



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR
NUEVO DE REEMPLAZO A UN TRANSPORTISTA, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE
SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS SF₆ Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS EN LA
ASIGNACIÓN DE PEAJE POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Eddy Froylán Cutzal Granillo

Asesorado por el MBA. Ing. Luis Eduardo Hernández González

Guatemala, abril de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR
NUEVO DE REEMPLAZO A UN TRANSPORTISTA, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE
SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS SF₆ Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS EN LA
ASIGNACIÓN DE PEAJE POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDDY FROYLÁN CUTZAL GRANILLO

ASESORADO POR EL MBA. ING. LUIS EDUARDO HERNÁNDEZ GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL 2021

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR
NUEVO DE REEMPLAZO A UN TRANSPORTISTA, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE
SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS SF₆ Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS EN LA
ASIGNACIÓN DE PEAJE POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 06 de noviembre 2020.

Eddy Froylán Cutzal Granillo

Ref. EEPFI-1383-2020

Guatemala, 10 de noviembre de 2020

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR NUEVO DE REEMPLAZO A UN TRANSPORTISTA, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS SF₆ Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS EN LA ASIGNACIÓN DE PEAJE POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por el estudiante **Eddy Froylán Cutzal Granillo** carné número **200819246**, 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 Gestión de Mercados Eléctricos 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,



Luis Eduardo Hernández González
Mtro. Luis Eduardo Hernández González
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"

Juan Carlos Fuentes Montepeque
Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético



Edgar Darío Álvarez Coti
Mtro. Edgar Darío Álvarez Coti
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería






EEP-EIME-028-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería 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: **MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR NUEVO DE REEMPLAZO A UN TRANSPORTISTA, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS SF₆ Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS EN LA ASIGNACIÓN DE PEAJE POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por el estudiante universitario Eddy Froylán Cutzal Granillo, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

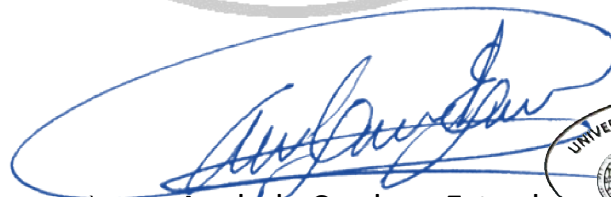


Guatemala, noviembre de 2020

DTG. 150-2021

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 en Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL MODELO PARA LA DETERMINACIÓN DEL VALOR NUEVO DE REEMPLAZO A UN TRANSPORTISTA, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE SUBESTACIONES ENCAPSULADAS EN GAS SF6 Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS EN LA ASIGNACIÓN DE PEAJE POR LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, presentado por el estudiante universitario: **Eddy Froylán Cutzal Granillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la Virgen María	Por ser los artífices de mi vida, brindándome la sabiduría y fortaleza necesaria para poder cumplir esta meta.
Mi madre	Blanca Estela Granillo Flores, por todo su amor, esfuerzo, comprensión, apoyo y ser un ejemplo de lucha, por ser mi compañía en todos mis pasos a lo largo de mi vida.
Mi padre	Froilán Cutzal Xoyón, por su apoyo, amor y esfuerzo brindado en poder alcanzar mi meta.
Mis hermanos	Ericka, Gerardo, Rodolfo y Henry Cutzal Granillo por sus consejos y apoyo. Todos reciban este triunfo como muestra del amor que les tengo.
Mi hermana	Diana Priscila Cutzal Granillo por ser un ángel que guía a nuestra familia.
Mis sobrinos	Por su compañía, que le suma alegría a mi vida y me motivan a ser mejor persona.
Mi novia	Cindy Paola Morales Zamora, por su comprensión, motivación y apoyo en el cumplimiento de esta meta.

Mis amigos

Que me han acompañado y que hemos coincidido en algún momento en esta vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala
USAC**

A la gloriosa Tricentaria, por ser mi casa de estudios y permitir mi formación académica como profesional.

Facultad de Ingeniería

Por forjarme y desarrollar en mí las destrezas que me han permitido desenvolverme profesionalmente.

**Instituto Técnico
Vocacional Dr. Imrich
Fischmann**

Al Instituto que desarrollo y fortaleció mis habilidades técnicas que me permiten hasta el día de hoy ser una persona de valor dentro de la sociedad.

Mis amigos de la USAC

A mis amigos de la FIUSAC, del grupo de becados, grupo de natación y de diferentes facultades por compartir tantas experiencias que son gratos recuerdos.

**Mis amigos del ITV
promoción F-46**

Gracias por los buenos momentos compartidos y por ser parte importante durante estos años.

**Mi asesor y coasesor
de tesis**

Al Ing. Luis Hernández e Ing. Daniel Vásquez por su apoyo incondicional y dedicación en el buen desarrollo del presente trabajo compartiéndome su conocimiento.

Mis familiares

A los que ya han partido y a los que aún me acompañan brindándome consejos y apoyo.

**Transportista Eléctrica
Centroamericana
TRELEC S. A.**

Por haberme permitido desarrollarme profesionalmente durante estos años brindándome la experiencia necesaria y formar parte de reconocida institución.

**Instituto Nacional
Experimental de educación
básica con orientación
Ocupacional PEMEM II**

Por permitirme dar los primeros pasos en el campo de la electricidad así como el desarrollo de conocimientos de diversas áreas.

Colegio Santa María

Por complementar la formación de mis principios y valores, así como fortalecer mi relación con Dios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	7
3.3. Formulación del problema	9
3.3.1. Pregunta central.....	9
3.3.2. Preguntas auxiliares	9
3.4. Delimitación del problema.....	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13

6.	NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
6.1.	Esquema de la solución	15
7.	MARCO TEÓRICO	17
7.1.	Sistema eléctrico de potencia.....	17
7.2.	Subestaciones eléctricas.....	18
7.2.1.	Equipo de una subestación eléctrica	19
7.2.2.	Configuraciones de una subestación eléctrica	21
7.3.	Subestaciones GIS (<i>Gas Insulated Substation</i>).....	23
7.3.1.	Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	26
7.4.	Mercado eléctrico	27
7.5.	Transportista	32
7.5.1.	Pago por canon anual	35
7.5.2.	Pago de peaje nacional	35
7.6.	Unidades de Propiedad Estándar (UPE)	37
7.7.	Valor Nuevo de Reemplazo (VNR).....	39
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA	47
9.1.	Características del estudio	47
9.2.	Unidades de análisis	48
9.3.	Variables	48
9.4.	Fases del estudio	50
9.4.1.	Fase 1	50
9.4.2.	Fase 2	50
9.4.3.	Fase 3	50
9.4.4.	Fase 4	51

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	57
11.	CRONOGRAMA.....	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
13.	REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol de problemas	8
2.	Subestación de maniobras	21
3.	Partes de una subestación GIS	24
4.	Subestación encapsulada en gas SF ₆ – barra simple más barra de transferencia	26
5.	Funcionamiento del sector eléctrico de Guatemala	29
6.	Representación de una subestación mediante UCE	39

TABLAS

I.	Valores de tensión utilizados en Guatemala para transporte de energía eléctrica.....	18
II.	Implicaciones del VNR	40
III.	Definición de variables	48
IV.	Variables pregunta principal	51
V.	Variables pregunta auxiliar 1	52
VI.	Variables pregunta auxiliar 2	53
VII.	Variables pregunta auxiliar 3	54
VIII.	Variables pregunta auxiliar 4	55
IX.	Cronograma de actividades	61
X.	Estudio de factibilidad	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
°C	Grados Celsius
SF₆	Hexafluoruro de azufre
X_i	i-ésima variable en estudio
i	Índice de sumatoria
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora
kV	Kilovoltio
MW	Megavatio
MWh/día	Megavatio-hora al día
ppmv	Partes por millón en volumen
Σ	Sumatoria
CF₄	Tetrafluoruro de carbono

GLOSARIO

AIS	<i>Air Insulated Substation</i> . Subestación aislada en aire.
Aislamiento	Elemento con propiedades de escasa capacidad de conducir la energía eléctrica.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista. Institución encargada de la operación y administración del mercado eléctrico de Guatemala.
Bahía de conexión	Es el conjunto de equipos de maniobra, protección, control y medición para poder conectar una línea, un transformador o un circuito de distribución.
CAT	Costo Anual de la Transmisión.
CDT	Costo Diario de Transmisión.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
DM	Número de días que contenga el mes.
FRC	Factor de Recuperación de Capital.

GIS	<i>Gas Insulated Substation</i> . Subestación Aislada en Gas.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Es una organización que se encarga de la normalización en de los temas relacionados a lo eléctrico, electrónico y tecnologías.
IPC	Índice de Precios al Consumidor.
ISO	<i>Independent System Operator</i> . Operador Independiente del Sistema, el cual en Guatemala lo ejerce como tal el AMM.
ISR	Impuesto Sobre la Renta.
LGE	Ley General de Electricidad.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
NCC	Normas de Coordinación Comercial.
NTDOST	Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica.
P	Potencia eléctrica.

Peaje	Pago que obtiene un agente transportista por el uso de sus instalaciones de transmisión por parte de otros agentes para el transporte de potencia y energía eléctrica.
PET	Plan de Expansión del Sistema de Transporte.
PETNAC	Plan de Expansión de Transmisión Nacional.
PPI	Índice de Precios al Productor.
Red de transmisión	Sistema compuesto por subestaciones eléctricas y líneas de transmisión capaces de transportar la energía eléctrica a grandes distancias y por lo general utilizan altos voltajes, sirven para interconectar el sistema de distribución con las plantas generadoras.
SNI	Sistema Nacional Interconectado.
STEE	Servicio de Transporte de Energía Eléctrica.
Subestación Eléctrica	Es una instalación compuesta por equipos de potencia, control, protección, medición, estructuras, equipo de comunicación y toda una infraestructura para interconectar los sistemas de distribución con el parque de generación por medio de las líneas de transmisión.

