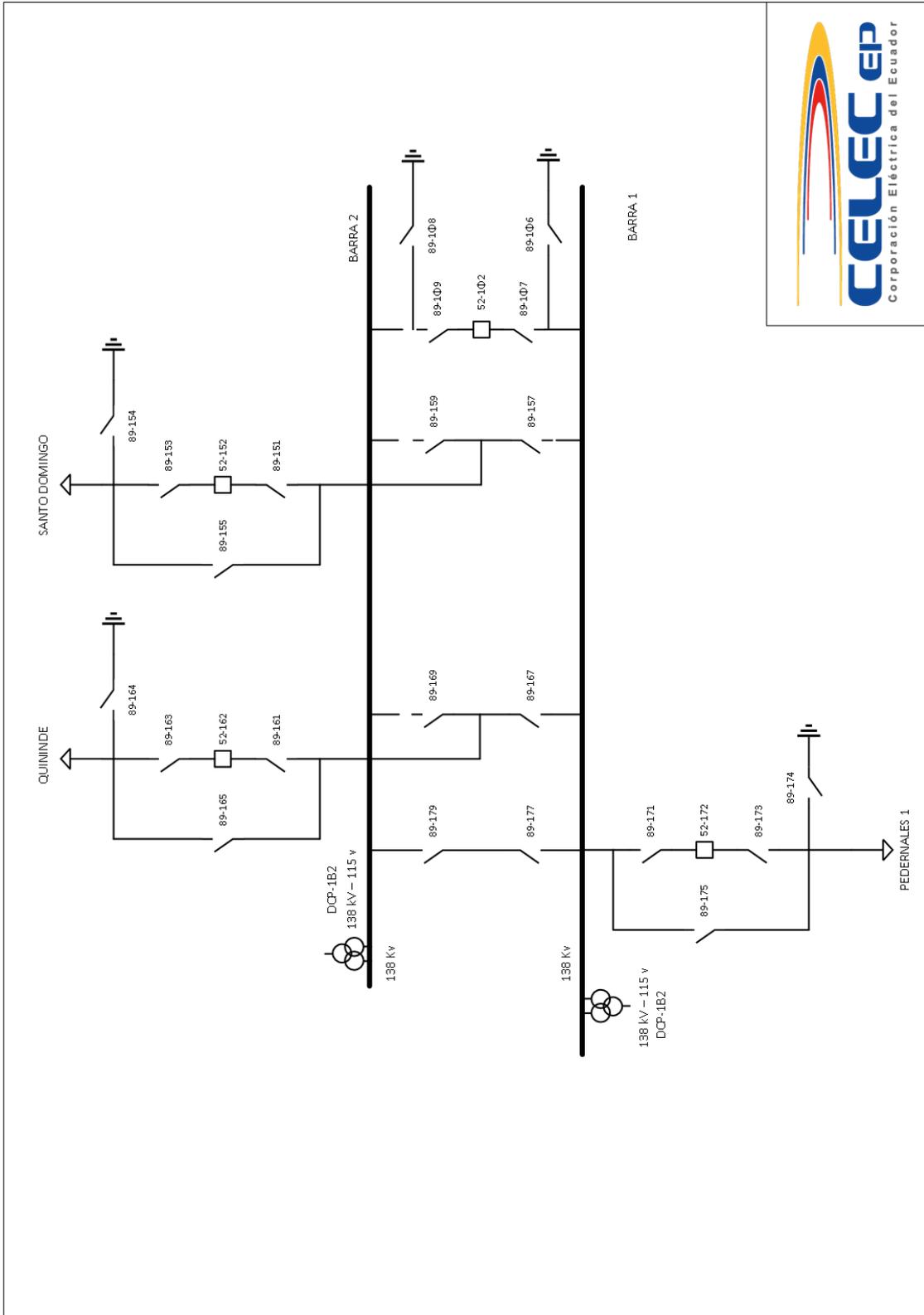
Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	864.23
Valores Pendientes (2)	0.00
Recaudación Terceros SE (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A) (1+2+3)	864.23

La presente factura no constituye título traslativo de dominio, sino solamente la constancia de recibir un servicio público.

Clave acceso



E. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN DE SECCIONAMIENTO LA CONCORDIA



F. TRANSFORMADOR TRIFÁSICO TIPO PAD MOUNTED, S/E LA CONCORDIA



TRANSFORMADOR TRIFÁSICO PADMOUNTED

SERIE: **1409242019**

ESP.: **T-225-M032C**

KVA: **225**

NORMA: **IEEE C.57.12**

CLASE: **ONAN**

OPERACION m.s.n.m: **3000**

ACEITE: **MINERAL**

CALENTAMIENTO °C: **65**
Incremento de Temperatura

NUMERO DE FASES: **3**

FRECUENCIA Hz: **60**

NIVEL AISL. PRIM/SEC KV: **110/30**

GRUPO CONEXION: **Dyn5**

IMPEDANCIA(65°C) %: **3,1**

PESO TOTAL kg: **1200**

PESO ACEITE kg: **540**

PESO A DESENT. kg: **650**

VOLUMEN ACEITE L: **600**

MES/AÑO: **05 / 19**

MATERIAL AT/ST: **Cu / Cu**

PRIMARIO		
POSICION	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)
1	14490	
2	14145	
3	13800	9,41
4	13455	
5	13110	

NOTA: El cambio del TAP deberá realizarse desconectando el transformador

aDyn5

FIG. Plancha 03p-03-04a
LDCP: Laminador de diez posiciones

SECUNDARIO		
LÍNEA VSC	V	I
XXXX	220 y/ 127	590,5

SELLO DE CALIDAD IEC
NITE IEC 6034

FABRICADO EN ECUADOR
ECLATRAM S.A.

