



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS  
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA GIS Y CONVENCIONALES DE 69 KV  
Y SU IMPACTO EN EL MONTO DEL PEAJE EN LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA**

**Luis Fernando Bocanegra Hernández**

Asesorado por el MBA. Ing. Luis Manuel Pérez Archila

Guatemala, marzo de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS  
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA GIS Y CONVENCIONALES DE 69 KV  
Y SU IMPACTO EN EL MONTO DEL PEAJE EN LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS FERNANDO BOCANEGRA HERNÁNDEZ**  
ASESORADO POR EL MBA. ING. LUIS MANUEL PÉREZ ARCHILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López.



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS  
SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA GIS Y CONVENCIONALES DE 69 KV  
Y SU IMPACTO EN EL MONTO DEL PEAJE EN LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 30 de octubre de 2021.

**Luis Fernando Bocanegra Hernández**







**EEPFI-PP-0081-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA GIS Y CONVENCIONALES DE 69 KV Y SU IMPACTO EN EL MONTO DEL PEAJE EN LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Proyectos de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica en un mercado eléctrico regulado. - Regulación a nivel nacional**, presentado por el estudiante **Luis Fernando Bocanegra Hernandez** carné número **201213449**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion De Mercados Electricos Regulados.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

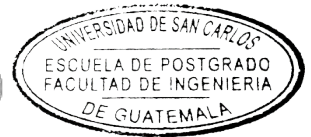
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Luis Manuel Pérez Archila  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 11,492

Mtro. Luis Manuel Pérez Archila  
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería







EEP-EIME-0081-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA GIS Y CONVENCIONALES DE 69 KV Y SU IMPACTO EN EL MONTO DEL PEAJE EN LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Fernando Bocanegra Hernandez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica



Guatemala, enero de 2022



LNG.DECANATO.OI.193.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS CON TECNOLOGÍA GIS Y CONVENCIONALES DE 69 KV Y SU IMPACTO EN EL MONTO DEL PEAJE EN LA REGIÓN CENTRAL DE GUATEMALA**, presentado por: **Luis Fernando Bocanegra Hernández**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Escobar  
Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme permitido concluir una más de mis metas.
<b>Mi papá</b>	Fernando Bocanegra, por brindarme siempre su apoyo en todos los aspectos y nunca dejar que me rinda por más dura que sea la situación.
<b>Mi familia</b>	Carmen Noriega, Sabrina Bocanegra, Inga y Krystha Cano, por acompañarme en mi trayectoria académica y durante mi vida.
<b>Mis abuelos</b>	Delfina Conde, por siempre estar al tanto en el avance de mis estudios y siempre aconsejándome que los concluya.
<b>Amigos</b>	Cristian Méndez, Luis Chinchilla y Gerber Méndez por acompañarme y brindarme su apoyo y amistad durante la carrera.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por permitir que todas las clases sociales puedan estudiar una carrera universitaria.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haber creado la carrera y proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
<b>Compañeros de estudio</b>	Por brindarme su apoyo más de alguna vez a lo largo de la carrera.
<b>Mis excompañeros de trabajo de tarifas</b>	Por brindarme su amistad y conocimientos a lo largo del tiempo que trabajé en la Gerencia de Tarifas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Luis Manuel Pérez Archila, por brindarme su amistad y conocimientos para guiarme durante el trabajo de graduación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3.1. Contexto general .....	9
3.2. Descripción del problema.....	9
3.3. Formulación del problema.....	10
3.4. Delimitación del problema .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Estructura del subsector eléctrico en Guatemala.....	19

7.1.	Estructura del subsector eléctrico en Guatemala .....	19
7.1.1.	Ministerio de Energía y Minas (MEM) .....	19
7.1.2.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)....	19
7.1.3.	Administrador del Mercado Mayorista (AMM) .....	20
7.1.4.	Transportistas.....	20
7.2.	Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala .....	22
7.3.	Sistema de transmisión .....	25
7.4.	Ejecución de obras por iniciativa propia .....	26
7.5.	Peaje.....	27
7.6.	Subestaciones eléctricas.....	30
7.6.1.	Simple barra .....	31
7.6.2.	Doble barra.....	32
7.6.3.	Interruptor y Medio .....	33
7.6.4.	Subestaciones GIS.....	34
7.6.4.1.	Bujes de conexión .....	38
7.6.4.2.	Seccionador.....	39
7.6.4.3.	Descargador de tensión.....	40
7.6.4.4.	Transformador de Potencial TP .....	41
7.6.4.5.	Transformador de Corriente TC .....	43
7.6.4.6.	Interruptor de potencia.....	44
7.6.4.7.	Envolvente.....	45
7.7.	Tarifas de energía eléctrica .....	46
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	47
9.	METODOLOGÍA.....	51
9.1.	Características del estudio .....	51
9.2.	Unidad de análisis .....	51
9.3.	Variables .....	52

9.4.	Descripción de las fases del estudio .....	53
9.4.1.	Fase 1: Recolección y revisión de información documental .....	53
9.4.2.	Fase 2: Análisis de la información recolectada en el trabajo de campo .....	55
9.4.3.	Fase 3: Análisis e interpretación de la metodología del cálculo de peajes .....	56
9.4.4.	Fase 4: Análisis del impacto a la tarifa de energía eléctrica .....	57
9.5.	Resultados esperados .....	58
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	61
11.	CRONOGRAMA.....	63
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	65
13.	REFERENCIAS.....	67
14.	APÉNDICES .....	73



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	18
2.	Estructura del subsector eléctrico .....	22
3.	Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala .....	25
4.	Información necesaria para el cálculo de peajes.....	28
5.	Cálculo del Valor Nuevo de Reemplazo (VNR) .....	29
6.	Cálculo del peaje.....	30
7.	Configuración simple barra .....	32
8.	Configuración doble barra .....	33
9.	Interruptor y medio .....	34
10.	Subestación GIS antigua.....	35
11.	Reducción del tamaño de subestaciones GIS conforme los años .....	36
12.	Comparativa del tamaño de subestaciones GIS conforme el avance de los años.....	36
13.	Equipos de una subestación GIS .....	37
14.	Bujes de conexión de subestaciones GIS .....	38
15.	Diseño y posiciones de un seccionador GIS .....	40
16.	Diseño módulo típico de un descargador de tensión GIS.....	41
17.	Transformador de potencial GIS .....	42
18.	Transformador de corriente GIS.....	43
19.	Interruptor de potencia GIS .....	44
20.	Constitución típica de subestaciones GIS .....	45
21.	Integración de los costos en la tarifa social .....	46

## TABLAS

I.	Transportistas habilitados por el AMM. ....	21
II.	Normas técnicas emitidas por la CNEE. ....	23
III.	Normas de coordinación comercial del AMM. ....	24
IV.	Normas de coordinación operativa del AMM. ....	24
V.	Resoluciones de fijación de peaje para el período 2021 - 2022. ....	27
VI.	Variables de la investigación. ....	52
VII.	Definición de las variables de investigación ....	53
VIII.	Datos de subestaciones GIS ....	57
IX.	Variabilidad del peaje del sistema de transmisión analizado. ....	57
X.	Variabilidad de las tarifas de energía eléctrica ....	58
XI.	Resumen de resultados esperados ....	59
XII.	Cronograma de actividades ....	63
XIII.	Recursos necesarios para la investigación ....	65



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>\$</b>	Dólar estadounidense
<b>h</b>	Horas
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>MW</b>	Megavatio
<b>MWh</b>	Megavatio hora
<b>m</b>	Metro
<b>m.s.n.m.</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Potencia
<b>Q</b>	Quetzales
<b>W</b>	Vatio



## GLOSARIO

<b>AIS Air</b>	<i>Insulated Switchgear.</i>
<b>AMM</b>	Administrador del mercado mayorista.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>EJTE</b>	Estudio de justificación técnico-económica.
<b>GIS</b>	<i>Gas Insulated Switchgear.</i>
<b>GPV</b>	Gerencia de Planificación y Vigilancia de mercados eléctricos.
<b>GT</b>	Gerencia de Tarifas.
<b>LGE</b>	Ley General de Electricidad.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>Peaje</b>	Es la remuneración percibida por los transportistas por permitir el uso de sus instalaciones.
<b>PET</b>	Plan de Expansión del Sistema de Transporte.

<b>Sistema principal</b>	Es el sistema de transmisión compartido por los generadores.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>STEE</b>	Servicio de Transporte de Energía Eléctrica.
<b>TC</b>	Transformador de Corriente.
<b>TP</b>	Transformador de Potencial.
<b>UIP</b>	Unidad de Información Pública.
<b>UPE</b>	Unidad de Propiedad Estándar.
<b>VAD</b>	Valor Agregado de Distribución.

## RESUMEN

En el 2018 se puso a operar la primera subestación eléctrica de 69 kV con tecnología GIS en Guatemala, cuya inversión necesaria para su construcción es mayor que el de las subestaciones con tecnología convencional. En la resolución CNEE-112-2020 se fijaron los peajes de las primeras subestaciones GIS de 69 kV, en este tipo resoluciones sólo se establecen los montos de peajes para las instalaciones de transmisión y no se indican los criterios técnicos y regulatorios en los cuales se basaron para la aprobación de construcción y de fijación de peajes. Así mismo, no existe un análisis de los impactos económico al peaje del sistema de transmisión asignado y al de la tarifa de energía eléctrica del usuario de distribución por la fijación de los mismos.

Por tal motivo, el diseño de investigación tendrá como objetivo analizar y comparar los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas con tecnología GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala, esto mediante un análisis comparativo técnico-económico de las subestaciones GIS con su símil en tecnología AIS, así también se realizará un análisis de la metodología de cálculo para la fijación de peajes utilizado por el ente regulador del país para ambos tipos de tecnología.

Se espera un informe claro y conciso sobre las características técnicas de las subestaciones GIS utilizadas en Guatemala, así como sus ventajas y desventajas económicas que conllevan la utilización de las mismas para el sistema de transmisión involucrado y para la tarifa de energía eléctrica del usuario de distribución final, también se espera que los análisis respectivos ayuden al

lector a comprender la metodología utilizada en el cálculo de peajes de las instalaciones de transmisión en el país.

# 1. INTRODUCCIÓN

La transmisión de energía eléctrica es una de las áreas en que se divide el subsector eléctrico en Guatemala y está conformada de varias empresas que prestan el servicio de transporte de energía eléctrica mediante el uso de sus subestaciones y líneas de transmisión, dichas empresas se le conocen como transportistas y por la prestación del servicio se les remunera mediante el denominado peaje de transmisión, el cual es establecido por el ente regulador nacional.

Las subestaciones eléctricas se dividen en distintos tipos de categorías, una de estas es por la tecnología que utiliza en su aislamiento, en las cuales tenemos las subestaciones AIS (*Air Insulated Switchgear*) y las subestaciones GIS (*Gas Insulated Switchgear*).

A partir del 2018 en Guatemala se instalaron las primeras subestaciones GIS de 69 kV. Para la implementación de subestaciones con este tipo de tecnología, el transportista propietario debe realizar una inversión mayor en comparación a la necesaria para la construcción de subestaciones convencionales, como resultado de esto, el transportista espera una mayor remuneración de las mismas, pero, ¿En qué proporción son remuneradas las subestaciones GIS respecto las convencionales?, y ¿Cómo afecta a la tarifa de energía eléctrica del usuario de distribución final la escogencia entre estos tipos tecnologías?

Derivado que son las primeras subestaciones construidas con este tipo de tecnología en el país, no se cuenta con un análisis previo en el cual se comparen

las características técnicas y económicas de dichas subestaciones respecto a su símil en tecnología convencional, los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y a la tarifa de energía eléctrica del usuario de distribución final por la implementación de las mismas.

Por tal motivo, se propone el presente diseño de investigación con la finalidad de establecer los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala.