Tensión eléctrica	Es una magnitud física que determina la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos distintos, también es conocida como voltaje.
Transportista	Es un agente del mercado mayorista que posee instalaciones destinadas a transportar energía eléctrica y las cuales tienen una capacidad de por lo menos 10 MW.
TRELEC S.A.	Transportista Eléctrica Centroamericana S.A.
UCE	Unidades de Construcción Estándar.
UPE	Unidades de Propiedad Estándar.
VAD	Valor Agregado de Distribución. Es el costo capital y de operación de una red de distribución de una empresa eficiente en un área determinada.
VNR	Valor Nuevo de Reemplazo.

RESUMEN

El presente diseño de investigación se manifiesta por la necesidad de evaluar la forma en que se le reconoce actualmente a los agentes transportistas, la implementación de nuevas tecnologías en sus instalaciones, específicamente al construir subestaciones encapsuladas en gas SF₆ (subestaciones GIS), esto derivado a que este tipo de instalaciones actualmente empiezan a ser más constantes y el reconocimiento apropiado debe de estar en constante evaluación, esto derivado a que las instalaciones anteriores con la misma tecnología diferían en el peaje asignado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Se indican los conceptos básicos de un sistema eléctrico, así como la forma de operar y los agentes que lo componen, se puede visualizar de forma práctica los componentes de una subestación, así como los diferentes tipos y configuraciones de subestaciones.

Aunque se entiende que existen equipos y componentes con la misma función en una subestación AIS y una GIS, es importante indicar como se clasifican estos equipos en cada uno, y si existen otros componentes que le den la particularidad a cada uno de los diferentes tipos de subestación, se enumerará las características y los parámetros eléctricos que se toman en cuenta para un adecuado funcionamiento de una subestación.

El modo de funcionar el mercado eléctrico es extenso en todos sus conceptos que el presente trabajo se enfoca en cómo se realiza la asignación de peaje a un agente transportista, empezando por indicar la interacción entre los

agentes y grandes usuarios en el mercado mayorista, así como describir las transacciones básicas en los cuales se ve involucrado el transportista.

Conceptualmente la asignación del peaje es similar en varios mercados eléctricos de otros países, ya que el mercado eléctrico nacional tomo el modelo funcional de otro país, aplicando lecciones aprendidas e implementando ciertos criterios ajustados a las necesidades locales, por eso mismo las unidades de propiedad estándar o UPE son medidas que establecen de forma objetiva y simplificada la dimensión de las construcciones o componentes de un proyecto como tal, para que de esta manera se pueda normalizar y facilitar el manejo, siempre al margen de la ley.

Con los conceptos básicos establecidos de procesos, se pueden implementar los conceptos económicos, los cuales determinan el valor de las instalaciones y la forma en que se puede llegar a realizar una comparativa de las afectaciones que puede tener un agente transportista por la implementación de subestaciones encapsuladas en gas SF₆.

1. INTRODUCCIÓN

Para un agente transportista, uno de sus ingresos económicos es representado por medio de la asignación del peaje, el cual se determina por unidades constructivas que determina la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, conforme a valores optimizados de precios de mercado al momento de realizar los cálculos. Estas unidades constructivas se especifican para cada uno de los componentes de una subestación y formando así también valores globales para ciertas configuraciones.

El presente diseño de investigación desarrolla una propuesta de modelado para las unidades constructivas correspondientes a una subestación encapsulada en gas SF₆ (GIS), esto derivado a que actualmente no existen unidades adecuadas y para la asignación del peaje, estas unidades son calculadas con unidades constructivas de subestaciones convencionales y lo cual puede perjudicar económicamente los ingresos de un transportista.

Además, se analiza el impacto económico que tiene un transportista al tener asignadas unidades de propiedad estándar (UPE's) de subestaciones convencionales en lugar de UPE's de subestaciones GIS y analizar cómo afectan en sus principales índices económicos al transportista.

En este diseño se realizará un análisis para un modelado de las unidades constructivas para subestaciones encapsuladas y las mejoras de un transportista mediante la línea de investigación: nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica, literal c) que indica: análisis e impactos de la innovación tecnológica.

2. ANTECEDENTES

El Sistema Nacional Interconectado (SNI) de Guatemala, al pasar de los años se ha ido robusteciendo, incrementando confiabilidad, selectividad, flexibilidad y seguridad, estableciendo actualmente cuáles son las mejores alternativas y ubicación de los proyectos que provean estas características a través de estudios eléctricos de factibilidad técnica.

Dado que las áreas urbanas en la cual se concentran, por lo general la mayor demanda de energía eléctrica, siendo para el caso de Guatemala, departamento de Guatemala donde se concentran muchas importantes cargas de industrias, hoteles, comercios y hospitales entre otros, es importante mantener el suministro de energía eléctrica en la calidad que se requiere, de acuerdo a la normativa del subsector eléctrico, por lo que se deben de realizar las inversiones pertinentes que ayuden a mantener los parámetros adecuados de energía eléctrica, para esto es necesario realizar inversiones en subestaciones eléctricas, las cuales ayudan en darle ciertas características al sistema eléctrico.

Estas inversiones que realiza el transportista son reconocidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) por medio de la asignación del peaje y su unidad de cálculo es la Unidad de Propiedad Estándar (UPE), la cual se define como:

“Elementos necesarios para satisfacer los requerimientos básicos de la red de transmisión de energía eléctrica, considerando el hecho de que las instalaciones deben ser óptimamente dimensionadas” (Vásquez, 2015, p. 106).

Actualmente para las unidades de propiedad estándar, derivado a que la mayoría de las inversiones que se han venido realizando por medio de los transportistas son en subestaciones aisladas en aire o convencionales, hasta este momento no había existido necesidad de reevaluar la forma en que se calculan estas UPE. En la actualidad dado el crecimiento poblacional del país, la demanda de energía eléctrica, así como la reducción en la disponibilidad de terrenos para la construcción de subestaciones eléctricas convencionales, es imperativo suplir las necesidades inicialmente planteadas a través de inversiones en subestaciones aisladas en gas SF₆.

La tecnología aislada en gas SF₆ sustituye a la tecnología aislada en aire, debido a que el aislamiento en gas SF₆ hace que sus distancias sean más cortas, al contrario que si se utiliza aire como medio aislante, aumentaría su distancia para aislamiento, esto hace que una subestación aislada en aire aumente el área que necesita para su instalación y dado que en áreas urbanas no se tienen suficientes espacios para una subestación aislada en aire, se hace necesario instalar subestaciones encapsuladas en gas SF₆ o GIS (*Gas Insulated Substation*).

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica no ha establecido actualmente una UPE para reconocer adecuadamente una infraestructura básica con aislamiento de SF₆ por medio del peaje a un agente transportista, por lo que de no reconocerle adecuadamente tendrá inconvenientes económicos que afectarán las proyecciones financieras que se pudieran realizar, ya que en primera instancia se considera que afectará al VNR (Valor Nuevo de Reemplazo), que Coronado (2012) lo define como:

Es el costo de reposición utilizando valores de mercado actuales para sustituir los bienes físicos y obras que permiten proporcionar el mismo

servicio idéntico al suministrado por las obras y bienes físicos existentes, pero usando tecnología reciente y buscando el mínimo costo, es de esta manera que se utiliza la definición de valorización de una instalación haciendo énfasis en obtener el VNR de las instalaciones. (p. 158)

Además, indica que: “la anualidad de la inversión será calculada sobre la base del Valor Nuevo de Reemplazo de las instalaciones, óptimamente dimensionadas” (Decreto 93-96, 1996, art. 67, p. 16). Dado los argumentos anteriores se hace importante reevaluar si estos procesos van orientados a obtener una estandarización y optimización para reconocer los costos incurridos en que el agente transportista recae para implementar una GIS.

Actualmente se han realizado trabajos de investigación en los cuales se detallan la forma en que la Comisión Nacional de Energía Eléctrica establece los procesos y parámetros para poder agenciar estas UPE y así reconocer sus instalaciones al transportista, también se han realizado investigaciones que hacen un análisis técnico-económico para la reposición de equipos de potencia en una subestación eléctrica y como impactaría económicamente al agente transportista; de momento para el problema que se plantea en la presente investigación es el reconocimiento inadecuado de la CNEE de las subestaciones aisladas en gas SF₆ y en las cuales ya hay agentes transportistas que han invertido en esta tecnología sin haber sido reconocidas sus instalaciones apropiadamente.

Estas investigaciones citadas anteriormente dan a entender la forma en que se realiza la asignación de las UPE, así como los impactos económicos en el reconocimiento de las subestaciones eléctricas en las que invierte un agente transportista; además analizar los indicadores tales como el VNR, que determina el valor óptimo que puede invertir un transportista.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tal como se marcan en los antecedentes, existe necesidad operativa en áreas urbanas de realizar implementaciones de subestaciones GIS en lugares donde la situación poblacional no permite considerar terrenos amplios para subestaciones AIS, por lo que la inversión en esta tecnología ha ido aumentando con el pasar del tiempo.