www.eclatram.com post@eclatram.com

G. ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA PARA SERVICIOS AUXILIARES.

 ESTUDIO DE CARGA Y DEMANDA					FECHA: 20-nov.-17			
NOMBRE DEL PROYECTO:		Derivación trifásica en MV e instalación de transformador PAD MOUNTED de 225 KVA, para subestación La Concordia Industrial						
ACTIVIDAD TIPO:		Via Santo Domingo - La Concordia, Km 35, margen izquierdo entrando por los predios de la compañía PALFRICASA S.A. antes del INIAP						
LOCALIZACION:		Entidad Oficial						
USUARIO TIPO:		1						
NUMERO DE USUARIOS:		1						
PLANILLA PARA LA DETERMINACIÓN DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO								
No.	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO				FFUN (%)	CIR (W)	Fsn (%)	DMU (W)
	DESCRIPCION	CANT.	Pn(W)	Pt(W)				
CARGAS RESISTIVAS								
Sala de Control TGD1-Q1								
1	Tomacorriente doble polarizado con polo a tierra 120VAC - 20A	62	2000	124000	100%	124,000.00	20%	24800.0
2	Tomacorriente de 2 fases y neutro, 30A	31	6000	186000	100%	186,000.00	20%	37200.0
Sala de Control TGD1-Q2								
1	Luminaria incandescente tipo tortuga hermética (circular) para intemperie de 60W, 120 VAC	20	60	1200	100%	1,200.00	100%	1200.0
2	Luminaria incandescente tipo ojo de buey 1X20 W - 120 VAC	20	20	400	100%	400.00	100%	400.0
Cuarto de Baterías TGD1-Q3								
1	Tomacorriente doble polarizado a prueba de gases, con polo a tierra 120VAC - 20A	6	2000	12000	100%	12,000.00	20%	2400.0
2	Luminaria antiexplosión, tipo cónico, 150W, 120 VAC	6	150	900	100%	900.00	100%	900.0
Patios Subestación TGD1-Q4								
1	Tomacorriente especial con polo a tierra 208VAC - 50A	15	15000	225000	100%	225,000.00	20%	45000.0
Caseta de Generador TGD1-Q5								
1	Luminaria incandescente tipo tortuga hermética (circular) para intemperie de 60W, 120VAC	5	60	300	100%	300.00	100%	300.0
2	Luminaria incandescente tipo ojo de buey 1X20 W - 120 VAC	4	20	80	100%	80.00	100%	80.0
Total				549880.0		549880.0		112280.0
Factor de potencia (FP):			0.92	Factor de demanda (FDM):			0.2	
DD1			122.0 KVA	Factor de diversidad (FD):			1.00	

No.	APARATOS ELÉCTRICOS Y DE ALUMBRADO				FFUN (%)	CIR (W)	Fsn (%)	DMU (W)
	DESCRIPCION	CANT.	Pn(W)	Pt(W)				
CARGAS INDUCTIVAS								
Sala de Control TGD1-Q2								
1	Luminaria fluorescente 3x32W, 120VAC	78	32	2496	100%	2,496.00	90%	2246.4
2	Luminaria fluorescente blindada para intemperie de 2x32W, 120VAC	14	32	448	100%	448.00	60%	268.8
Sala de Control TGD1-Q6								
1	Sistema centralizado de aire acondicionado de 70000BTU	2	20500	41000	100%	41,000.00	70%	28700.0
Sala de Control TGD1-Q7								
1	Bomba para pozo de agua	1	37300	37300	100%	37,300.00	10%	3730.0
Sala de Control TGD1-Q1								
1	Refrigeradora	1	375	375	100%	375.00	50%	187.5
Cuarto de Baterías TGD1-Q3								
1	Extractor de aire de 16" con motor de 1/4 HP, 6350 RPM, 180 CFM, y tomacorriente doble polarizado 120 VAC -15A	1	1500	1500	100%	1,500.00	40%	600.0
Oficinas camper TGD1-Q8								
1	Camper con dos acondicionadores de aire tipo split de 18000 BTU	1	20000	20000	100%	20,000.00	50%	10000.0
Patios Subestación TGD1-Q9								
1	Luminaria de alta presión de sodio dc 250W, 208V	15	250	3750	100%	3,750.00	60%	2250.0
2	Proyectores de alta presión de sodio de 400W, 208V	11	400	4400	100%	4,400.00	30%	1320.0
Patios Subestación TGD1-Q10								
1	Sistema centralizado de aire acondicionado de 48000BTU para casetas de tableros	4	14060	56240	100%	56,240.00	30%	16872.0
Guardiania TGD1-Q11								
1	Sistema centralizado de aire acondicionado de 18000BTU para Guardiania	6	5270	31620	100%	31,620.00	70%	22134.0
Total				199129.0		199129.0		88308.7
Factor de potencia (FP) :		0.85		Factor de demanda (FDM):		0.4		
Cargas especiales:		103.9 KVA		Factor de diversidad (FD):		1.00		
DD2				103.9 KVA				
DDT				225.9 KVA				
				 ING. MANUEL ROMERO-M Reg. 011-P-2017 CELEC EP - TRANSELECTRIC Santo Domingo - nov-2017				

H. DERIVACIÓN TRIFÁSICA EN MV A 13.8 KV E INSTALACIÓN DE TRANSFORMADOR PAD MOUNTED DE 225 KVA, PARA SUBESTACIÓN LA CONCORDIA.