En el presente diseño de investigación se analizará la información técnica y económica de las subestaciones eléctricas GIS instaladas en Guatemala, se buscará su símil en subestaciones con tecnología convencional con la finalidad de realizar los análisis comparativos tales como: inversión necesaria para su construcción, peajes de transmisión, impacto en el monto del peaje del sistema de transmisión involucrado e impacto en la tarifa de energía eléctrica del usuario de distribución final.

Para realizar lo anteriormente mencionado, será necesario el estudio a profundidad de la metodología de cálculo de peajes utilizado en el país, dicho estudio se presentará en el diseño de investigación para que el lector comprenda la metodología utilizada y tenga una mayor claridad de los criterios técnicos utilizados para la fijación de peajes.

El informe desarrollara un marco teórico el cual su enfoque abordara los fundamentos de la estructura y composición del marco legal, y los aspectos regulatorios del subsector eléctrico guatemalteco. Así mismo, se desarrollarán



los diferentes tipos de subestaciones eléctricas por tipo de tecnología y sus características técnicas.



## **2. ANTECEDENTES**

Como lo indica Siguí (2018), los planes de expansión del sistema de transporte, los cuales son realizados y publicados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), no son definitivos ni obligatoria la ejecución de los mismos y los mismos pueden ser modificados. Se consideró que pudieran existir posibles modificaciones adicionales al Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2012 – 2021 con la finalidad de mejorar la operación del SIN. Por tal motivo la CNEE, publicó la Resolución CNEE-197-2013, en la cual se autorizó la realización de las ampliaciones al sistema de transporte, bajo la modalidad de iniciativa propia para el sistema secundario, para ser desarrollados en los años del 2013 al 2019.

En la referida resolución, se autorizó la realización por iniciativa propia de las ampliaciones de las subestaciones Antigua, Ciudad Vieja, El Guarda, Minerva, Monserrat y Tinco, es de indicar que mediante dicha resolución se aprueba las especificaciones técnicas para la ampliación de la subestación eléctrica de 69 kV, Antigua, fue la única autorizada que fuera con tecnología GIS, las restantes resoluciones (CNEE-360-2015, CNEE-31-2016, CNEE-217-2016, CNEE-298-2016) se emitieron para modificar artículos específicos de la resolución antes mencionada.

En Guatemala el servicio de transporte es regulado por la CNEE y según lo investigado por Morales (2015), el peaje es regulado cuando no hay acuerdo entre las partes.

Las ciudades densamente pobladas demandan gran cantidad de energía y para suministrarla se necesitan sistemas en alto voltaje dentro de ellas, por tal motivo es necesario la implementación de subestaciones en terrenos reducidos.

Para Vidal y Hernández (2013) el precio muy elevado de la tierra en este tipo de ciudades dificulta la construcción de subestaciones convencionales por el área que estas ocupan, por tal motivo no se aconseja el uso de este tipo de subestaciones. La ciudad de Guatemala es un claro ejemplo de una ciudad densamente poblada a nivel centroamericano y se espera un crecimiento conforme al avance de los años. Por tal motivo se requerirá mayor energía para suministrar a la población y por ende de una mejor infraestructura de la red eléctrica.

Una de las soluciones que se han desarrollado para resolver la necesidad de implementar subestaciones eléctricas en ciudades densamente pobladas, son las subestaciones GIS (*Gas Insulated Switchgear*). En el estudio hecho por Vidal y Hernández (2013), las subestaciones convencionales y GIS se diferencian en muchas cosas, pero su principal diferencia es el espacio ocupado por ambas tecnologías, cuya ventaja de las subestaciones GIS, es el poco espacio que estas ocupan en comparación a las convencionales, cuyo volumen ocupado de del 3 % y el 8 % menor, así también el área ocupada es entre el 3 % y el 12 % menor. Por tal motivo, si se tiene poco espacio para la construcción de una subestación se recomiendan las subestaciones GIS.

Las subestaciones GIS también se diferencian en que son de diseño modular llenos de gas SF<sub>6</sub>, se pueden aplicar en interiores y exteriores y tienen un costo LCC (*Life Cycle Costing*) bajo, tal como lo indican Phil y Hermann (2006).

Cuando se ejecutan proyectos de subestaciones GIS, se presentan menores tiempos de montaje en terreno, según lo expuesto por Flores (2010). Esto es debido a que las bahías o campos son modulares y se entregan ensambladas y posteriormente deben ser llenadas con gas SF6 en campo, esto disminuye los costos del montaje en comparación a una AIS.

Para Karsten, Philippe y GF (2006), la aplicación de subestaciones GIS puede darse en áreas geográficamente difíciles, contaminación y/o problemas ambientales, apariencia visual, delincuencia, terrorismo y de los materiales, también se pueden aplicar en costas, dado que no se ven muy afectadas por la corrosión derivado del alto nivel de salinidad en las costas.

En la investigación realizada por Phil y Hermann (2005), se indica que las primeras subestaciones GIS se instalaron en 1967 en Suiza y Alemania. La subestación GIS de Alemania aún está en funcionamiento y la de Suiza fue recientemente desmantelada después de 35 años de funcionamiento sin fallas importantes ni fugas de gas. La implementación de este tipo de tecnologías a nivel mundial se ha venido desarrollando durante décadas, en Guatemala se tienen GIS para diferentes tipos de voltajes, 400 kV, 230 kV y 69 kV, estos últimos se implementaron a partir del 2019.

Según en el estudio desarrollado por Ardila y Ardila (2011), al implementar una subestación GIS, se logran importantes mejoras en el sistema eléctrico como el aumento del número de circuitos en menos espacio, la conexión de nuevos equipos, la reducción del mantenimiento, mayor confiabilidad y seguridad.

Tal como lo explica Flores (2010), en términos generales la selección del reemplazo, ampliación o construcción de una subestación eléctrica con tecnología GIS responde a las ventajas de una mejor utilización del espacio

disponible, menor intervención humana debido a menor mantenimiento necesario, flexibilidad en la operación, mayor confiabilidad en comparación con la tecnología AIS. Hoy en día, los sistemas eléctricos en alta tensión en su mayoría de subestaciones están formadas con tecnología AIS, las cuales ocupan grandes superficies, cuyos costos de mantenimiento y operación son mayores.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Contexto general**

En los últimos años en la red de transmisión de 69 kV de la región central de Guatemala, se han ejecutado ampliaciones de subestaciones eléctricas con tecnología GIS (*Gas Insulated Switchgear*) aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Las empresas de transporte de energía eléctrica indican la necesidad de implementar subestaciones GIS derivado de la falta de espacio físico para ejecutar las ampliaciones necesarias con tecnología convencional. Porque no es factible la construcción de dichas ampliaciones con tecnología convencional ya que estas requieren un mayor espacio físico y para adquirir el área adicional necesaria, el costo del valor de la tierra por metro cuadrado en el área urbana de la ciudad es muy elevado.

#### **3.2. Descripción del problema**

El peaje establecido por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica reconoce el valor nuevo de reemplazo a aquellas instalaciones que son económicamente justificadas para prestar el servicio que se requiere. Esto implica que se reconocerá el costo de la inversión realizada por los transportistas para la ejecución de proyectos de transmisión, para la construcción de proyectos GIS, es necesario realizar una inversión mucho mayor que la necesaria para las subestaciones convencionales aisladas en aire (AIS). Derivado de lo anterior, el transportista propietario de las instalaciones de subestaciones GIS percibirá un mayor monto de peaje que el de las subestaciones convencionales.

### 3.3. Formulación del problema

Dentro de esta sección se establecerá la pregunta central y preguntas auxiliares que se buscan responder al finalizar la investigación y las cuales sientan las bases de los objetivos de la misma.

- Pregunta central

¿Cuáles son los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las principales diferencias técnicas de las subestaciones GIS y AIS instaladas en Guatemala que se consideraron para justificar la construcción de subestaciones GIS en la región central?
- ¿Existe una diferenciación en la metodología utilizada por el ente regulador país para la fijación de peajes de las subestaciones GIS respecto a las subestaciones convencionales?
- ¿Cuál es el porcentaje de peaje adicional que perciben los transportistas propietarios de subestaciones GIS respecto de las subestaciones convencionales?



- ¿Cómo afecta al usuario de distribución final la implementación de subestaciones GIS respecto de las subestaciones convencionales?

### **3.4. Delimitación del problema**

Los datos que se recolectan de las subestaciones GIS para el análisis respectivo, la información utilizada para el cálculo del peaje vigente del período 2021-2022. Asimismo, las subestaciones eléctricas a analizar tendrán las siguientes características:

- Subestaciones con tecnología GIS y AIS
- Nivel de voltaje de sesenta y nueve mil voltios (69 kV)
- Infraestructura básica
  - Configuración en simple barra
  - Campos de conexión de línea
  - Campos de conexión de transformador
  - Acoplamientos
- Se encuentran ubicadas geográficamente en la región central de Guatemala.
- Que su monto de peaje impacte de manera directa al peaje del Sistema Secundario de Subtransmisión TRELEC región central.



## 4. JUSTIFICACIÓN

Las líneas de investigación de la Maestría de Gestión de Mercados Eléctricos Regulados son.

- Regulación a nivel nacional (línea principal).
- Estructura dinámica del mercado eléctrico y sus impactos en la economía nacional.

Este tema de investigación se considera dentro de la línea de investigación de Regulación a nivel nacional como línea principal, porque se analizan los peajes y tarifas de energía eléctrica, los cuales son regulados por el ente regulador nacional.

Así mismo, se considera dentro de la línea de investigación de estructura dinámica del mercado eléctrico y sus impactos en la economía como línea secundaria, por dos motivos: la primera la asignación de peajes no es estática en el tiempo, estos van cambiando cada año, ya sea por fijación, ajuste o por nuevos proyectos; segundo porque la fijación de peaje impacta de manera directa a la tarifa de energía eléctrica de los usuarios de distribución final y por ende a la economía de los guatemaltecos.

Es importante realizar el estudio porque no se cuenta una investigación abierta a la población en la cual se analicen los aspectos técnicos, económicos y regulatorios del porqué de la implementación de la tecnología GIS en el sistema eléctrico de potencia, conociendo las ventajas y desventajas que conlleva al

sistema de transporte, a los transportistas dueños de las instalaciones y a la población en general.

El estudio se orientará para que sea beneficioso para las personas que necesiten abordar los temas antes mencionados, especialmente en temas acerca de subestaciones GIS y el cálculo para la fijación de peajes de instalaciones de transmisión en Guatemala.

Se espera que los resultados del estudio demuestran los impactos económicos al monto del peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica del usuario de distribución final, evidenciando las razones técnicas y económicas que demuestren la justificación de la aprobación, construcción y fijación de peajes de las subestaciones GIS en Guatemala.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Analizar y comparar los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala.

### **5.2. Específicos**

- Analizar las principales diferencias técnicas de las subestaciones GIS y AIS instaladas en Guatemala que se consideraron para justificar la construcción de subestaciones GIS en la región central.
- Comparar la metodología utilizada para el cálculo y fijación de peajes de las subestaciones GIS y convencionales.
- Ejecutar un análisis comparativo de los peajes fijados a las subestaciones GIS respecto a las subestaciones convencionales y su impacto en el monto del peaje del Sistema en la región central de Guatemala.
- Determinar el impacto en las tarifas de energía eléctrica del usuario de distribución final por la implementación de subestaciones GIS en comparación de las subestaciones convencionales.



## 6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrenta un estudiante o profesional que necesite abordar temas regulatorios relacionados con la transmisión, específicamente un ámbito tan importante como el ingreso económico para los transportistas, es la poca información y explicación de cómo se realiza el cálculo de peajes. Por tal motivo, se considera fundamental un documento que ayude al lector a entender a gran medida todo el procedimiento que se realiza para el cálculo de los mismos.