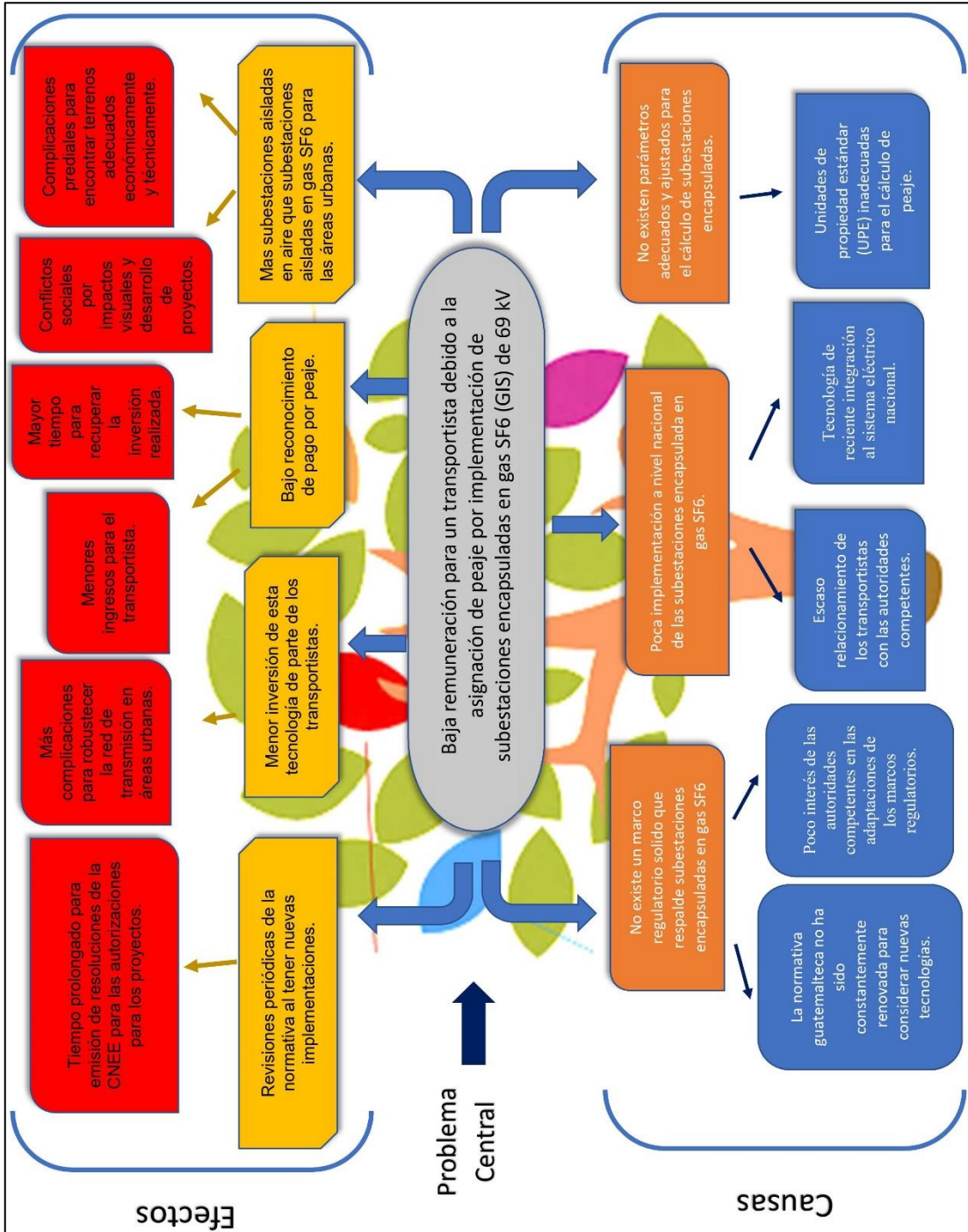
3.1. Contexto general

Actualmente se han implementado ya en el Sistema Nacional Interconectado varias subestaciones encapsuladas en gas SF₆, pero la comisión no tiene una UPE adecuada para el reconocimiento del peaje de un transportista, el reconocimiento para el pago del peaje lo implementan actualmente a través de la asignación de infraestructura básica de una convencional y esto impacta económicamente a un transportista.

3.2. Descripción del problema

El proceso el cual implementa la Comisión Nacional de Energía Eléctrica para establecer la unidad constructiva para fijación del peaje no ha sido determinado adecuadamente para infraestructura básica encapsulada en gas SF₆ y analizada recientemente, ya que se han estado utilizando UPE's para infraestructura básica aisladas en aire, y esto perjudica económicamente a los transportistas que pretenden o han instalado este tipo de subestaciones eléctricas. El árbol de problemas que se muestra en la figura 1 del cual se determinó la necesidad anteriormente planteada se encuentra a continuación:

Figura 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

3.3. Formulación del problema

La formulación del problema propuesto anteriormente se desarrollará en una pregunta central, que llevará a obtener el objetivo principal, y de la misma manera se formularán de forma desglosada cuatro preguntas auxiliares, que formarán los objetivos específicos que llevarán a cumplir secuencialmente con el objetivo principal.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo analizar la determinación del VNR a un agente transportista por la implementación de subestaciones encapsuladas en gas SF₆ y sus efectos económicos en la asignación del peaje por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)?

3.3.2. Preguntas auxiliares

Para poder obtener objetivos específicos que ayuden a desarrollar y concretar los resultados esperados del presente diseño de investigación, se desglosaron cuatro preguntas auxiliares de los cuales se alinean los objetivos específicos, siendo las preguntas las siguientes:

- ¿Cuáles son los procesos, alcances y normas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) que establecen una remuneración adecuada del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (STEE) para el transportista por instalar subestaciones encapsuladas en gas SF₆?

- ¿Qué parámetros técnicos son evaluados para la determinación del peaje para un agente transportista por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)?
- ¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre la unidad constructiva modelada para una subestación aislada en gas SF₆ y una unidad constructiva de una subestación aislada en aire que fija la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)?
- ¿Cuáles son los efectos económicos para un agente transportista por la remuneración inadecuada por peaje para una subestación encapsulada en gas SF₆?

3.4. Delimitación del problema

Para el análisis del tema se verificará las unidades constructivas que conforman una subestación aislada en aire y sus elementos principales, a la vez se realizará la propuesta de un modelado para unidades constructivas para los proyectos con tecnología encapsulada en gas SF₆, además se realizará un análisis del impacto económico comparando el uso de UPE de una subestación en aire con la UPE gas SF₆.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente diseño de investigación corresponde a la línea de investigación de “Nuevas tecnologías para generación y transmisión de energía eléctrica” que se clasifica específicamente en el inciso c) que corresponde al “Análisis e impactos de la innovación tecnológica”.

Para esto es necesario establecer la metodología más adecuada para el cálculo del peaje para subestaciones encapsuladas en gas SF₆, esto derivado a que actualmente no se cuenta con las unidades constructivas óptimas para este tipo de instalación, y esto repercute en un reconocimiento para cualquier transportista, que por consiguiente tendrá una afectación económica en tener reconocidas sus instalaciones con un valor más bajo a lo que ha invertido.

Al tener un reconocimiento adecuado de las subestaciones encapsuladas, permite tener una mejor rentabilidad al agente transportista y que a su vez le permitirá prestar un mejor servicio a través de una mayor inversión en su operación y mantenimiento.

Así mismo mediante un análisis económico se constatará los efectos que provoca el no tener unas adecuadas unidades constructivas y su efecto en los índices de Valor Nuevo de Reemplazo (VNR), además se realizará una comparativa entre el valor que recibiría si se le reconoce como una subestación aislada en aire y una subestación aislada en gas SF₆ y sus repercusiones correspondientes.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un modelo para la determinación del VNR a un agente transportista por la implementación de subestaciones encapsuladas en gas SF₆ y analizar sus efectos en la asignación del peaje hacia el transportista por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

5.2. Específicos

- Identificar los procesos, alcances y normas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) que establecen la remuneración del peaje para el transportista por instalar subestaciones encapsuladas en gas SF₆.
- Evaluar los parámetros técnicos que definen la determinación y asignación del peaje para un agente transportista por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).
- Comparar y establecer diferencias y similitudes entre la unidad constructiva modelada de una subestación aislada en gas SF₆ y una unidad constructiva de una subestación aislada en aire que actualmente fija la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).
- Analizar los impactos económicos para un agente transportista por la remuneración inadecuada por peaje para una subestación encapsulada en gas SF₆.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El reconocimiento del Costo Anual de la Transmisión (CAT) representa el principal ingreso para la mayoría de agentes transportistas y el cual es determinado y asignado por la Comisión Nacional de Energía (CNEE), así mismo estas asignaciones son publicadas en el mes de enero cada dos años en el Diario Oficial y se espera que sea asignado de forma correcta conforme los activos que actualmente posee, la forma en que la CNEE publica estas asignaciones es por medio de resoluciones en el cual detalla el nuevo valor de peaje.

Actualmente para el transportista, si este posee subestaciones encapsuladas en gas SF₆ no cuenta con una asignación adecuada, esto debido a que no existen unidades constructivas para infraestructura básica de subestaciones encapsuladas en gas SF₆ y se estima que la Comisión está reconociendo estas subestaciones encapsuladas como aisladas en aire; esto podría afectar al transportista debido a que la inversión que se realiza para una subestación GIS es mayor a la inversión de una subestación aislada en aire, por lo tanto el reconocimiento del peaje debe de ser proporcional a esta inversión, esto para que el transportista no se vea afectado en sus índices económicos al tener menor reconocimiento.

6.1. Esquema de la solución

Se realizará un análisis de como actualmente reconoce la CNEE las nuevas instalaciones, tanto para las subestaciones convencionales como para las subestaciones GIS y los aspectos que considera para establecer las unidades constructivas, y con base a estas especificaciones se realizará una propuesta de

modelado de cómo se determina el proceso de peaje y sus variables para subestaciones GIS correspondiente a sus equipos de maniobras, esto para realizar una comparativa con lo que se está asignando de peaje y publicando a través de las resoluciones y los resultados que se obtengan del modelado. Además, se realizará una evaluación para establecer el impacto económico sobre un agente transportista cuando se le asigna y notifica por medio de las resoluciones, contra el asignado del peaje por medio del modelado propuesto.

7. MARCO TEÓRICO

La energía eléctrica es una necesidad hoy en día, la cual al pasar el tiempo se ha vuelto imprescindible; un sistema eléctrico de potencia es indispensable para cubrir dicha necesidad, por lo tanto, la generación, transformación, transporte y distribución son procesos por considerar para una eficiente cobertura de la energía eléctrica en un país. Las subestaciones eléctricas son puntos donde convergen diversos elementos de los procesos en un sistema eléctrico de potencia, tales como líneas de transmisión, transformadores y líneas de distribución.

7.1. Sistema eléctrico de potencia

Está compuesto por una agrupación de elementos que tienen como finalidad llevar la energía eléctrica desde la fuente de generación hasta el consumidor, por medio de procesos tales como: generación, transformación, transmisión, subtransmisión y distribución.

Para lograr un correcto suministro de energía eléctrica, el sistema eléctrico se vale de generadores, líneas de distribución, líneas de transmisión subestaciones eléctricas con diversos elementos como transformadores, interruptores, seccionadores, equipos de compensación reactiva, entre otros; esto para proporcionar una continuidad del servicio con una regulación de tensión a la frecuencia requerida por el propio sistema y con los niveles de tensión utilizados en Guatemala, tal como lo define la norma: Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica (1999).