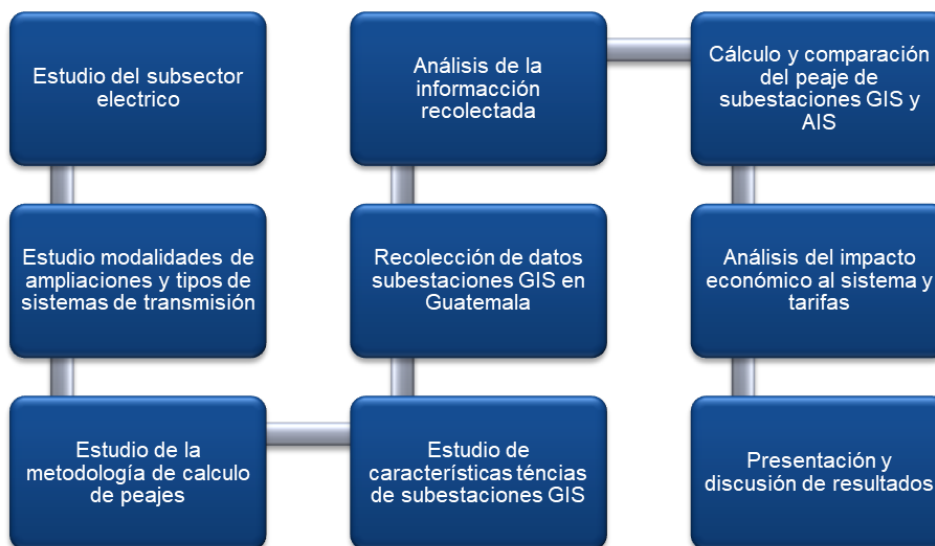
Con esto tendrán un mayor aporte a las empresas en que laboren si necesitaran explicar el cálculo de peajes, las variaciones del mismo, la asignación a los sistemas de transmisión o subtransmisión existentes o la creación de nuevos sistemas.

Así también, dentro del área de transmisión se encuentra la implementación de tecnologías relativamente nuevas en el país, como lo es la implementación de subestaciones eléctricas GIS (*Gas Insulated Switchgear*) en el área central de Guatemala, los profesionales que tienen el conocimiento de cómo funcionan y están conformadas este tipo de subestaciones, se limita únicamente a aquellos profesionales que trabajan en la planificación, aprobación y montaje de las mismas y no así al resto de la población, sin mencionar a los estudiantes que inician en el sector eléctrico. Por tal motivo, es importante abordar de manera explicativa el funcionamiento y cómo conforman las subestaciones GIS que se encuentran en Guatemala.

Se plantea la unión de los temas previamente indicados dentro de un diseño de investigación, en el cual se expliquen de manera detallada los aspectos técnicos de las subestaciones GIS de 69 kV en Guatemala y la metodología utilizada para el cálculo de peajes de las instalaciones de transmisión y su asignación a los sistemas de transmisión y el impacto en tarifas que conlleva la implementación de las mismas.

Dicho estudio abarcará temas puntuales que se ven únicamente por personas que laboran en el subsector eléctrico de Guatemala, específicamente en el ente regulador, por tal motivo es de gran importancia la aprobación del diseño de investigación para que aquellas personas que estén interesadas en dichos temas tengan una herramienta útil para abordar los mismos con el objetivo de desarrollarse académicamente o profesionalmente. Para desarrollar el informe final del diseño de investigación se propone el siguiente esquema de solución.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Estructura del subsector eléctrico en Guatemala**

El subsector eléctrico en Guatemala está conformado por distintas entidades o agentes, por el tema a tratar se mencionarán únicamente los siguientes.

#### **7.1.1. Ministerio de Energía y Minas (MEM)**

Según lo indicado en el artículo 3 de la Ley General de Electricidad, el MEM, es el “órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar la ley y su reglamento”. (CNEE, 2013, p. 4).

#### **7.1.2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)**

Según lo indicado en el artículo 4 de la Ley General de Electricidad, “la CNEE es un órgano técnico del Ministerio con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones” (CNEE, 2013, p. 4).

Según lo indicado también por CNEE (2013) dentro de las funciones principales de CNEE tenemos “cumplir y hacer cumplir la LGE, proteger los derechos de los usuarios y definir las tarifas de distribución y transmisión” (p. 4).

Mediante la emisión de resoluciones la CNEE aprueba proyectos de transmisión y establece la fijación de peajes para las instalaciones de transmisión de los transportistas.

### **7.1.3. Administrador del Mercado Mayorista (AMM)**

El AMM, es un ente privado cuyas funciones principales tenemos: La coordinación de la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo de costo para el conjunto de operaciones del mercado, establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores. (CNEE, 2013, p. 12)

### **7.1.4. Transportistas**

Un transportista “es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad” (CNEE, 2013, p. 6).

También nos indican que, para ser considerados como transportistas, sus instalaciones de transmisión deben tener una capacidad de transporte de 10 MW como mínimo.

Actualmente en Guatemala se encuentran habilitados 14 transportistas, de los cuales 11 agentes son los que perciben una remuneración por la utilización de sus instalaciones, dicha remuneración es la fijada por la CNEE denominada como peaje o canon.

Tabla I. **Transportistas habilitados por el AMM**

<b>Transportistas</b>	
1	EEB Ingeniería y Servicios, S.A. (EEBIS).
2	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del INDE (ETCEE)
3	Empresa Propietaria de la Red, S.A. Sucursal Guatemala (EPR)
4	Orazul Energy Transco, Limitada
5	Redes Eléctricas de Centroamérica, S.A. (RECSA)
6	Transfosur, S.A.
7	Transmisora de Energía Renovable, S.A. (TRANSNOVA)
8	Transportadora de Energía de Centroamérica, S.A. (TRECOSA)
9	Transporte de Electricidad de Occidente (TRECOS)
10	Transporte de Energía Eléctrica del Norte, S.A. (TRANSNORTE)
11	Transportes Eléctricos del Sur, S.A. (TRANSESUSA)
12	Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A. (TRECOSA)
13	Transporte de Energía Alternativa, S.A.
14	Transporte Eléctrico Matanzas, S.A.

Fuente: elaboración propia, con la información de Administrador del Mercado Mayorista (2021). *Agentes Habilitados en el Mercado Mayorista.*

Figura 2. Estructura del subsector eléctrico



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

## 7.2. Marco legal del subsector eléctrico en Guatemala

Morales (2015) nos indica que en Guatemala el subsector eléctrico es regido por la Ley General de Electricidad, la cual fue establecida el 15 de noviembre de 1996 por el Congreso de la República mediante Decreto 93-96, posteriormente se creó el Reglamento de la Ley General de Electricidad establecido mediante el Acuerdo 256-97 el dos de abril de 1997 y el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, establecido mediante el Acuerdo 299-98, el 01 de junio de 1998.

Tal como se indicó en los numerales 7.1.1.2 y 7.1.1.3 del presente trabajo de investigación, se creó la CNEE y el AMM. Consecuentemente dichas

entidades crearon las diferentes Normas Técnicas de Transmisión y Distribución, Normas de Coordinación Operativa y Comercial que complementan el marco regulatorio (Morales, 2015).

Tabla II. **Normas técnicas emitidas por la CNEE**

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Siglas</b>
1	Normas de Estudio de Acceso al Sistema de Transporte	NEAST
2	Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte	NTAUCT
3	Normas Técnicas del Servicio de Distribución	NTSD
4	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución	NTDOID
5	Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte	NTDOST
6	Normas Técnicas de la Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones	NTCSTS
7	Normas Técnicas para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable y Usuarios Auto Productores con Excedentes de Energía	NTGDR
8	Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión	NTT
9	Norma de Seguridad de Presas	NSP
10	Norma Técnica de Conexión	NTC

Fuente: elaboración propia con la información de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Normas Técnicas*.

Asimismo, el AMM emite y la CNEE aprueba las normas de coordinación operativa y comercial, dentro de las cuales tenemos.

Tabla III. **Normas de coordinación comercial del AMM**

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Siglas</b>
1	Coordinación de despacho de carga	NCC-1
2	Oferta y demanda firma	NCC-2
3	Transacciones de desvíos de potencia	NCC-3
4	Precio de oportunidad de la energía	NCC-4
5	Sobrecostos de unidades generadoras forzadas	NCC-5
6	Tratamiento de las pérdidas	NCC-6
7	Factores de pérdidas nodales	NCC-7
8	Cargo por servicios complementarios	NCC-8
9	Asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal y secundarios, y cargos por uso del primer sistema de transmisión regional	NCC-9
10	Exportación e importación de energía eléctrica	NCC-10
11	Informe de costos mayoristas	NCC-11
12	Procedimientos de liquidación y facturación	NCC-12
13	Mercado a término	NCC-13
14	Habilitación comercial para operar en el Mercado Mayorista y sistema de medición comercial	NCC-14
15	Norma de inhabilitación en el Mercado Mayorista	NCC-15

Fuente: elaboración propia con la información de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Normas Comerciales*.

Tabla IV. **Normas de coordinación operativa del AMM**

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Siglas</b>
1	Base de datos	NCO-1
2	Coordinación de la operación en tiempo real	NCO-2
3	Coordinación de servicios complementarios	NCO-3
4	Determinación de los criterios de calidad y niveles mínimos de servicio	NCO-4
5	Auditorías	NCO-5

Fuente: elaboración propia con la información de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Normas Operativas*.

Las leyes, reglamentos y normas juntos con las Resoluciones que emite la CNEE se consideran como el Marco Legal del subsector eléctrico de Guatemala.

Figura 3. **Marco Legal del subsector eléctrico en Guatemala**



Fuente: elaboración propia con la información obtenida de Noriega (2021). *Mercado Mayorista*.

### 7.3. Sistema de transmisión

Se le denomina transmisión a “la actividad que tiene por objeto el transportarte de energía eléctrica a través de un sistema de transmisión” (CNEE, 2013, p. 6). Un sistema de transmisión se considera al grupo de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de un voltaje superior a los 60,000 voltios.

En Guatemala, existen diferentes Sistemas de Transmisión, el Sistema Principal (SP), el cual es el sistema compartido por generadores y el Sistema

Secundario, el cual lo conforman las instalaciones que no forman parte del Sistema Principal. El Sistema Secundario se subdivide en otros sistemas, los cuales serán las que defina, mediante resolución, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica a propuesta del Administrador del Mercado Mayorista (Administrador del mercado Mayorista, 2006).

#### **7.4. Ejecución de obras por iniciativa propia**

De acuerdo con CNEE (2013):

Para la ejecución de nuevos proyectos de transmisión o ampliaciones a subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, en Guatemala se puede realizar mediante tres modalidades:

- Por acuerdo entre las partes
- Por iniciativa propia
- Por licitación pública. (p. 34)

Para las instalaciones de transmisión bajo las modalidades de iniciativa propia y acuerdo entre las partes, serán consideradas como parte del sistema secundario. Así también serán remuneradas por medio del peaje, siendo por acuerdo las partes interesadas o por el fijado por la CNEE.

Mediante la resolución CNEE-197-2013, tal como lo indica Siguí (2018), la CNEE aprobó la construcción de ampliaciones para el sistema de transporte, bajo la modalidad de iniciativa propia, en dicha resolución se tenía contemplado la construcción de las instalaciones en los años 2013 al 2019.



## 7.5. Peaje

Se le conoce como peaje al “pago que devenga el propietario de las instalaciones de transmisión, transformación o distribución por permitir el uso de dichas instalaciones para la transportación de potencia y energía eléctrica por parte de terceros” (CNEE, 2013, p. 6). El cual puede ser libremente acordado entre las partes o cuando no exista un acuerdo, la CNEE aplicarán los peajes que determine, escuchando al AMM y a los propietarios que conforman a los sistemas de transmisión.

El peaje se fija cada bienio en la primera quincena del mes de enero del año correspondiente, para el período de los años del 2021 – 2022, la CNEE fijo el peaje mediante las resoluciones indicadas en la tabla V.

Tabla V. **Resoluciones de fijación de peaje para el periodo 2021 – 2022**

No.	Resolución	Sistema	Transportista
1	CNEE-1-2021	Sistema Principal de Transmisión	General
2	CNEE-2-2021	Sistema Principal de Transmisión	ETCEE
3	CNEE-3-2021	Sistema Principal de Transmisión	TRELEC
4	CNEE-4-2021	Sistema Principal de Transmisión	ORAZUL
5	CNEE-5-2021	Sistema Principal de Transmisión	RECSA
6	CNEE-6-2021	Sistema Principal de Transmisión	TRANSNOVA
7	CNEE-7-2021	Sistema Principal de Transmisión	TREO
8	CNEE-8-2021	Sistema Principal de Transmisión	TRANSFOSUR
9	CNEE-9-2021	Sistema Principal de Transmisión	TRECSA
10	CNEE-10-2021	Sistema Principal de Transmisión	TRANSESUSA
11	CNEE-11-2021	Sistema Principal de Transmisión	EEBIS
12	CNEE-12-2021	Sistema Secundario	ETCEE
13	CNEE-13-2021	Sistema Secundario	TRELEC

Continuación tabla V.

14	CNEE-14-2021	Sistema Secundario	RECSA
15	CNEE-15-2021	Sistema Secundario	ORAZUL
16	CNEE-16-2021	Sistema Secundario	TREO
17	CNEE-17-2021	Sistema Secundario	TRANSESUSA
18	CNEE-50-2021	Sistema Principal de Transmisión	TRANSNORTE
19	CNEE-157-2021	Sistema Secundario	TRANSNORTE

Fuente: elaboración propia con la información de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Resoluciones 2021*.

Para su cálculo, los propietarios de las subestaciones y de las líneas de los sistemas implicados y el AMM comunicarán a la CNEE los costos de operación, los costos de mantenimiento y la anualidad de la inversión del sistema.

Figura 4. **Información necesaria para el cálculo de peajes**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

“Tomando los costos de inversión presentado por los transportistas para determinado equipo o material, la CNEE realiza un cálculo para obtener un precio óptimo o eficiente y se deberán utilizar los *Producer Price Index* (PPI) (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2012, p. 6). A una fecha establecida para realizar el ajuste. Ya con estos precios eficientes y los inventarios de instalaciones de cada transportista, se realiza el cálculo del denominado valor nuevo de reemplazo o VNR, el cual es “el costo que tendría construir las obras y bienes físicos de la autorización, con la tecnología disponible en el mercado, para prestar el mismo servicio” (CNEE, 2013, p. 16).

Figura 5. **Cálculo del valor nuevo de reemplazo (VNR)**



Fuente: elaboración propia con información de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2013).

*Fijación de peajes de transmisión 2013 - 2015.*

Tal como lo explica Cojulún (2020), cuando ya se obtiene el VNR para cada instalación de transmisión, se multiplica por el factor de recuperación de capital (FRC), establecido por la CNEE en 10.02 % y se suma la Administración, Operación y Mantenimiento, el cual constituye el 3 % del VNR y se obtiene el peaje para la instalación analizada.

Figura 6. **Cálculo del peaje**



Fuente: elaboración propia, con la información de Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2013). *Fijación de peajes de transmisión 2013 - 2015*.

Esto da como resultado sistema secundario de subdivide por transportista y en el cual se encuentran subdivididos en diferentes sistemas secundarios, y dependiente por su uso y conforme con la NCC-09 pueden ser Sistema Secundario de Transmisión o Subtransmisión.

Según lo observado en Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021), el peaje del Sistema Secundario de TRELEC, se divide en 27 subsistemas, ocho de transmisión y diecinueve de subtransmisión dentro del cual está el sistema de la región central a analizar en el presente diseño de investigación.

## 7.6. **Subestaciones eléctricas**

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” (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020, p. 13).

Según Morales (2015) también se puede considerar como un nodo del sistema de potencia en el cual se aumentan o disminuyen los niveles de tensión y corriente, con el fin de minimizar pérdidas y optimizar la distribución de la energía producida en las centrales generadoras mediante maniobras.

De acuerdo con lo indicado por Carillo (2018), las subestaciones se pueden clasificar también por su función que efectúen, las cuales pueden clasificarse en:

- Subestación de maniobra: se utiliza para otorgar al sistema una mayor versatilidad mediante el seccionamiento de las líneas de transmisión.
- Subestación de transformación: se utiliza para disminuir o aumentar el voltaje, se utiliza principalmente para aumentar el voltaje de una planta generadora y para alimentar circuitos de distribución.
- Subestación mixta: es la combinación de las subestaciones anteriormente mencionadas.

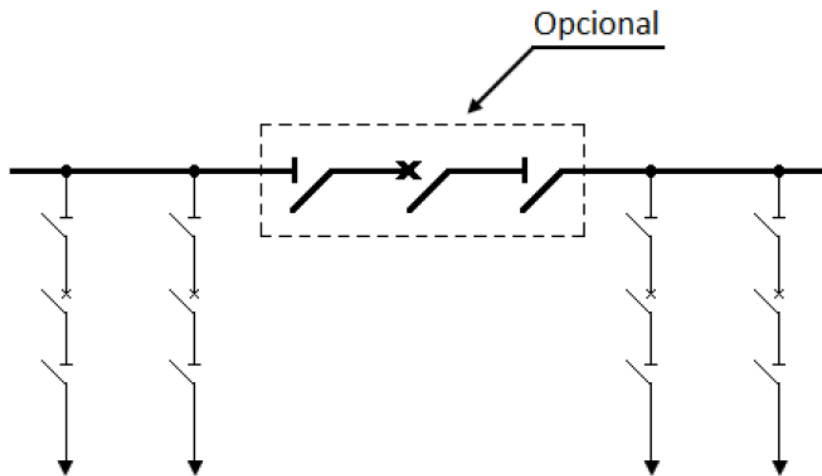
Según lo indica Morales (2015), las subestaciones cuentan con diferentes configuraciones de barras, en Guatemala existen subestaciones con las siguientes configuraciones de barras:

#### **7.6.1. Simple barra**

“Es una configuración que cuenta con un solo barraje colector al cual se conectan los circuitos por medio de un interruptor. Es económica, simple, fácil de proteger, ocupa poco espacio y no presenta muchas posibilidades de operación incorrecta” (Morales, 2015, p. 39). Estas subestaciones carecen de flexibilidad,

confiabilidad y seguridad, por lo cual son sus principales desventajas dado que para realizar mantenimientos es necesario suspender la operación de la misma.

Figura 7. **Configuración simple barra**

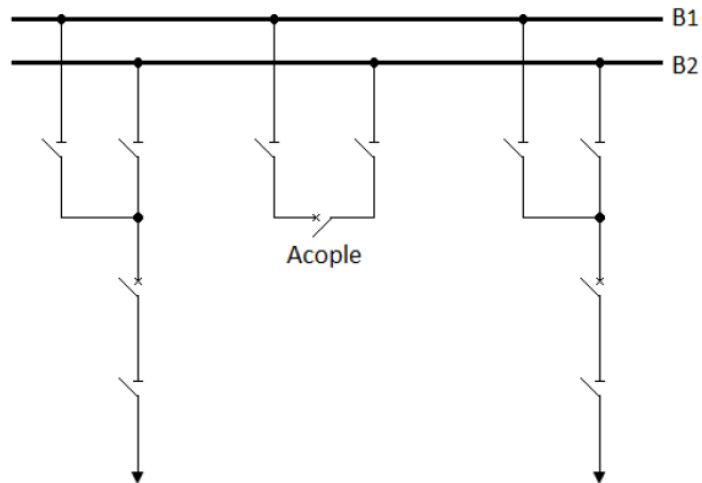


Fuente: Morales (2015). *Estudio de prefactibilidad para ampliación de una subestación de operación de 69 kV del sistema nacional interconectado a una subestación de potencia de 230 kV, en la ciudad capital de Guatemala.*

### 7.6.2. **Doble barra**

La configuración de esta subestación cuenta con dos barras unidas entre sí por un acople, esto permite una flexibilidad en la configuración porque otorga la separación de circuitos de manera individual en las barras, con la finalidad de poder dividir sistemas, también tiene confiabilidad, pero no nos brinda la seguridad necesaria por falla en interruptores y las barras según lo indicado por Morales (2015).

Figura 8. Configuración doble barra

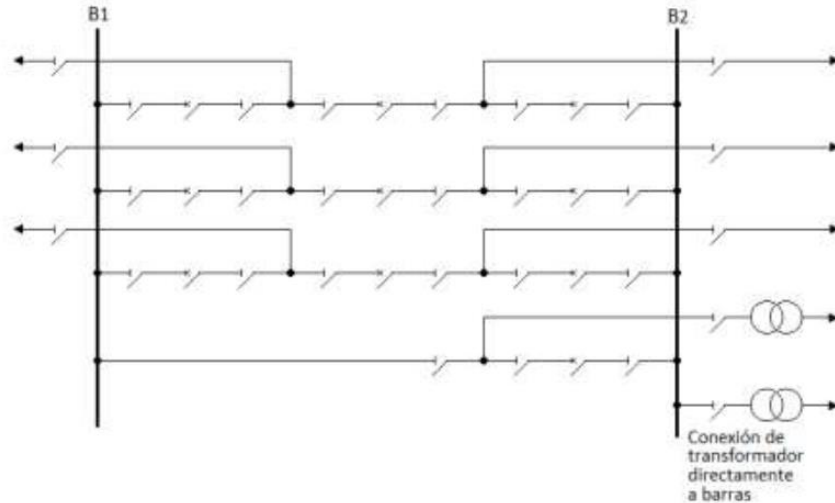


*Fuente: Morales (2015). Estudio de prefactibilidad para ampliación de una subestación de operación de 69 kV del sistema nacional interconectado a una subestación de potencia de 230 kV, en la ciudad capital de Guatemala.*

### 7.6.3. Interruptor y Medio

La subestación cuenta con “un grupo de tres interruptores denominado diámetro que se conecta entre los dos barrajes principales. Se puede hacer mantenimiento a cualquier interruptor o barraje sin la necesidad de suspender el servicio” (Aceves, Fernández y Torres, 2012, p. 29). Este tipo de subestaciones se considera una de las más flexibles y con alta confiabilidad.

Figura 9. Interruptor y medio



*Fuente: Morales (2015). Estudio de prefactibilidad para ampliación de una subestación de operación de 69 kV del sistema nacional interconectado a una subestación de potencia de 230 kV, en la ciudad capital de Guatemala.*

#### 7.6.4. Subestaciones GIS

Conforme a lo indicado por Sosa (2002), cuando se utiliza el gas de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) como medio de aislamiento en subestaciones, estas son conocidas como subestaciones eléctricas GIS (*gas insulated switchgear*), la primera subestación GIS se instaló en Plessis-Gassot, Francia en 1966, la cual fue un prototipo de un prototipo experimental de 245 kV.



Figura 10. **Subestación GIS antigua**

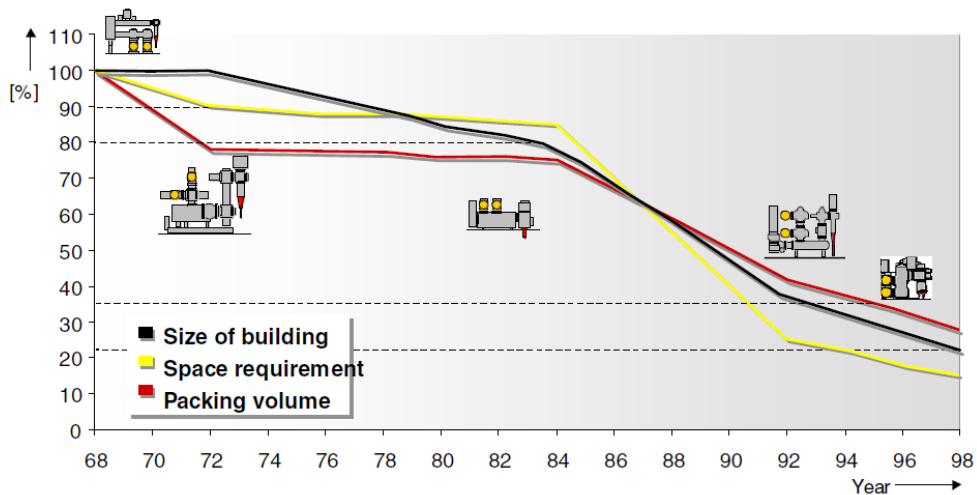


Fuente: Sosa (2002). *Subestaciones eléctricas de alta tensión aisladas en gas.*

Son numerosos factores que han influenciado a las subestaciones GIS en los años de su desarrollo, el uso del gas SF<sub>6</sub> dentro de la cámara de interrupción del arco eléctrico en los interruptores de potencia y el estudio de los resultados de los fenómenos que ocurrían dentro de ellas, dio como resultado de desarrollar nuevos equipos con dimensiones más pequeñas, es decir, el estudio del funcionamiento de los interruptores de potencia dio como resultado el desarrollo de subestaciones GIS.