Tabla I. **Valores de tensión utilizados en Guatemala para transporte de energía eléctrica**

TABLA No 1	
TENSION	
Nominal KV	Máxima de Diseño KV
69	72.5
138	145
230	242

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (1999). *Normas técnicas de diseño y operación del servicio de transporte de energía eléctrica –NTDOST*. Consulta: 15 de febrero de 2020. Recuperado de http://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/NTDOST_PUBLICADA.pdf.

7.2. Subestaciones eléctricas

Es una instalación que posee un conjunto de equipos, los cuales son los encargados de dirigir y transformar el flujo de energía en un sistema de potencia y a la vez proteger la estabilidad de este por medio de elementos de protección automáticos. Esquemáticamente se puede definir una subestación como la implementación y desarrollo de un nodo en el sistema de potencia. Una subestación eléctrica cumple las siguientes funciones:

- **Explotación:** dirige el flujo de potencia de manera eficaz, dando fiabilidad y seguridad al sistema, y disminuyendo de la mejor manera pérdidas energéticas.
- **Interconexión:** en una subestación convergen diferentes componentes de la estructura de un sistema de potencia de similar o diferente tensión.

- Seguridad: protege el sistema en caso de cualquier falla.

Las dos clasificaciones de las subestaciones eléctricas por su funcionalidad son las siguientes:

- Subestación de transformación: pueden ser elevadoras o reductoras de tensión, las cuales cumplen dicha función por medio de un transformador de potencia. Estas pueden ser utilizadas para conectar un generador al sistema de potencia, o ya sea para derivar circuitos de distribución.
- Subestación de maniobras: en esta convergen varias líneas de transmisión para ser interconectadas para que el flujo de energía sea distribuido por diferentes rutas.

La clasificación de las subestaciones eléctricas por su sistema de aislamiento se divide en AIS (*Air Insulated Substation*), las cuales son subestaciones eléctricas que poseen equipos que usan como elemento aislante el aire; en GIS (*Gas Insulated Substation*), que son subestaciones eléctricas que poseen equipos que usan como elemento aislante gas, comúnmente el Hexafluoruro de azufre (SF_6), estas pueden ser en instalaciones a la intemperie e instalaciones en interior y están las subestaciones híbridas que son subestaciones eléctricas que poseen secciones AIS y secciones GIS en sus instalaciones.

7.2.1. Equipo de una subestación eléctrica

Una subestación eléctrica está compuesta de diversos equipos y con diferentes funciones, esto hace que sea una instalación compleja para lograr cumplir la función para la cual fue diseñada. Debido a esto, se puede nombrar el

equipo principal del cual está compuesto una subestación eléctrica, entre los cuales están:

- Seccionadores
- Transformadores de instrumento
- Sistemas de control, medida y protección
- Servicios auxiliares
- Cuchillas y fusibles
- Estructuras metálicas
- Sistema de tierras
- Sistema de comunicación
- Interruptores de potencia
- Transformadores de potencia
- Pararrayos

Asimismo, se debe considerar la infraestructura básica de una subestación eléctrica como las instalaciones adicionales necesarias para el funcionamiento de la misma, que incluye el terreno, las estructuras metálicas (pórticos y vigas), red de tierras, sistemas auxiliares, comunicaciones, entre otros.

Figura 2. **Subestación de maniobras**



Fuente: elaboración propia. Subestación Petapa, ciudad de Guatemala, TRELEC S.A.

7.2.2. Configuraciones de una subestación eléctrica

Determinada por el arreglo del equipo electromecánico de patio es como se designa una configuración de una subestación eléctrica, los cuales se encuentran al mismo nivel de tensión, esto permite establecer los grados de flexibilidad, confiabilidad y seguridad de maniobrabilidad, transformación y distribución de la energía eléctrica.

Un sistema de potencia permite tener diferentes características de operación a través de sus subestaciones y configuraciones anteriores, las cuales se define como:

- Flexibilidad: es la propiedad de la instalación que permite acoplarse a las distintas condiciones que se presenten en el sistema debido a mantenimientos, contingencias y cambios operativos.
- Seguridad: es la propiedad de una subestación para poder mantener la continuidad del servicio sin que tenga interrupción por alguna falla de los equipos de potencia.
- Confiabilidad: es la probabilidad en una subestación de que pueda seguir suministrando energía eléctrica durante un lapso bajo la premisa de que un equipo este fuera de servicio. Grupo de investigación ORCA (2020)

Derivado de las necesidades de las características de un sistema de potencia existen dos tendencias que se han establecido para la configuración de una subestación eléctrica: europea y americana.

La tendencia europea se enfoca en la conexión de barras y posee la posibilidad de conectarse a una o más barras por medio de seccionadores, así mismo cada circuito tiene un interruptor. Las configuraciones son barra sencilla; barra principal más la transferencia; doble barra; doble barra más *by-Pass*; doble barra más barra de transferencia.

La tendencia americana se enfoca en la conexión de interruptores y tiene la característica que los circuitos se conectan a las barras o entre ellas por medio de interruptores. Las configuraciones son anillo, interruptor y medio, doble barra con doble interruptor.

7.3. Subestaciones GIS (*gas insulated substation*)

Son una alternativa que ha ido desarrollándose con el pasar del tiempo, suelen ser compactas en relación con las subestaciones aisladas en aire, una de las varias razones por las cuales son implementadas. Debido a la alta resistencia dieléctrica del gas hexafluoruro de azufre (SF_6) las distancias que se utilizan para aislamiento son cortas, esto agregado a que el SF_6 permite extinguir los arcos que se producen en la desconexión de contactos con tensión. Entre las características que poseen una subestación GIS están: su diseño compacto, componentes modulares, instalación para interiores y exteriores, aislamiento a la intemperie, valores mayores de seguridad y confiabilidad, menores costos de operación y mantenimiento, mayor vida útil con un monitoreo continuo de gas.

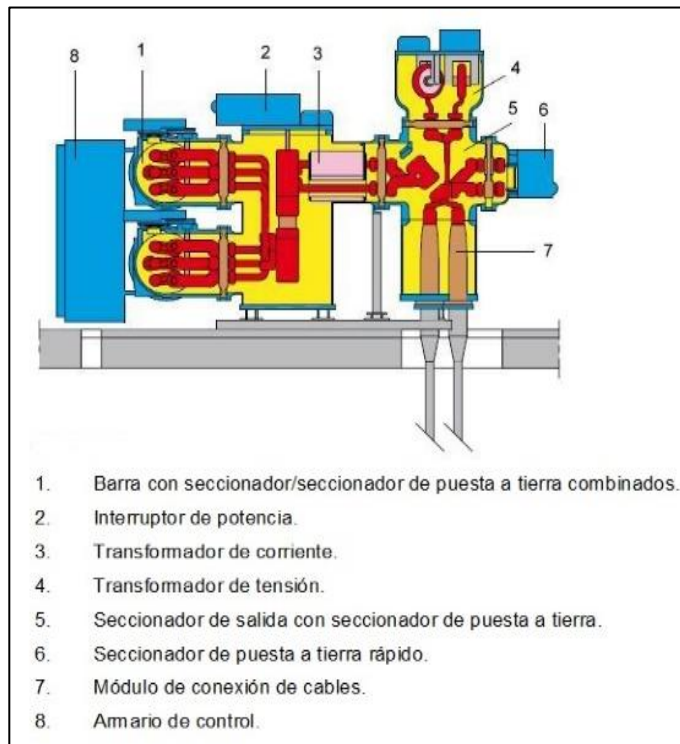
Los equipos de alta tensión que se utilizan en una subestación GIS se encuentran encapsulados individualmente en un compartimiento metálico, el cual contiene SF_6 a una presión superior a la presión atmosférica. Estos equipos son modulares, es decir que se pueden interconectar eléctrica y mecánicamente entre ellos, por medio de bridas atornilladas y selladas para formar las diversas configuraciones de una subestación eléctrica, las cuales pueden ser las mismas configuraciones de una subestación eléctrica AIS. Los distintos módulos que existen para una subestación GIS son los siguientes:

- Módulo de interruptor de potencia
- Módulo de seccionador de barras
- Módulo de seccionador de línea
- Módulo de seccionador de puesta a tierra (PAT)
- Módulo de seccionador de aislamiento
- Módulo de juego de barras principales
- Módulo de transformador de tensión

- Módulo de descargador de sobretensión
- Módulo de prolongación (recto, ángulo)
- Módulo de empalme con cable subterráneo
- Módulo de empalme con línea aérea
- Módulo de empalme con máquinas

Tal como se muestra en la figura 3, se observa los diferentes componentes y módulos de una subestación GIS, tal como lo indica (Bruno, 2020) en la página Web de Sector Electricidad:

Figura 3. Partes de una subestación GIS



Fuente: Bruno (2020). *Análisis de una subestación GIS*. Consulta: 15 de febrero de 2020
 Recuperado de <http://www.sectorelectricidad.com/28132/analisis-de-una-subestacion-gis>

Además, se puede visualizar que los colores tienen un indicativo tal como, amarillo es gas SF₆, el rojo son las partes activas que se encuentran sometidas a alta tensión, el celeste son los cerramientos y el marrón es el material aislante.

Al momento de adquirir los componentes para instalar una subestación GIS, es necesario tomar en cuenta las siguientes características que permitirán obtener un adecuado funcionamiento:

- Tensión nominal y máxima de servicio
- Tipo de instalación (intemperie o interior)
- Disposición de fases (tripolar o monopolar)
- Número de barras
- Frecuencia nominal
- Nivel de aislamiento (impulso atmosférico y maniobra)
- Corriente nominal
- Corriente de cortocircuito
- Tipo de conexión en alta tensión
- Características de los enclavamientos
- Voltaje de servicios auxiliares
- Ensayos de prueba de la subestación
- Repuestos

Figura 4. **Subestación encapsulada en gas SF₆ – barra simple más barra de transferencia**



Fuente: elaboración propia. GIS Minerva 69 kV, Mixco, ciudad de Guatemala, TRELEC S.A.