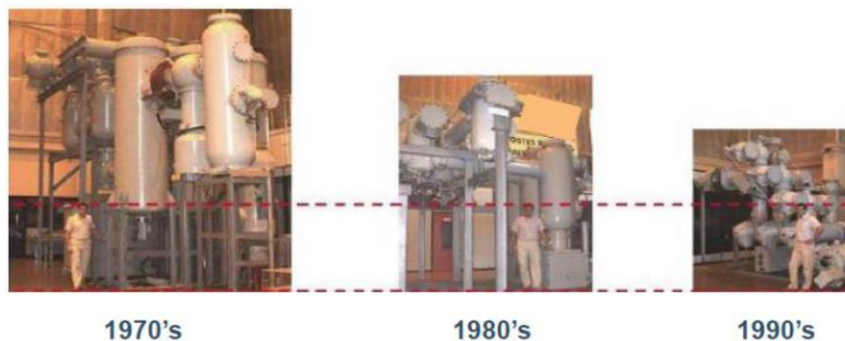
Conforme el avance de la tecnología GIS conforme los años, el tamaño de las subestaciones con este tipo de tecnología se ha reducido considerablemente.

Figura 11. **Reducción del tamaño de subestaciones GIS conforme los años**



Fuente: Phil y Hermann (2005). *Introduction and Applications of gas insulated substation (GIS)*.

Figura 12. **Comparativa del tamaño de subestaciones GIS conforme el avance de los años**



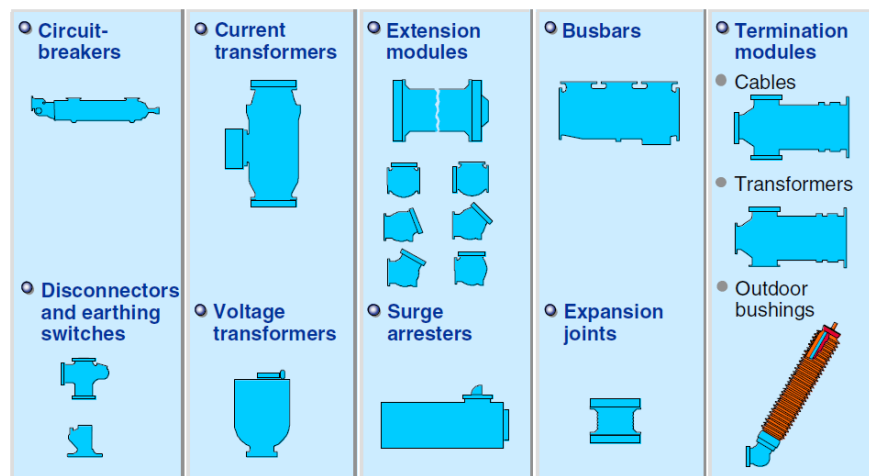
Fuente: Arreaza (2020). *Diseño primario de subestaciones, subestaciones encapsuladas*.

Según Barrios (2004), las principales ventajas de la implementación de subestaciones GIS son:

- Reducción del tamaño del terreno necesario para la construcción de una subestación con tecnología convencional.
- No se ven afectadas por la contaminación ambiental.
- Requieren menor mantenimiento.
- Son más seguras para los operadores.
- Mayor vida útil.
- Menor impacto visual.
- No producen radio interferencia.

En las subestaciones GIS, los equipos, interruptores, seccionadores, PTs, CTs y barras están aislados en gas hexafluoruro de azufre SF6 en compartimientos independientes.

Figura 13. Equipos de una subestación GIS



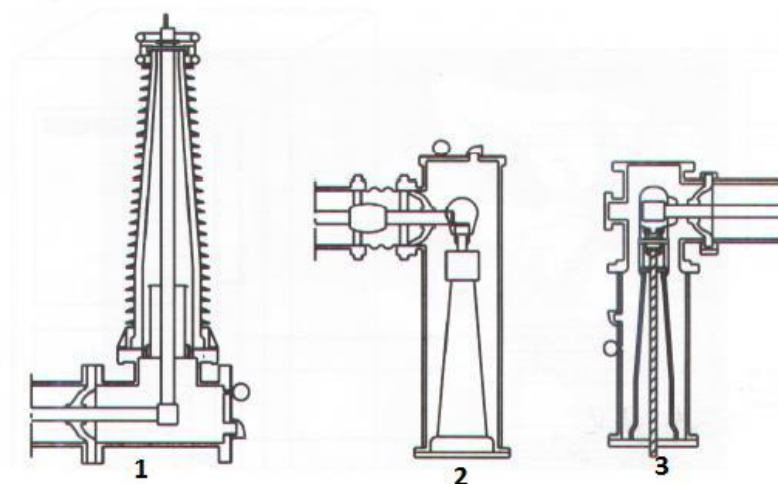
Fuente: Phil y Hermann (2006). *Gas insulated substation GIS*.

Según lo indicado por Carrillo (2018), en las subestaciones GIS se utilizan bridas para ejecutar la conexión los equipos que van conectados entre sí mecánica y eléctricamente con la finalidad de formar la configuración que se requiere para la subestación y de las bahías de conexión de línea, de transformador o de la barra de transferencia y entre los módulos de cada equipo se utiliza como material aislante el cono de resina. Entre los equipos que conforman una subestación GIS tenemos los siguientes:

#### 7.6.4.1. Bujes de conexión

Según Carrillo (2018), son los encargados de realizar la conexión eléctrica de los campos de conexión de línea de la subestación GIS con otros equipos externos, que pueden ser líneas de transmisión, transformador de potencia, cables subterráneos, entre otros.

Figura 14. Bujes de conexión de subestaciones GIS



Fuente: Mejía (2003). *Subestaciones de alta y extra tensión.*

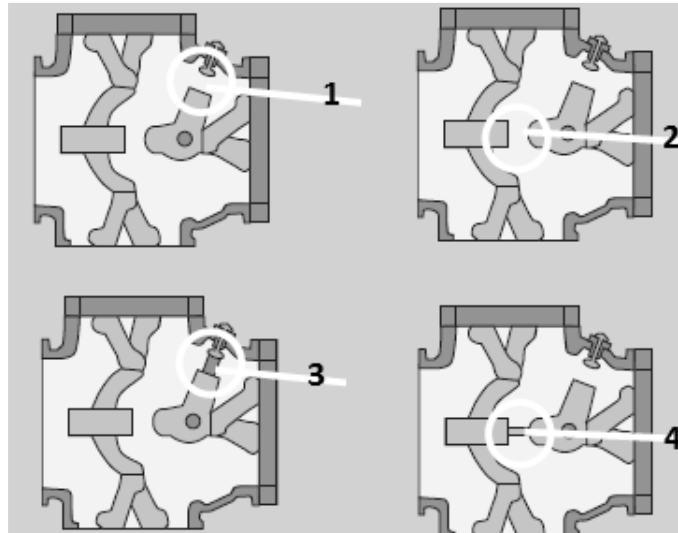
#### **7.6.4.2. Seccionador**

Un seccionador es un “dispositivo de interrupción de cargas eléctricas, que permite separar de manera mecánica un alimentador, y garantizar una distancia satisfactoria de aislamiento eléctrico” (Quispe, 2019, p. 13).

Los módulos de los seccionadores que normalmente acompaña una subestación GIS tienen tres posiciones:

- Formar la conexión eléctrica de la parte móvil del seccionador con la barra.
- Posición neutral en la cual el contacto móvil del seccionador no establece conexión eléctrica con la barra y la puesta a tierra.
- Cuando el seccionador con parte móvil establece conexión con la puesta a tierra.

Figura 15. **Diseño y posiciones de un seccionador GIS**



Fuente: Carrillo (2018). *Montaje de subestación Antigua 69/13,8 kV aislada en gas hexafluoruro de azufre, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.*

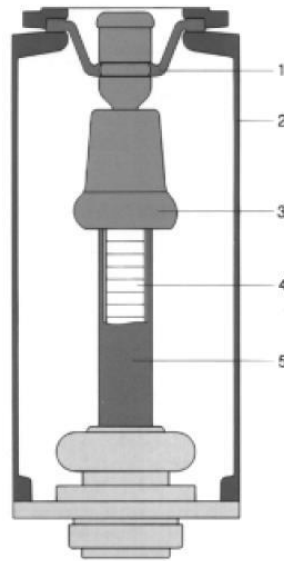
#### 7.6.4.3. **Descargador de tensión**

Los descargadores de tensión o pararrayos, es el equipo de mayor protección contra descargas electro atmosféricas y sobretensiones de maniobra. Carrillo (2018) explica que los descargadores de tensión son de gran importancia para realizar la coordinación de aislamiento de la subestación, habitualmente se utilizan descargadores de óxido de zinc, los cuales están envueltos por una porcelana color marrón y con una aleación de aluminio en sus terminales. El módulo de un descargador de tensión GIS está compuesto por las siguientes partes principales:

- Aislador cónico
- Envoltura
- Electrodo de control de campo

- Cuerpo activo
- Tubo aislante

Figura 16. **Diseño módulo típico de un descargador de tensión GIS**



Fuente: Sosa (2002). *Subestaciones eléctricas de alta tensión aisladas en gas.*

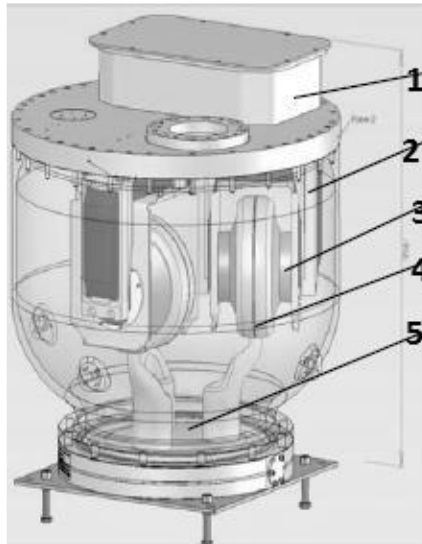
#### 7.6.4.4. Transformador de potencial TP

Este tipo de transformadores de medición se utilizan con la finalidad de disminuir el voltaje del lado primario a un valor que sea apropiado para hacer lecturas de los instrumentos de medición y protección. “En una subestación aislada en gas SF<sub>6</sub>, estos transformadores se presentan en módulos compactos también aislados en gas hexafluoruro de azufre” (Carrillo, 2018, p. 31). Estos pueden ser capacitivos o inductivos.

Un transformador de potencia GIS convencional está conformado por las siguientes partes:

- Cajón de terminales
- Núcleo
- Devanado secundario
- Devanado primario
- Buje de conexión

Figura 17. **Transformador de potencial GIS**



Fuente: Carrillo (2018). *Montaje de subestación Antigua 69/13,8 kV aislada en gas hexafluoruro de azufre, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.*

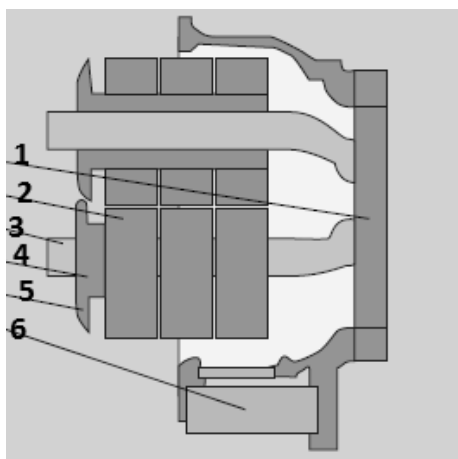


#### 7.6.4.5. Transformador de corriente TC

Estos equipos se encargan de reducir la corriente a valores idóneos para los instrumentos de protección y medición en las subestaciones eléctricas. Para la protección se utilizan TC's que poseen una mayor precisión en la medición de corriente en comparación a los que son utilizados solo para medición. Estos se consideran el equipo más importante para medir los parámetros utilizados en la protección de la subestación. Sus partes principales son:

- Buje de conexión
- Núcleo
- Conductor primario
- Electrodo interno
- Separación electrodo
- Cajón de terminales secundarias

Figura 18. Transformador de corriente GIS



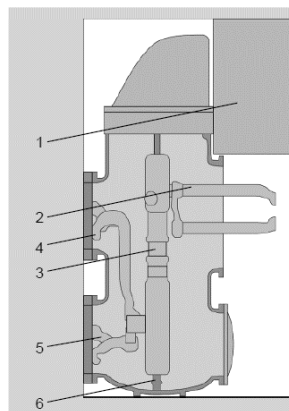
Fuente: Carrillo (2018). *Montaje de subestación Antigua 69/13,8 kV aislada en gas hexafluoruro de azufre, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.*

#### 7.6.4.6. Interruptor de potencia

Enríquez (2005) considera al interruptor de potencia como un equipo que permite la apertura o cierre de un circuito bajo carga en una subestación eléctrica, estos aseguran el aislamiento eléctrico de un circuito cuando se encuentran abiertos. Su principio de funcionamiento es igual a los interruptores utilizados en las subestaciones AIS, el motivo de esto es que los interruptores que son utilizados en ambas tecnologías se encuentran aislados en gas hexafluoruro de azufre. Sus partes principales que lo componen son:

- Gabinete de control y mecanismo de operación
- Conexión al TC
- Auto compresor del interruptor
- Conexión barra 1
- Conexión barra 2
- Aislador

Figura 19. Interruptor de Potencia GIS

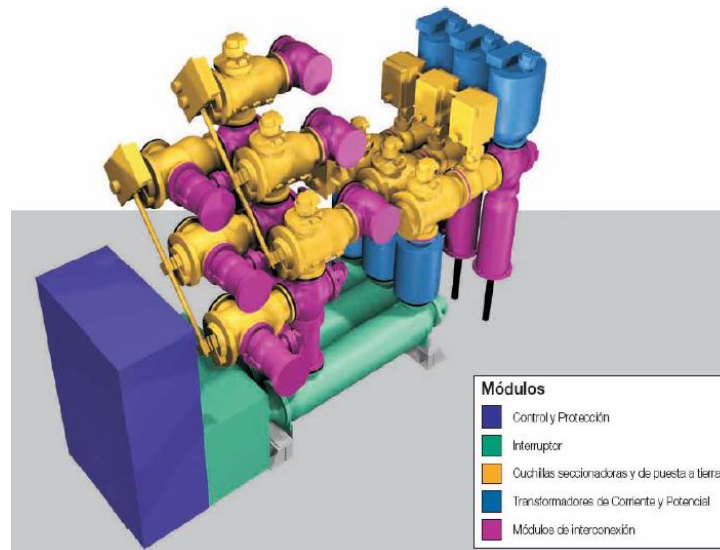


Fuente: Carrillo (2018). *Montaje de subestación Antigua 69/13,8 kV aislada en gas hexafluoruro de azufre, Antigua Guatemala, Sacatepéquez.*

#### 7.6.4.7. Envoltente

El envoltente de las subestaciones GIS y es su parte más notoria, según lo indicado por Carrillo (2018), estos se presentan una forma de un tubo metálico y es la parte encargada de conservar las partes aisladas del exterior manteniendo una presión interna del gas alrededor de los tres a siete bares. Estas son construidas de acero o aluminio, las ventajas de las GIS construidas con aluminio radica en la reducción del peso en comparación a una construida con acero, con la ventaja de estas últimas con una mayor resistencia mecánica y un mayor de tiempo de vida útil. Los envoltentes tienen que ser fabricados con un especial cuidado para evitar fugas mínimas del gas, estas fugas deben estar por debajo del 1 % por año.

Figura 20. **Constitución típica de subestaciones GIS**



Fuente: Flores (2010). *Reemplazo de subestaciones convencionales aisladas en aire por tecnología GIS (SF6) análisis técnico-económico.*

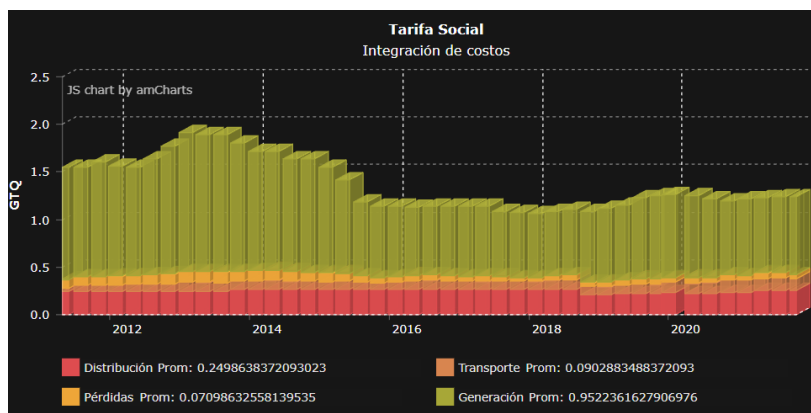
## 7.7. Tarifas de energía eléctrica

Según lo indicado en CNEE (2013), específicamente en su artículo 71, la componente de energía y la componente de potencia de las tarifas a usuarios consumidores finales en el servicio de distribución son calculadas por la CNEE como una suma del precio ponderado de las compras realizadas por el distribuidor y del VAD. A esto la CNEE le adicionará los peajes por subtransmisión que sean relacionados para la adquisición de energía y la adquisición de potencia en el ingreso de la red de distribución.

CNEE (2013) establece que:

Precios de adquisición de potencia y energía a la entrada de la red de distribución deberán necesariamente expresarse de acuerdo a una componente de potencia relativa a la demanda máxima anual de la distribuidora (Q/kw/mes), y a una componente de energía (Q/kw/h). (p. 15)

Figura 21. Integración de los costos en la tarifa social



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Pliegos*. Consultado el 26 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Subsector eléctrico en Guatemala

##### 1.1.1. Estructura

1.1.1.1. Ministerio de Energía y Minas

1.1.1.2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica

1.1.1.3. Administrador del Mercado Mayorista

1.1.1.4. Transportistas

##### 1.1.2. Marco Legal

1.1.2.1. Normas Técnicas de la CNEE

1.1.2.2. Norma Técnica de Conexión (NTC)

1.1.2.3. Norma de Registro de Transportistas y sus  
Instalaciones

1.1.2.4. Normas de coordinación comercial

1.1.2.5. Normas de coordinación operativa

#### 1.2 Sistema de Transmisión

- 1.2.1 Sistema Principal
- 1.2.2 Sistema Secundario
  - 1.2.2.1 Sistema Secundario de Transmisión
  - 1.2.2.2 Sistema Secundario de Subtransmisión
- 1.3 Modalidad para ampliaciones
  - 1.3.1 Por acuerdo entre partes
  - 1.3.2 Por iniciativa propia
  - 1.3.3 Por licitación pública
- 1.4 Subestaciones Eléctricas
  - 1.4.1 Tipos de configuración de barras
    - 1.4.1.1 Simple barra
    - 1.4.1.2 Doble barra
    - 1.4.1.3 Interruptor y medio
  - 1.4.2 Tipo de tecnología
    - 1.4.2.1 *Air Insulated Switchgear (AIS)*
    - 1.4.2.2 *Gas Insulated Switchgear (GIS)*
- 1.5 Peaje de transmisión
  - 1.5.1 Base de precios
    - 1.5.1.1 Materiales utilizados
    - 1.5.1.2 Precio eficiente
  - 1.5.2 Resolución CNEE-78-2014
    - 1.5.2.1 Información a remitir por los transportistas
    - 1.5.2.2 Actualización por adición de nuevas instalaciones
  - 1.5.3 Unidad de propiedad estándar (UPE)
  - 1.5.4 Metodología de cálculo
- 1.6 Tarifas

- 2 SUBESTACIONES GIS DE GUATEMALA
  - 2.1 Subestación Antigua GIS
    - 2.1.1 Área del terreno
    - 2.1.2 Características técnicas
    - 2.1.3 Características económicas
  - 2.2 Subestación El Guarda GIS
    - 2.2.1 Área del terreno
    - 2.2.2 Características técnicas
    - 2.2.3 Características económicas
  - 2.3 Subestación Monserrat GIS
    - 2.3.1 Área del terreno
    - 2.3.2 Características técnicas
    - 2.3.3 Características económicas
  - 2.4 Subestación Minerva GIS
    - 2.4.1 Área del terreno
    - 2.4.2 Características técnicas
    - 2.4.3 Características económicas
  - 2.5 Subestación Ciudad Vieja GIS
    - 2.5.1 Área del terreno
    - 2.5.2 Características técnicas
    - 2.5.3 Características económicas
  - 2.6 Subestación Incienso GIS
    - 2.6.1 Área del terreno
    - 2.6.2 Características técnicas
    - 2.6.3 Características económicas
  - 2.7 Subestación Tinco GIS
    - 2.7.1 Área del terreno
    - 2.7.2 Características técnicas
    - 2.7.3 Características económicas

- 3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
  - 3.1 Peaje de subestaciones AIS
  - 3.2 Peaje de subestaciones GIS
  - 3.3 Análisis comparativo
  - 3.4 Impacto al peaje del Sistema de Transmisión
  - 3.5 Impacto en tarifa

#### 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, derivado que el estudio tomará como base principal el análisis de las características técnicas, económicas y los montos peaje de subestaciones de tecnologías AIS y GIS.

El alcance del estudio es descriptivo, derivado que su propósito es analizar (describir) las características técnicas y económicas de las subestaciones de tecnologías AIS y GIS, con el propósito de analizar la variabilidad del peaje que conlleva la ejecución de subestaciones con ambas tecnologías y establecer su impacto al monto del peaje del sistema de transmisión de la región central de Guatemala y al de la tarifa de energía eléctrica.

El diseño adoptado será no experimental, pues económicamente no es factible realizar una investigación experimental y no se tiene el poder de controlar las variables de las tecnologías que se están comparando, únicamente se están analizando las variables de las tecnologías previamente instaladas.

### **9.2. Unidad de análisis**

La unidad de análisis serán las subestaciones eléctricas GIS y convencionales de 69 kV en configuración simple barra y con barra de transferencia que se encuentren ubicadas geográficamente en la región central de Guatemala.

### 9.3. Variables

Se establecieron los tipos de subestaciones, tipo de sistemas de transmisión, modalidad de ampliaciones, peaje de transmisión y tarifas de energía eléctrica como variables de investigación y se indica en la siguiente tabla las características de las mismas.