7.3.1. Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Es un gas inerte que bajo condiciones normales de temperatura y presión resulta más pesado que el aire, es incoloro, inodoro, no es tóxico y no es inflamable. Resulta ser estable en condiciones normales, pero al exponerlo a elevadas temperaturas se descompone, resultando así gases tóxicos, así mismo tiene características que lo vuelven nocivo para el medio ambiente por su potente efecto invernadero.

El SF₆ es un gas que posee una elevada constante dieléctrica, por lo que resulta ser útil como gas aislante en los equipos de transmisión y distribución eléctrica. Otras de sus propiedades son su estabilidad y capacidad para

recomponerse muy rápidamente tras haber estado sometido a la formación de un arco eléctrico, esto le da una durabilidad y fiabilidad a los aparatos que están encapsulados con SF₆. Es de suma importancia mantener un monitoreo sobre los dispositivos que estén encapsulados en SF₆, tanto en el compartimiento como en las propiedades del gas, para esto último se utilizan instrumentos como densímetros, manómetros y termómetros.

Para monitorizar la concentración de las sustancias de descomposición y asegurar un buen funcionamiento, se debe emplear instrumentos de análisis de gas para cumplir los valores establecidos en la norma IEC 60480. Las prescripciones son las siguientes:

- Aire y/o CF₄: < 3 %
- Sustancias gaseosas de descomposición: <50 ppmv
- Humedad: punto de condensación < -23 °C (tensión media) y <-36 °C (tensión alta) (Reveco, 2018)

7.4. Mercado eléctrico

En el siglo pasado en Guatemala, al igual que en muchos países y no solo latinoamericanos, se optó por liberar y desregularizar los mercados eléctricos, convirtiéndose así de monopolios estatales a estructuras competitivas de un mercado libre. Los mercados eléctricos variaron en sus esquemas que eran principalmente verticales y que luego sus instituciones fueron separadas en las funciones que ejercían, siendo principalmente la generación, transmisión y distribución, y en algunos sistemas apareció la figura del comercializador.

Además de los agentes anteriormente descritos es necesario que exista una entidad que actúe de forma imparcial y que sea el intermediario entre estos,

realizando la operación del sistema conocido como Operador Independiente del Sistema (ISO – por sus siglas en inglés *Independent System Operator*), que en Guatemala es designado como Administrador del Mercado Mayorista (AMM), además de los agentes y el operador del sistema, existe un ente regulador, siendo este en su mayoría de naturaleza estatal, que en Guatemala es un agente técnico derivado del Ministerio de Energía y Minas designado como Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

La electricidad es un bien que es apto para la compraventa en este mercado, se negocian lo que es la potencia y energía proveniente de generadores, hasta los consumidores fijando su precio por medio de la oferta y la demanda y siendo liquidado a través del operador del sistema, es este un funcionamiento básico. La electricidad tiene particularidades, como indica Reyes (2006):

- No se puede acumular la energía eléctrica de manera masiva.
- Las leyes de Kirchhoff determinan el camino de la electricidad.
- La eficiencia económica se ve perjudicada por los límites de las líneas de transmisión y esta se determina al proporcionar el servicio necesario con sus calidades y a un costo reducido.
- Debido a la velocidad a la cual viaja la luz el suministro es inmediato.

En el mercado eléctrico se dan cierto tipo de transacciones o acuerdos de negocios, que se realizan entre vendedores y compradores, transacciones de servicios y bienes concernientes con el suministro energía eléctrica, los cuales se suscriben a los diferentes tipos de contratos, además el mercado eléctrico se rige por características especiales, tales como que la energía debe de ser consumida en el momento que se genera y para esto el mercado eléctrico requiere que el sistema se coordine en tiempo real por el ente operador, ya que

la tecnología para almacenamiento en el momento de tener excedentes aún no se ha desarrollado eficientemente. Además, se debe de tomar en cuenta que el precio de la electricidad es volátil, debido a los recursos que este utiliza para su generación, transporte, administración, operación, entre otros.

En este modelo de energía eléctrica y la forma de realizar transacciones de energía eléctrica permite la competencia de generadores de energía eléctrica, esto ha llevado consigo un aumento en las calidades de suministros y a la vez permite que los precios sean regulados y fijados por la misma interacción del mercado, en un entorno liberalizado que busca una eficiencia técnica y económica.

Figura 5. **Funcionamiento del sector eléctrico de Guatemala**



Fuente: Administrador del Mercado Mayorista. (2020). *Mercado eléctrico de Guatemala: ¿Cómo funciona?*. Consulta: 20 de junio de 2020. Recuperado de <https://rd.amm.org.gt/2020/09/16/funcionamiento-mercado-electrico//>

Este modelo de mercado posee características que permite a los consumidores que poseen una demanda no regulada pueda decidir sobre la empresa que deseen les suministre energía eléctrica, esto basado en calidades y precio, para el cual deriva en el agente comercializador, que a su vez ofrece los servicios de los generadores, pudiendo realizar arreglos de generación que le permitan ofrecer diferentes modalidades de ventas de energía eléctrica.

Los generadores y comercializadores representantes de estos deben de realizar sus ofertas de cantidades de energía eléctrica a un precio determinado y a la vez los consumidores no regulados deben de establecer su demanda de potencia y energía para que esta sea cubierta por medio de establecer contratos a término con los comercializadores o generadores y de esta manera es que se conforma el mercado a término. Para los distribuidores que tienen a los clientes regulados, estos suelen realizar subastas de energía por medio de la llamada subasta inversa, en la cual se realizan varias rondas para que los generadores establezcan sus precios más bajos y que la distribuidora pueda optar por esta energía y potencia.

Existe además del mercado a término también el llamado mercado Spot o de oportunidad, para el cual las empresas generadoras o comercializadoras declaran su energía disponible a un costo determinado y a cierta hora del día, esta energía se utiliza para cubrir la demanda de agentes consumidores que la necesiten, además se debe establecer que va desde la más barata hasta la más cara, para cubrir así toda la demanda, aunado a lo anterior existe también el mercado de desvíos de potencia.

El mercado eléctrico funciona de una manera que según el AMM se establece como Revista Digital AMM (2020):

En este modelo de mercado eléctrico existen entidades públicas tal como el Ministerio de Energía y Minas (MEM), que se encarga de establecer la política energética, planes de transmisión y generación; además existe el ente regulador que se encuentra jerárquicamente debajo del MEM y el cual es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), que por lo general es estatal y su función es velar por los intereses de los agentes productores, así como de los agentes consumidores y demás agentes del mercado eléctrico, verificando que todo se deba realizar con transparencia, promoverá políticas y directrices que establezcan los parámetros del actuar funcionalmente de todos los participantes del mercado, así como también tendrá la responsabilidad de ser un árbitro para los acuerdos y desacuerdos que puedan existir entre todos los participantes. (p. 9)

De esta manera el mercado eléctrico y su funcionamiento ha variado con el pasar de los años, transformándose y siendo más competitiva, para lo que hubo que transformarse y reinventarse para muchos procesos y acciones que se tenían que tomar, tal como lo indica Coronado (2012):

Antes las decisiones se tomaban de una manera centralizada, así como las autorizaciones de las nuevas centrales generadores y la expansión de los sistemas de transmisión, ahora hay criterios variados de parte de las empresas estatales, privadas o mixtas, y los inversionistas se ven limitados, pero principalmente por la normativa específica para las instalaciones correspondientes. (p. 18)

Otras de las funciones en el mercado eléctrico, las funciones de distribución y transmisión de energía eléctrica son por monopolios naturales que en el caso de Guatemala se da por medio de áreas de concesión, además de las licitaciones

que se realizan por medio del Ministerio de Energía y Minas, por medio de los proyectos PET y PETNAC para los agentes transportistas.

Las funciones de estos vienen dadas de la siguiente manera:

- Transportista: es el agente encargado de transportar la energía eléctrica producida en las plantas de generación hasta los centros de consumo por medio de la red de distribución.
- Distribuidor: obtiene la energía eléctrica desde los centros de transformación, propiedad del transportista y los traslada a los consumidores regulados y no regulados conectados a sus redes.

Estos agentes obtienen el reconocimiento de un Costo Anual de la Transmisión (CAT) para los transportistas y un Valor Agregado de Distribución (VAD) para los distribuidores. De esta manera, se evidencia que el objetivo de esta estructura de subsector eléctrico promueve la participación privada, fomentando la competencia y los mecanismos de mercado, además promueve el incremento y ampliación del sector eléctrico, ampliando la oferta y la cobertura de la energía eléctrica, así mismo el estado toma los roles de regulación, dirección, ejecución y elaboración de las políticas que forman el subsector eléctrico.

7.5. Transportista

El agente transportista es el propietario de la red de transporte o bien parte de la red de transporte, tal es el caso de Guatemala, en el cual los agentes transportistas tienen áreas de operación determinadas por los requerimientos a través de la Ampliación a la Capacidad de Transporte. La función principal de la

red de transporte es poder conectar las centrales de generación eléctrica con los centros de carga por medio del sistema de distribución que por lo general se encuentran ubicados a distancias alejadas de las centrales generadoras, así mismo el sistema les permite a las plantas generadoras más alejadas y posiblemente más eficientes poder ser parte del suministro de energía eléctrica.

En un mercado eléctrico ausente de una entidad administrativa y regulación en el cual los participantes toman de forma individual sus decisiones y en el que sus zonas están interconectadas por líneas de transmisión con una capacidad limitada, muestra que en el sistema eléctrico tradicional se puede ejercer poder de mercado, principalmente los generadores, ya que pueden aumentar o disminuir su producción y con esto saturar las líneas de transmisión y de esta manera poder manipular el costo de la energía y potencia.

Según Danitz (2001) para el sistema de transmisión se le reconoce al transportista sus costos por medio del sistema de peajes, esto derivado a que la tarifación establecida por la funcionalidad de los nuevos mercados eléctricos y que se basa en los costos marginales trae como consecuencia la insuficiencia en la recuperación de los costos de los bienes del transportista por una participación pasiva, ya que no participan directamente en el Mercado Eléctrico Nacional y además debido a que los costos marginales son menores a los costos medios, es por esta razón que se debe de agregar un pago complementario llamado peaje.