Tabla VI. **Variables de la investigación**

Variable	Categórica		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Tipo de subestaciones	X					X	Nominal
Tipo de sistema de transmisión		X				X	Ordinal
Modalidad de ampliaciones		X				X	Nominal
Peaje de transmisión				X		X	Razón
Tarifas de energía eléctrica				X		X	Razón

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VII. **Definición de las variables de investigación**

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
Tipo de subestaciones	La tecnología utilizada para la construcción de las subestaciones eléctricas.	Tipo GIS o AIS.
Tipo de sistema de transmisión	Es la definición que se les da a un conjunto de instalaciones de transmisión derivado del uso del sentido del flujo preponderante de energía, su ubicación geográfica o el propietario de las mismas.	Sistema Principal, Sistema Secundario (Transmisión, Subtransmisión...)
Modalidad de ampliaciones	La modalidad que los transportistas utilizan para la construcción de instalaciones de transmisión.	Por acuerdo entre partes, iniciativa propia y licitación pública.
Peaje de transmisión	La remuneración que perciben los transportistas por el uso de sus instalaciones.	US\$/año
Tarifas de energía eléctrica	Es el precio que pagan los usuarios o consumidores por el servicio de energía eléctrica.	Q/kWh

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

#### **9.4. Descripción de las fases del estudio**

En esta sección describiremos las cuatro fases del estudio de investigación que se realizará para la realización de la misma, desde la recolección de datos hasta el análisis del impacto en tarifa, a continuación, se detallan más a profundidad.

##### **9.4.1. Fase 1: Recolección y revisión de información documental**

En esta fase se recopilará información documental sobre subestaciones eléctricas GIS y convencionales, con la finalidad de fortalecer los conocimientos técnicos y regulatorios sobre dichas subestaciones.

Se revisará la información abierta al público general, dentro de esta documentación podemos encontrar la siguiente:

- Libros de información general sobre subestaciones GIS y convencionales.
- Documentos (*papers*) sobre subestaciones GIS.
- Tesis universitarias con información sobre el montaje de subestaciones GIS a nivel nacional e internacional.
- Resoluciones de aprobación de las ampliaciones de subestaciones GIS en Guatemala.
- Resoluciones de fijación de peaje de las ampliaciones de subestaciones GIS en Guatemala.

Asimismo, se solicitarán documentación e información no abierta al público, dicha información se le solicitará a la Unidad de Información Pública de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, la información solicitada es la siguiente:

- Estudios de justificación técnico-económico para la ejecución de las ampliaciones de las subestaciones GIS en Guatemala.
- Documentación técnica de las ampliaciones de las subestaciones GIS en Guatemala.
- Modelo de cálculo de peajes de transmisión utilizado por el ente regulador del país.
- Información de la base de costos de equipos y materiales utilizados para alimentar el modelo de cálculo de peajes de transmisión.

#### **9.4.2. Fase 2: Análisis de la información recolectada en el trabajo de campo**

Durante esta fase, se realizará el análisis de la información recolectada de la fase anterior, esto con el objetivo de agrupar las variables indicadas en la sección 9.3.

Se identificarán qué subestaciones en Guatemala están construidas con tecnología GIS identificando su configuración de barras, posteriormente se identificarán que subestaciones convencionales tienen una similar configuración de barras y que se encuentren en el área geográfica de la región central, esto como punto de partida para realizar el análisis comparativo, dado que se requerirá delimitar por su tipo de configuración de barras y en el área donde se encuentran.

Se identificará conforme a lo establecido en el numeral 9.5.2.3 de la Norma de Coordinación Comercial No. 9 *Asignación y Liquidación del peaje en los Sistemas de Transporte Principal y Secundarios, y Cargos por Uso del Primer Sistema de Transmisión Regional*, a que Sistema de Transmisión o Subtransmisión pertenecen las subestaciones con tecnología GIS previamente identificadas, con el fin de determinar a qué sistema se le asigna el monto de peaje fijado a cada subestación.

La fijación de peaje también depende de la modalidad en la cual fueron aprobadas las ampliaciones de las subestaciones eléctricas, por tal motivo, se realizará el análisis de las tres modalidades de ampliaciones de subestaciones y líneas de transmisión del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (STEE); y en cuál de las modalidades se encuentran las ampliaciones de las subestaciones GIS. Del modelo de cálculo de peajes, se analizarán las Unidades de Propiedad

Estándar (UPE) utilizadas en el cálculo de peajes de las subestaciones con el objetivo de conocer cuáles son los materiales y equipos que las componen.

Dentro del análisis económico, se evaluarán los costos de los materiales y equipos de las UPES utilizadas para la fijación de peaje de ambas tecnologías, así como los costos del suelo por metro cuadrado de cada subestación analizada.

#### **9.4.3. Fase 3: Análisis e interpretación de la metodología del cálculo de peajes**

En esta etapa, se abordará más a profundidad la metodología utilizada en el modelo de cálculo de peajes utilizado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Con el objetivo de determinar si la metodología utilizada para las subestaciones GIS concuerda con la definición de Sistema de Transmisión Económicamente Adaptado, el cual se define como el sistema de transmisión dimensionado de forma tal de minimizar los costos totales de inversión, de operación y mantenimiento y de pérdidas de transmisión, para una determinada configuración de ofertas y demandas.

Así también, se realizará el análisis mediante ingeniería inversa para comprobar los cálculos realizados de los costos de las UPES, del valor nuevo de reemplazo (VNR) y del peaje de las subestaciones con ambas tecnologías. De los análisis respectivos en la fase 2 y 3 se tiene contemplado la realizar tablas con los datos de mayor importancia para realizar la comparación entre tipos de tecnología, a continuación, se muestra un diseño de tabla tentativa.

Tabla VIII. **Datos de subestaciones GIS**

TIPO DE TECNOLOGÍA	NOMBRE	REGIÓN	TIPO DE SISTEMA	TENSIÓN NOMINAL (KV)	UNIDAD CONSTRUCTIVA	UPE ASIGNADA	COSTO UPE	COSTO UNITARIO O TERRENOS	COSTO TOTAL TERRENOS	PEAJE (US\$/AÑO)	VNR (US\$)
GIS	Antigua	Centro	Sistema Secundario de Subtransmisión TRELEC Region Central	69	línea simple barra	UPE 2-55	525,461	0.0	0	67,959.40	525,461.38

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla IX. **Variabilidad del peaje del sistema de transmisión analizado**

Peajes SS Compartidos Iniciales (vigentes)	Peaje (US\$/año)		Variabilidad
	GIS	Convencional	
Subestación 1			
Subestación 2			
Subestación 3			
Subestación 4			
<b>Peaje Total del Sistema Analizado</b>	<b>\$</b>	<b>-</b>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

#### 9.4.4. Fase 4: Análisis del impacto a la tarifa de energía eléctrica

Como resultado de lo analizado en la fase anterior, se analizará el impacto y la variabilidad de las tarifas de energía eléctrica que conlleva la ejecución de obras con tecnología GIS y convencional.

Se elaborarán dos tablas comparativas, en la cuales se pueda observar el impacto en las tarifas de los pliegos tarifarios vigentes por la implementación de los dos tipos de tecnología.

Tabla X. **Variabilidad de las tarifas de energía eléctrica**

Tipo de Tarifa	TS vigentes Sep-21	Variación Unitaria de la tarifa			
		Con tecnología GIS	Variación %	Con tecnología AIS	Variación %
Tarifa Social EEGSA	Q 1.232748	Q	0.49 %	Q	- 0.00 %
Tarifa Baja Tensión Simple	Q 1.321121	Q	0.05 %	Q	- 0.00 %
<b>Promedio</b>		<b>Q</b>		<b>Q</b>	<b>-</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

## 9.5. Resultados esperados

Se espera un informe claro y conciso sobre las características técnicas de las subestaciones GIS utilizadas en Guatemala, así como sus ventajas y desventajas que conllevan la utilización de estas para el usuario de distribución final.

Así mismo, se espera una explicación clara de la metodología utilizada para la fijación de peajes ya que actualmente no se cuenta con un documento abierto al público en el cual se explique dicha metodología a detalle y el impacto económico en las tarifas de energía eléctrica por la implementación de ambas tecnologías.



Tabla XI. Resumen de resultados esperados

Preguntas de investigación	Objetivos	Fases (métodos)	Resultados esperados
Principal	General	Todas las fases	General
¿Cuáles son los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala?	Analizar y comparar los impactos económicos al peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala.	<b>Aplicación de las cuatro fases descritas en la metodología</b>	La variabilidad del monto de peaje y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala.
Auxiliar 1	Específico 1	Fase 2	Resultado (Fase 1)
¿Cuáles son las principales características que diferencian a las subestaciones GIS instaladas en Guatemala respecto de las subestaciones convencionales para justificar su construcción?	Analizar las principales diferencias técnicas de las subestaciones GIS y AIS instaladas en Guatemala que se consideraron para justificar la construcción de subestaciones GIS en la región central.	Análisis de la información recolectada en el trabajo de campo	Conocimiento de especificaciones técnicas de las subestaciones GIS hay en Guatemala, el sistema de transmisión al que pertenecen, su modalidad de ejecución y sus costos.
Auxiliar 2	Específico 2	Fase 3	Resultado (Fase 2)
¿Existe una diferenciación en la metodología utilizada por el ente regulador país para la fijación de peajes de las subestaciones GIS respecto a las subestaciones convencionales?	Comparar la metodología utilizada para el cálculo y fijación de peajes de las subestaciones GIS y convencionales.	Análisis e interpretación de la metodología del cálculo de peajes de las subestaciones GIS y convencionales	Conocimiento de la metodología de cálculo de peaje de las subestaciones GIS y convencionales en Guatemala.
Auxiliar 3	Específico 3	Fase 3	Resultado (Fase 3)
¿Cuál es el porcentaje de peaje adicional que perciben los transportistas propietarios de subestaciones GIS respecto de las subestaciones convencionales?	Ejecutar un análisis comparativo de los peajes fijados a las subestaciones GIS respecto a las subestaciones convencionales y su impacto en el monto del peaje del Sistema en la región central de Guatemala.	Análisis e interpretación de la metodología del cálculo de peajes	La comparativa de los montos peajes fijados de las subestaciones GIS, convencionales y su impacto en el monto del peaje del Sistema de la región central de Guatemala
Auxiliar 4	Específico 4	Fase 4	Resultado (Fase 4)
¿Cómo afecta al usuario de distribución final la implementación de subestaciones GIS respecto de las subestaciones convencionales?	Determinar el impacto en las tarifas de energía eléctrica del usuario de distribución final por la implementación de subestaciones GIS en comparación de las subestaciones convencionales.	Análisis del impacto a la tarifa de energía eléctrica	La comparativa del impacto a las tarifas de energía eléctrica por la implementación de ambas tecnologías.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Por la naturaleza del estudio de investigación y de la información que se analizará, se utilizarán técnicas de estadística descriptiva e inferencial.

Para la variable tipo de subestaciones eléctricas, se utilizará estadística inferencial, utilizando el método de análisis de varianza o ANOVA, se tomarán los datos de los peajes de transmisión de cada subestación GIS y convencional a analizar, con el fin de corroborar que estadísticamente la clasificación de ambas tecnologías es diferente.

Así también para la variable peajes, se utilizarán análisis de estadística descriptiva por medio del método de medidas de tendencia central, con el objetivo de determinar el peaje promedio que devengan el propietario de subestaciones eléctricas con ambos tipos de tecnología, esto mediante la toma de datos del VNR y peajes de todas las subestaciones cuyas características se delimitaron en la sección 3.4.

Asimismo, evaluar el impacto del peaje del Sistema de Subtransmisión de la región central de Guatemala, se tomará los datos de peaje promedio y fijos para cada subestación, se adicionará al peaje total del sistema a analizar y se realizará la comparación entre ambas tecnologías. Igualmente, con la variable de tarifas, en la cual se evaluará el impacto promedio que conlleva la aplicación de los diferentes tipos de subestaciones eléctricas.



# 11. CRONOGRAMA

Tabla XII. Cronograma de actividades

No	Descripción	Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
1	Solicitud de información a la UJP de la CNEE La CNEE amplía el plazo de 10 días más para presentar la información mediante la UJP- Prov.2021-143																																																
2	La CNEE entrega la información solicitada																																																
3	Análisis de la información entregada por la CNEE																																																
4	Solicitud de información adicional si se requiere																																																
5	Cálculo de peajes de las subestaciones GIS con tecnología convencional																																																
6	Análisis comparativo del Peaje de las subestaciones GIS y convencionales																																																
7	Cálculo y análisis del impacto en la tarifa del Peaje de las subestaciones con ambas tecnologías																																																
8	Análisis de resultados																																																
9	Proceso de elaboración del informe final																																																
10	Entrega y aprobación del informe final																																																
11																																																	

Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación se realizará con la información de subestaciones eléctricas de una empresa privada, la cual ya se obtuvo legalmente y se encuentra en posesión del estudiante mediante una solicitud de información a la Unidad de Información Pública de la CNEE.

Asimismo, dicho trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría, cuyo desglose se muestra a continuación:

Tabla XIII. Recursos necesarios para la investigación

No.	Recurso	Monto	Financiamiento
1	Internet	Q, 850.67	Propio
2	Renovación de suscripción de Microsoft 365	Q. 469.99	Propio
3	Papelería y útiles	Q. 500.00	Propio
4	Energía Eléctrica	Q. 544.00	Propio
5	Asesor	Q.2,500.00	Propio
6	Tiempo propio del investigador	Q.2,500.00	Propio
7	Plagscan	Q. 300.00	
8	Imprevistos (10 %)	Q. 766.47	Propio
<b>TOTAL</b>		<b>Q.8,431.13</b>	

Fuente: elaboración propia.

Estos montos son estimados para una duración de ocho meses, el cual es el tiempo estimado para realizar la investigación la investigación y la elaboración del trabajo final. Asimismo, dentro del monto total se contemplan los imprevistos, el cual es el 10 % de la sumatoria de los costos fijos. Por tanto, considerando la

información obtenida y los costos necesarios para realizar la investigación, se concluye que es factible llevar a cabo la investigación.



### 13. REFERENCIAS

1. Aceves, J., Fernández, O., y Torres, J. (2012). *Evaluación de la confiabilidad de subestaciones eléctricas de alta tensión* (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, México. Recuperado de <https://1library.co/document/oy86460q-evaluacion-confiabilidad-subestaciones-electricas-alta-tension.html>.
2. Administrador del Mercado Mayorista. (2006). *Norma de coordinación comercial No. 9. Asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal y secundarios*. Guatemala. Recuperado el 2021, de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc09.pdf>.
3. Ardila, S., y Ardila, J. (junio, 2011). Compactación de una subestación tipo intemperie existente a una subestación GIS tipo interior. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 5(1), 27-33. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/7066>.
4. Arreaza, K. (2020). *Diseño primario de subestaciones, subestaciones encapsuladas*. Lima: Autor.
5. Barrios, D. (2004). *Comparación técnico funcional y descripción de las subestaciones eléctricas de alta tensión encapsuladas en gas SF6 hexafluoruro de azufre* (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia. Recuperado de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0026198.pdf>.

6. Carrillo, C. (2018). *Montaje de subestación Antigua 69/13.8 kV aislada en gas Hexafluoruro de azufre, Antigua Guatemala, Sacatepéquez* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
7. Cojulún, C. (2020). *Fijación de peajes*. Guatemala: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2012). *Procedimiento para el cálculo de los valores eficientes para el desarrollo del EVAD. CNEE-217-2012*. Guatemala, Guatemala. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2012/CNEE%20217%202012.pdf>.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Fijación de peajes de transmisión 2013-2015*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://docplayer.es/34414694-Fijacion-de-los-peajes-de-transmision-abril-2013.html>.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Marco Legal del Sub-Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>.
11. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2021). *Normas comerciales*. Guatemala: Autor.

12. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2021). *Normas operativas*. Guatemala: Autor.
13. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2021). *Normas técnicas*. Guatemala: Autor.
14. Enríquez, G. (2005). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. México: Limusa, S.A.
15. Flores, A. (2010). *Reemplazo de subestaciones convencionales aisladas en aire por tecnología GIS (SF6) análisis técnico-económico* (tesis de licenciatura). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103759>.
16. Gobierno de la república de Guatemala. (2019). *Estimaciones y proyecciones nacionales de población*. Guatemala: Autor. Recuperado de [https://censopoblacion.gt/archivos/presentacion\\_estimaciones\\_y\\_proyecciones\\_de\\_poblaci%C3%B3n.pdf](https://censopoblacion.gt/archivos/presentacion_estimaciones_y_proyecciones_de_poblaci%C3%B3n.pdf).
17. Karsten, P., Philippe, P., y GF, M. (junio, 2006). New aspects of reliability in gas insulated substations. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Conferencia llevada a cabo en Montreal, Canadá. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1709523>.
18. Mejía, S. A. (2003). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Colombia: Autor.

19. Morales, W. (2015). *Estudio de prefactibilidad para la ampliación de una subestación de operación de 69 kV del sistema nacional interconectado a una subestación de potencia 230 kV, en la ciudad capital de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1794/1/Williams%20Armando%20Morales%20Monroy.pdf>.
20. Noriega, S. (2021). *Mercado Mayorista*. Guatemala: Autor.
21. Phil, B., y Hermann, K. (junio, 2006). Gas insulated substation GIS. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Conferencia llevada a cabo en Montreal, Canadá. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1709113>.
22. Phil, B., y Hermann, K. (junio, 2005). Introduction and Applications of gas insulated substation (GIS). Conferencia llevada a cabo en California, Estados Unidos. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1489251/metrics#metrics>.
23. Quispe, W. (2019). *Mejoramiento de la confiabilidad mediante la reubicación de seccionadores en el alimentador A4803 de la Subestación Chanchamayo. Huancayo* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. Recuperado de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5210/T010\\_47225111\\_T.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5210/T010_47225111_T.pdf?sequence=1).

24. Siguí, A. (2018). *Análisis técnico y económico del plan de expansión del sistema de transporte y su impacto en la calidad del servicio de distribución, de las redes de 69 kV de la ciudad de Guatemala* (Tesis de licenciatura. Universidad San Carlos, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9147/>.
25. Sosa, J. (2002). *Subestaciones eléctricas de alta tensión aisladas en gas. La Plata, Argentina.* Recuperado de [https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/sosaesca/GIS%20DE%20ALTA%20TENSION\\_AAR.pdf](https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/sosaesca/GIS%20DE%20ALTA%20TENSION_AAR.pdf).
26. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2020). *Caracterización de las subestaciones eléctricas de transmisión y distribución que hagan parte del SIN del STR o del SDL Dentro de la Región Central.* Bogotá, Colombia: Autor. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23828/Guti%C3%A9rrezSalazarLuisAntonio2020.pdf?sequence=1>.
27. Vidal, M., y Hernández, G. (2013). *Interacción transitoria por proximidad entre la subestación GIS a 115 kV de la refinería Francisco I Madero con la subestación GIS de la Comisión Federal de Electricidad* (Tesis de maestría). Tecnológico Nacional de México, México. Recuperado de <http://200.188.131.162:8080/jspui/handle/123456789/323>.



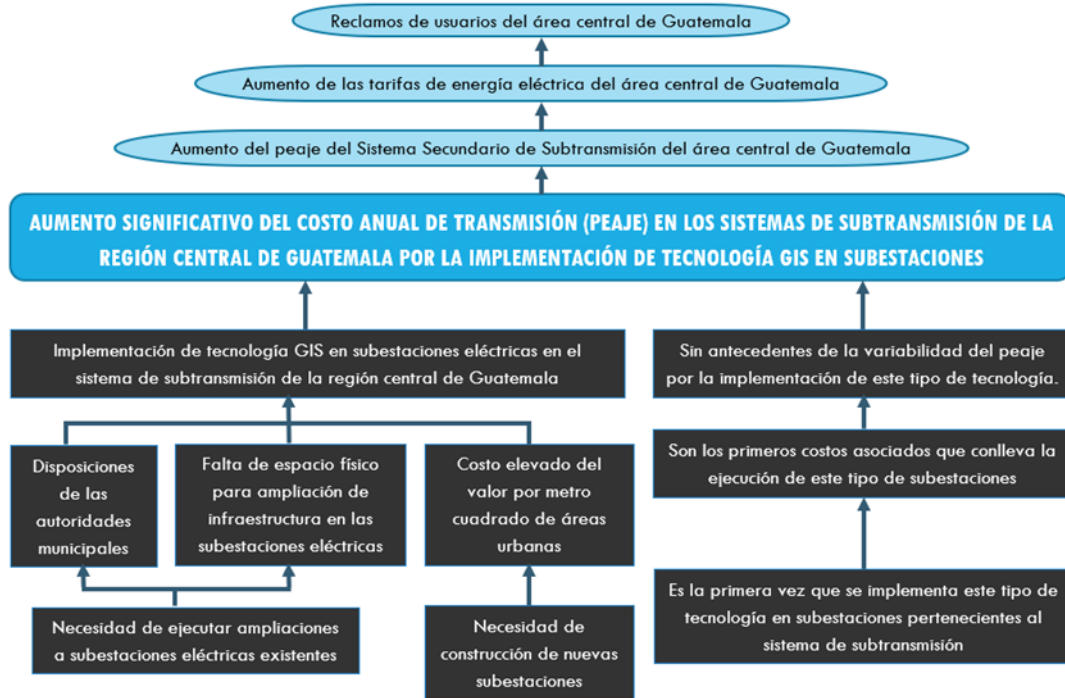
# 14. APENDICES

## Apéndice 1. Matriz de coherencia

PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN		OBJETIVOS		Metodología	Resultados Esperados
	Principal	Auxiliares	General	Específicos		
No se cuenta con una investigación abierta en la cual se analicen las ventajas y desventajas en el aspecto técnico, económico y regulatorio sobre la implementación de tecnología GIS en las subestaciones eléctricas para el Sistema de Subtransmisión de la región central en Guatemala	¿Cuáles son los impactos económicos al Peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala?	¿Cuáles son las principales características que diferencian a las subestaciones GIS instaladas en Guatemala respecto de las subestaciones convencionales para justificar su construcción?	Analizar y comparar los impactos económicos al Peaje del sistema de transmisión involucrado y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones eléctricas GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala.	Analizar las principales características que diferencian a las subestaciones GIS instaladas en Guatemala respecto de las subestaciones convencionales que se consideraron para justificar su construcción en la región central.	Aplicación de las cuatro fases descritas en la metodología	La variabilidad del monto de Peaje y al de la tarifa de energía eléctrica por la implementación de subestaciones GIS y AIS de 69 kV en la región central de Guatemala.
	¿Existe una diferenciación en la metodología utilizada por el ente regulador país para la fijación de Peajes de las subestaciones GIS respecto a las subestaciones convencionales?	¿Cuáles son las principales características que diferencian a las subestaciones GIS instaladas en Guatemala respecto de las subestaciones convencionales para justificar su construcción?	Analizar si existen una diferenciación en metodología utilizada para el cálculo y fijación de Peajes de las subestaciones GIS y convencionales.	Conocimiento de cuales subestaciones GIS hay en Guatemala, el sistema de transmisión al que pertenecen, su modalidad de ejecución y sus costos.		
	¿Cuál es el porcentaje de Peaje adicional que perciben los transportistas propietarios de subestaciones GIS respecto de las subestaciones convencionales?		Ejecutar un análisis comparativo de los Peajes fijados a las subestaciones GIS respecto a las subestaciones convencionales y su impacto en el monto del Peaje del Sistema en la región central de Guatemala.	Analizar e interpretación de la metodología del cálculo de Peajes de las subestaciones GIS y convencionales		Conocimiento de la metodología de cálculo de Peaje de las subestaciones GIS y convencionales en Guatemala.
	¿Cómo afecta al usuario de distribución final la implementación de subestaciones GIS respecto de las subestaciones convencionales?		Determinar el impacto en las tarifas de energía eléctrica del usuario de distribución final por la implementación de subestaciones GIS en comparación de las subestaciones convencionales.	Analisis del impacto a la tarifa de energía eléctrica		La comparativa de los montos peajes fijados de las subestaciones GIS, convencionales y su impacto en el monto del Peaje del Sistema de la región central de Guatemala
						La comparativa del impacto a las tarifas de energía eléctrica por la implementación de ambas tecnologías.

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.