Para la determinación del pago por el servicio de transporte de energía eléctrica existen diferentes metodologías, siendo para el Mercado Eléctrico Nacional el denominado “Límite Máximo de Ingresos” (*Price Cap.*) bajo los siguientes criterios:

- Sistema de transmisión económicamente adaptado.
- Sistema de transmisión óptimamente dimensionado.

Para estas dos metodologías la ley define únicamente a la metodología del sistema de transmisión económicamente adaptado, la cual dice lo siguiente:

“Es el sistema de transmisión dimensionado de forma tal de minimizar los costos totales de inversión, operación y mantenimiento y de pérdidas de transmisión, para una determinada configuración de ofertas y demandas.” (Decreto 93-96, 1996, art.1, p. 24).

La otra metodología no se define explícitamente en ningún reglamento, norma o ley, pero se puede definir con base a cómo funciona la regulación de otros mercados, la cual se puede definir como Vásquez (2015):

El sistema de transmisión de energía eléctrica puede dimensionarse de manera óptima así como el sistema eléctrico de potencia, de manera independiente de su potencia transferida y su nivel de tensión, de esta manera, se establece que es un diseño óptimo de equipos de potencia según los requerimientos actuales de la red de transmisión eléctrica tomando en cuenta en la región a instalar, el cual debe considerar niveles de altura, el crecimiento de la red y los planes de expansión según las políticas energéticas. (p. 100)

Los procesos en que se ejecuta el pago del uso de las instalaciones de los transportistas son dados por dos formas:

- Pago de canon anual por amortización de la inversión.
- Pago de peaje nacional.

7.5.1. Pago por canon anual

La forma de aplicación del pago por canon anual viene establecida por la Ley General de Electricidad que establece en su artículo 55 literal c) cuando es aplicable la remuneración por pago de canon anual y su metodología de aplicación, y que dice lo siguiente:

Para instalaciones construidas por la modalidad de Licitación Pública, el Peaje tendrá dos períodos de remuneración:

Período de Amortización: en el cual el Transportista recibirá como única remuneración el canon anual, el cual será pagado a prorrata de la Potencia Firme y se dividirá en doce (12) cuotas iguales a ser pagadas en forma mensual.

Período de Operación: será el período posterior al de amortización, en el cual el Transportista recibirá exclusivamente el peaje que corresponda al Sistema Principal de Transporte, aprobado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (Decreto 93-96, 1996, art.55, p.37)

Esta metodología de pago se aplica para las licitaciones abiertas que promueve el Ministerio de Energía y Minas (MEM) tal como lo indica el párrafo anterior, y esta metodología se define en cada uno de los procesos.

7.5.2. Pago de peaje nacional

El Administrador del Mercado Mayorista (AMM) utiliza el peaje para remunerar a los transportistas por el uso de sus instalaciones. La Ley General de

Electricidad (LGE), establece como debe de realizarse estos pagos por medio de sus reglamentos y también sus normativas.

En el artículo 64 se indica que al utilizar las instalaciones de transmisión tanto principal como secundario, debe realizar el pago de peaje al propietario de dichas instalaciones, los peajes podrán ser acordados entre partes, y si no existiese acuerdos para el pago de peajes quien deberá de establecerlo es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) estableciendo una comunicación con las partes y el AMM para apegarse al procedimiento establecido en la Ley de Electricidad y el reglamento correspondiente.

La Ley General de Electricidad, además establece en el artículo 67 el concepto básico para el cálculo del peaje:

El peaje en el sistema principal se calcula dividiendo la anualidad de la inversión y los costos de operación y mantenimiento del sistema principal, para instalaciones óptimamente dimensionadas, entre la potencia firme total conectada al sistema eléctrico correspondiente. La anualidad de la inversión será calculada sobre la base del Valor Nuevo de Reemplazo de las instalaciones, óptimamente dimensionadas, considerando la tasa de actualización que se utilice en el cálculo de las tarifas y una vida útil de treinta 30 años. (Decreto 93-96, 1996, p.16)

El concepto del Valor Nuevo de Reemplazo se puede definir como el costo que tendrían construir los bienes físicos y las obras con tecnología actual y disponible en el mercado, para prestar un servicio similar y así mismo se debe establecer que la instalación económicamente adaptada es la que se puede justificar económicamente para prestar el servicio requerido y a la cual se le reconocerá el valor nuevo de reemplazo.

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica fija cada dos (2) años a inicios de enero el peaje para el sistema principal y sus fórmulas de ajuste y el cual es dividido en doce (12) pagos mensuales. Las empresas propietarias de los sistemas de transmisión involucradas, así como el AMM suministrarán la información a la Comisión sobre los costos de mantenimiento y operación, así como la anualidad de la inversión para el cálculo del peaje, todo respaldado por un informe técnico. Además, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica fija un 3 % para los costos de administración, operación y mantenimiento el cual puede ser modificado sobre análisis de estudios técnicos.

Se deben de establecer precios regulados para la valorización del cálculo del peaje el cual se utiliza para el reconocimiento a los transportistas por sus instalaciones que son dedicadas al servicio de transporte de energía eléctrica, estos deben de indicar los costos en los que este incurrió para el desarrollo y construcción de las instalaciones y rentabilidad del negocio, y que establece la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

7.6. Unidades de Propiedad Estándar (UPE)

Son utilizadas para dimensionar de forma objetiva y simplificada ciertas construcciones o componentes de un proyecto físico, por lo que se opta con normalizar tanto la definición como sus alcances; esto se ha visto reflejado dado que se utilizan en proyectos de telecomunicaciones, saneamiento, infraestructura vial, sistemas de transmisión y distribución.

Por lo anterior la definición que determina Mena (2001) que es para distribución aplica para transmisión, que indica lo siguiente:

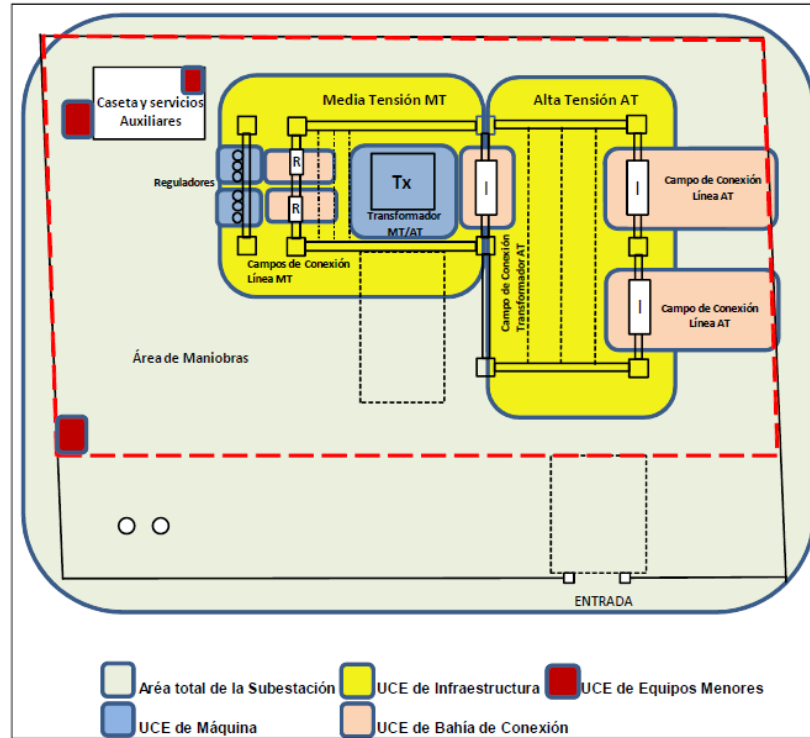
La finalidad de la UPE es estandarizar y tipificar una red, para que esta pueda identificarse y visualizarse de manera fácil, identificando así su existencia gráfica y física, presentando la información de manera adecuada para facilitar el manejo y que así se pueda conocer el número de unidades de propiedad estándar existentes con sus costos normalizados y al margen de la ley. (p. 31)

Tomando en cuenta que las instalaciones deben ser óptimamente dimensionadas se realiza la elaboración de Unidades de Propiedad Estándar (UPE), las cuales toman los elementos básicos que se necesitan para cubrir las necesidades de la red de transmisión de energía eléctrica.

Las UPE están designadas unas para las líneas de transmisión y otras para las subestaciones eléctricas. Las UPE de las subestaciones se dividen en cinco grupos constructivos, siendo estos los siguientes:

Infraestructura básica, campos de conexión, máquinas eléctricas, bahías de líneas de transmisión y otros equipos, los cuales si quisieran identificarlos gráficamente se puede visualizar de manera más adecuada en la figura 5, en el cual se identifican como UCE de acuerdo con la fuente de información utilizada.

Figura 6. Representación de una subestación mediante UCE



Fuente: Coronado. (2012). *Metodología de unidades de construcción estándar y valor nuevo de reemplazo para el cálculo de peajes de transmisión de energía eléctrica en Guatemala*. Consulta: 03 de septiembre de 2020. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0799_EA.pdf

7.7. Valor Nuevo de Reemplazo (VNR)

Se define como es el costo actual de adquisición de nuevas instalaciones y equipos que permitan ofrecer un servicio idéntico al proporcionado por las instalaciones existentes, pero utilizando la última tecnología y buscando el mínimo costo.

Se puede definir el VNR como un costo de sustitución que se considera tal como lo indica (Bitu y Paulo, 1993, p. 37): “costo actual de adquisición de nuevas instalaciones y equipos, que permitan un servicio idéntico al proporcionado por las instalaciones y equipos que la empresa posee”.

Tabla II. **Implicaciones del VNR**

V	VALOR	Costo de proveer, construir y poner en servicio instalaciones eléctricas (terreno, servidumbres, materiales, transporte, montaje, indirectos, imprevistos, financieros, intercalares y beneficios de la empresa).
N	NUEVO	Sin depreciación.
R	REEMPLAZO	Hipotética, no necesariamente de la instalación existente, sino de una equivalente que pueda prestar el servicio con la calidad requerida y al mínimo costo.

Fuente: Vásquez. (2015). *Análisis técnico económico para la reposición de equipos de potencia en subestaciones de la red de transporte de ETCEE*. Consulta: 08 de septiembre de 2020.

Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3397/1/Daniel%20de%20Jes%C3%BAs%20V%C3%A1squez%20Aguilar.pdf>

Al momento de fijar el peaje se debe de establecer el VNR para las instalaciones destinadas al transporte de energía eléctrica y que son propiedad de agentes transportistas, y esto se realiza por medio de la creación de la Unidad de Propiedad Estándar (UPE) y de establecer el Factor de Recuperación de Capital (FRC).

La metodología del VNR es ampliamente utilizada para el reconocimiento económico de los activos de un transportista, el cual es en muchos países y/o mercados eléctricos reconocido de igual manera que se le reconoce al distribuidor, en el cual la literatura lo define de la siguiente manera:

Dado que la distribución eléctrica exige fuertes inversiones de capital, los costos de capital (en términos de la inversión de la distribuidora) constituyen un componente importante a la hora de fijar las tarifas. Como la electricidad es una industria madura, gran parte de la red de electricidad ya está instalada y, por lo tanto, los activos existentes -o la base de capital inicial- constituyen la mayor parte de los costos de la empresa. Cada país adopta métodos distintos para evaluar la base de capital existente y para su posterior actualización. Los dos métodos más difundidos son el Método de base de activos netos y el Método de Valor Nuevo de Reemplazo (“VNR”). (Barrera y Barrientos, 2012, p. 12)

La liquidación por parte del AMM hacia el transportista por el uso de sus instalaciones por los demás agentes para los proyectos que fueron licitados se realizará tal como lo indica la Norma Técnica para la Expansión del Sistema de Transmisión (2009):

Artículo 12. Remuneración. La remuneración de las Obras tendrá dos períodos:

- a) Período de Amortización: el pago que se reconocerá será el Canon Anual resultado del proceso de licitación, el cual el Transportista recibirá como única remuneración; éste será pagado a prorrata de la Potencia Firme y se dividirá en doce (12) cuotas iguales a ser pagadas en forma mensual durante el período que se defina en las Bases de Licitación. Este período empezará el día en que la obra entre en operación comercial.

- b) Período de Operación: será el período posterior al de amortización, en el cual el Transportista recibirá exclusivamente el peaje fijado por la Comisión. (Decreto 93-96, 1996, p. 10)

El AMM informará los cargos que aplicaran a los contratos de transporte del Sistema Principal de Transmisión en caso existan, esto será en relación a la potencia contratada y al precio del peaje. Las partes interesadas y contratantes deberán informar al AMM con anticipación sobre estos contratos, así como la fecha de inicio de estos contratos. Para cada día del año se realizará el cálculo del cargo del peaje y estos se constituirán mensualmente tomando la base del Costo Diario de Transmisión CDT, el cual la Norma NCC 9 los define de la siguiente manera:

$$CDT_m = \frac{\sum_t \left(\frac{CAT_t}{12} \right)}{DM}$$

Donde:

CDT_m = Costo Diario de Transmisión para el mes “m”

CAT_t = Costo Anual de Transmisión o Peaje, aprobado por la CNEE para el Sistema Principal de Transporte correspondiente al Transportista “t”

DM = Número de días que contenga el mes

Σ = Sumatoria para todos los Transportistas “t”.

(Resolución 521-01, 2006, p. 3)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Subestaciones eléctricas

1.1.1. Conceptos básicos

1.1.1.1. Definición

1.1.1.2. Usos

1.1.1.3. Componentes de una subestación

1.1.1.4. Subestación aislada en aire

1.1.1.5. Subestación aislada en gas SF₆

1.1.1.6. Configuraciones típicas

1.2. Marco regulatorio y fijación de peaje

1.2.1. Normativa guatemalteca

1.2.1.1. Ley General de Electricidad

1.2.1.2. Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte NTDOST

- 1.2.1.3. Normas Técnicas de Diseño y Operación de Instalaciones de Distribución NTDOID
 - 1.2.1.4. Norma técnica para la expansión del sistema de transmisión NTT
 - 1.2.1.5. Norma de coordinación comercial No. 9
 - 1.2.2. Proceso de fijación de peaje
 - 1.2.3. Normativa internacional
 - 1.2.3.1. Criterios internacionales
 - 1.2.3.2. Procesos internacionales
- 1.3. Modelado de unidades constructivas
 - 1.3.1. Definición
 - 1.3.2. Metodología
 - 1.3.3. Componentes del modelado
 - 1.3.4. Diseño del modelado
 - 1.3.5. Unidades constructivas para una AIS
 - 1.3.6. Modelado para unidad constructiva de una GIS
 - 1.3.7. Comparativa de unidades constructivas AIS con propuesta de unidades constructivas GIS
- 1.4. Metodología para evaluación económica
 - 1.4.1. Conceptos
 - 1.4.2. Índices económicos
 - 1.4.3. Metodologías de cálculo
 - 1.4.4. Cálculo de VNR y peaje
 - 1.4.5. Comparativa económica de las unidades constructivas

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cualitativo y cuantitativo, dado que se basará en encuestas y entrevistas para la información necesaria de ciertas variables y a la vez es necesario obtener documentación oficial que proporcione otras variables cuantitativas para realizar las estimaciones correspondientes; el presente estudio será cualitativo, dado que se analizará por qué y el cómo se desarrolla los peajes para el transportista y cómo es que las unidades constructivas determinan el peaje y afectan económicamente en los ingresos. Para esto se analizará la situación que actualmente desarrolla la CNEE para la asignación y se realizará una propuesta de un modelado para mejoras en la asignación del peaje.

El alcance del estudio es descriptivo, dado que se analizará la asignación actual del peaje para un agente transportista cuando implementa una subestación aislada en gas SF₆ y cómo impacta en el transportista y se propondrá un modelado para poder asignar de forma adecuada este peaje.

El diseño adoptado será no experimental, dado que se describirá el problema y la información del peaje, su asignación y sus efectos económicos, se analizará para dar una propuesta para verificar que lo anterior sea más adecuado y acorde a las inversiones realizadas por el agente transportista.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será un agente transportista y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y las subpoblaciones a estudiar serán las unidades constructivas y las normas, así como los procesos para asignación de peaje, el muestreo serán los resultados del peaje, resultados de VNR, UPE y también los índices económicos.

9.3. Variables

Para poder llevar a cabo la metodología adecuada de investigación, se han determinado las variables que serán parte fundamental en el desarrollo del diseño de investigación, para así con base a estas poder obtener los resultados adecuados:

Tabla III. Definición de variables

Variable	Definición Teórica	Definición operativa
Peaje	Es el 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.	Se medirá por medio de dimensionales de dinero o conceptos de ingresos.
Efectos económicos	Son los índices que establecen un parámetro acerca de los beneficios o perjuicios que afectan a un agente transportista al tener un reconocimiento del peaje.	Se medirá por unidades adimensionales, que indican efectos económicos según los indicadores que se analicen.

Continuación de la tabla III.

Variable	Definición Teórica	Definición operativa
Procesos	Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno o hecho complejo.	Se medirá por la cantidad de pasos que se debe hacer para poder definir el peaje.
Remuneración	Cantidad de dinero que se da a una persona o entidad como pago por un trabajo o un servicio.	Se medirá por dinero en un tiempo determinado de acuerdo al tiempo de vida útil regulada.
Parámetros técnicos	Característica que pueda ayudar a definir o clasificar un sistema particular, es decir, es un elemento de un sistema que es útil o crítico al identificar el sistema o al evaluar su rendimiento, estado, condición, entre otros, de forma técnica.	Se medirá por la cantidad de parámetros que son necesarios para asignación de peajes.
Determinación y asignación	Es el proceso por el cual se establece la cantidad de recuperación y como será asignado.	Se tomará en cuenta el tiempo en que se lleva la asignación de peaje.
Diferencias y similitudes	Es la comparación entre los procesos de las unidades constructivas para determinar diferencias y similitudes entre las UCE de los resultados obtenidos.	Tendrán varias dimensionales debido a que se compararan diversos criterios para las unidades constructivas de cada una de las tecnologías.
Unidades constructivas	Son los valores básicos que se establecen para establecer el costo económicamente adaptado.	Son unidades adimensionales para cada una de las tecnologías, y se medirán por medio de los valores económicamente adaptados.

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

A continuación, se desarrollan y se presentan las fases de modo general y por objetivo específico que formarán parte de la metodología de la investigación y que establecen la forma en que se desarrollará el trabajo de investigación.

9.4.1. Fase 1

En esta fase se realizará la recopilación y consulta de información de utilidad tal como libros, normas, resoluciones, leyes y otras fuentes, así mismo las entrevistas necesarias, todo lo anterior con la finalidad de tener las bases de las metodologías y procesos de fijación de peajes.

9.4.2. Fase 2

Se realizará un análisis de la documentación obtenida, establecer las variables de las preguntas, así como los procesos que se necesitan para obtenerlas y manipularlas. Se verificarán los procesos de determinación de peaje del mercado nacional y análisis de los procesos de otros mercados eléctricos, así como el modelado de las unidades constructivas para realizar la comparativa con el proceso del mercado eléctrico nacional.

9.4.3. Fase 3

En esta fase se realizará conforme al proceso determinado, las evaluaciones correspondientes, así como la manipulación de las variables tal como el modelado de una unidad de propiedad estándar (UPE's) para los módulos de una subestación GIS, en el cual se realizará la recopilación de información del mercado actual y se realizará la comparativa con las UPE's para proyectos GIS anteriores y con las UPE's de proyectos de subestaciones aisladas en aire.

9.4.4. Fase 4

Se analizarán los resultados obtenidos de las fases anteriores, tal como los modelados de las unidades de propiedad estándar de la subestación GIS y se realizará el estimado del Valor Nuevo de Reemplazo (VNR), se verificarán los valores del peaje asignados y los valores modelados y se realizará un análisis comparativo entre los VNR calculados en proyectos anteriores de subestaciones GIS, esto con la finalidad de poder medir el impacto económico que puede tener un agente transportista en un modelado inadecuado de sus UPE's de sus subestaciones aisladas en gas SF₆. Se determinarán las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

- Preguntas y sus variables
 - Pregunta principal

¿Cómo determinar el Valor Nuevo de Reemplazo (VNR) a un agente transportista por la implementación de subestaciones encapsuladas en gas SF₆ y sus efectos económicos en la asignación del peaje por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)?

Tabla IV. **Variables pregunta principal**

Variable \ Criterio	Categórica		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Peaje				X	X		Razón
Efectos económicos		X				X	Intervalo

Fuente: elaboración propia.

- Peaje: esta variable puede tomar muchos valores, pero de forma continua, la cual no puede manipularse. Debe estudiarse el proceso por el cual es asignado el peaje y cuanto son los valores que se asignan y como estos afectan.
 - Efectos económicos: esta variable indicará la recuperación de las inversiones que se obtendrán de un peaje asignado adecuadamente esto por medio de indicadores tal como el VNR.
- Pregunta auxiliar 1

¿Cuáles son los alcances y normas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) que establecen la remuneración del peaje para el transportista por instalar subestaciones encapsuladas en gas SF₆?

Tabla V. **Variables pregunta auxiliar 1**

Variable \ Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Procesos		X				X	Nominal
Remuneración				X	X		Razón

Fuente: elaboración propia.

- Procesos: se dimensionarán por los pasos y etapas que se tienen y a la vez en la información que es de utilidad en cada etapa.

- Remuneración: es acorde al peaje obtenido por lo que esta no puede ser negativa, ya que el peaje no se queda como deuda, pero puede ser un peaje o un valor muy pequeño que indique que no se está efectuando correctamente.

○ Pregunta auxiliar 2

¿Qué parámetros técnicos son evaluados para la determinación y asignación del peaje para un agente transportista por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)?

Tabla VI. **Variables pregunta auxiliar 2**

Variable \ Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Parámetros técnicos		X				X	Nominal
Determinación y asignación				X	X		Razón

Fuente: elaboración propia.

- Parámetros técnicos: son variables que determinan un cierto valor cuantitativo, para la asignación del peaje, y que dependiendo de estos valores se variarían los ingresos.
- Determinación y asignación: son variables dependientes una de otra, para las cuales el valor monetario es el indicador ideal para control de la magnitud del ingreso.

○ Pregunta auxiliar 3

¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre la unidad constructiva modelada para una subestación aislada en gas SF₆ y una unidad constructiva de una subestación aislada en aire que fija la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)?

Tabla VII. Variables pregunta auxiliar 3

Variable \ Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Diferencias y similitudes		X				X	Nominal
Unidades constructivas		X			X		Ordinal

Fuente: elaboración propia.

- Diferencias y similitudes: indicarán ciertas clases, las cuales permitirán tener la amplitud de la situación sobre todo con los antecedentes que se tienen.
- Unidades constructivas: pueden variar en muchos tipos y de forma finita, esto establecerá la referencia acerca de que tanto se puede ampliar, variar, mejorar en los procesos y asignación del peaje.

○ Pregunta auxiliar 4

¿Cuáles son los efectos económicos para un agente transportista por la remuneración inadecuada por peaje para una subestación encapsulada en gas?

Tabla VIII. **Variables pregunta auxiliar 4**

Variable \ Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Dicotómica	Policotómica	Discreta	Continua			
Efectos económicos		X				X	Intervalo
remuneración				X	X		Razón

Fuente: elaboración propia.

- **Efectos económicos:** los impactos económicos son medibles de forma positiva o negativa, y estos son contables, por lo que no se pueden manipular, existen en un intervalo, el cual va a ser un indicador de acuerdo con los resultados obtenidos de ganancias o pérdidas.

- **Remuneración:** es acorde al peaje obtenido por lo que esta no puede ser negativa, ya que el peaje no se queda como deuda, pero puede ser un peaje o un valor muy pequeño que indique que no se está efectuando correctamente.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis del modelado de las unidades constructivas para la asignación de peaje se evaluarán las metodologías establecidas actualmente en la normativa de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), esto derivado a que para el cálculo de peaje que se reconoce a los transportistas por las instalaciones dedicadas al transporte de energía eléctrica, es necesario realizar la valorización mediante el establecimiento de precios optimizados, que definan los costos, en los cuales se incurrió para la construcción de dichas instalaciones y la recuperación de la inversión.

Para estos análisis de las unidades se debe de incurrir a variables de tipo cualitativo y cuantitativo, dada la forma en que se realiza el análisis de asignación de peaje. Las variables cualitativas serán todas las unidades de propiedad estándar que determinan el modelado preciso para determinar los valores eficientes.

Las variables cuantitativas serán utilizadas para el cálculo de valor eficiente que son precios regulados y para determinar el modelado preciso que se puede obtener de utilizar valores más exactos para poder hacer la comparativa de valor asignado de unidad constructiva de subestaciones GIS y subestaciones AIS.

La modelación consistirá en el ordenamiento, clasificación y selección de las actividades, equipos, materiales y obras a realizar para la construcción de las instalaciones, asignando las cantidades y medidas a cada actividad; en algunos casos, derivado de la dificultad de cuantificar los componentes, se establecerá únicamente el precio global de una actividad.

Considerando que los alcances del presente diseño de investigación corresponden a la descripción de la metodología de Unidades de Construcción Estándar y Valor Nuevo de Reemplazo, y no el diseño, propiamente dicho, de las unidades de construcción, los valores de equipos y materiales, así como las cantidades de material y equipos que serán presentados en los módulos de diseño de las unidades en los siguientes apartados, corresponden única y exclusivamente a valores de referencia, dichos valores han sido obtenidos a partir de una adecuación de distintas publicaciones especializadas, e informes de instalaciones.

- Variables cualitativas:
 - Denominación o nombre de la subestación.
 - Ubicación (coordenadas geográficas).
 - Zona en la que se encuentra construida (rural, urbana).
 - Tipo de subestación (transformación o maniobra).
 - Área de terreno utilizada y perímetro.
 - Voltaje o voltajes de operación.
 - Configuración de barras (simple, doble, principal y transferencia, interruptor y medio, etcétera).
 - Capacidad de transformación, y características de los transformadores de potencia.
 - Equipo de regulación de tensión.
 - Equipo de compensación reactiva (reactores o capacitores).
 - Cantidad y configuración de bahías de conexión junto con su respectivo nivel de tensión (bahías de conexión de: línea, acoplamiento, transformación, capacitores y reactores).
 - Equipo de control y comunicación.
 - Equipos de protección.

- Equipo auxiliar de la subestación.
 - Diagrama unifilar.
 - Planos o croquis de la disposición de los equipos.
 - Costos de equipos y materiales.
- Variables cuantitativas:
 - Precios del acero.
 - Precios del petróleo.
 - Tiempos de ejecución.
 - Medios de construcción.
 - Tabulación de datos

La información se recolectará y se dividirá en diferentes tipos de clasificación, dependiendo del tipo de datos, ya sea cuantitativa o cualitativa, estas se tabularán ordenadamente, se utilizará el software de MICROSOFT OFFICE llamado EXCEL, para ordenar la información y proceder después a analizarla.

- Análisis estadístico de datos

Para el análisis de los datos se utilizarán diferentes herramientas estadísticas, dado que se obtendrán datos cualitativos y cuantitativos:

- Estadística descriptiva:
 - Medidas de centralización, dispersión y posición.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar este diseño se deben de emplear recursos, los cuales deben evaluarse por medio de un estudio de factibilidad el alcance de estos. Estos recursos son los necesarios para el desarrollo de la investigación tales como: tiempo, dinero, recurso humano, información.

Uno de los recursos más importantes para la elaboración del diseño de investigación propuesto es el tiempo, el cual es alrededor de un mínimo de seis a doce meses, en los cuales se estarán desarrollando investigación de campo, recolección de información, reuniones con el asesor, elaboración y tabulación de datos e información, desarrollo de la investigación, así mismo considerar las gestiones para la aprobación y publicación del trabajo de investigación.

Se debe considerar la gestión de los recursos de información y lo que conlleva el requerirlos, a la vez el trasladarse hacia algún sitio donde se pueda entregar la información, o si es necesario imprimirla para tenerla de forma más adecuada. Los recursos humanos también se deben de considerar como parte del estudio, tal como el asesor, o el apoyo en recolección de información.

La utilería juega un papel importante en el estudio de factibilidad, ya que son todos los equipos y materiales necesarios para poder realizar y presentar el informe. A continuación, se encuentra un cuadro donde se visualiza el análisis de la factibilidad del estudio:

Tabla X. **Estudio de factibilidad**

No.	Recurso	Tipo de recurso	Costo (Q.)	Cantidad	Costo total por recurso	% porcentaje de inversión
1	Equipo de computo	Equipo/ financiero	Q5,000.00	1 und.	Q5,000.00	15.20
2	Impresiones	Equipo/ financiero	Q0.25	2000 und.	Q500.00	1.52
3	Internet	Equipo/ financiero	Q200.00	12 meses	Q2,400.00	7.29
4	Papelería, útiles y material de oficina	Equipo/ financiero	Q200.00	12 meses	Q2,400.00	7.29
5	Software	Equipo/ financiero	Q1,000.00	1 und.	Q1,000.00	3.04
6	Honorarios asesor y coasesor	Recurso humano	Q1,000.00	12 meses	Q12,000.00	36.47
7	investigador	Recurso humano	Q500.00	12 meses	Q6,000.00	18.24
8	Energía eléctrica	Infraestructura	Q100.00	12 meses	Q1,200.00	3.65
9	Traslados (investigación y asesoría)	Infraestructura	Q200.00	12 meses	Q2,400.00	7.29
sub-Total					Q32,900.00	
10	Imprevistos	5%			<u>Q1,860.00</u>	
Total					Q34,760.00	

Fuente: elaboración propia.

Derivado del análisis anterior se puede concluir que el estudio es factible, esto principalmente por que se cuenta con el tiempo y la disponibilidad de información derivado a que bastante es de acceso público, aunado a lo anterior varios de los recursos enumerados son de utilidad diaria no solo para la finalidad de investigar sino para uso laboral y educativo, por lo que este recurso ya ha estado disponible previo al inicio de esta investigación.

13. REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista. (16 de septiembre de 2020). *Mercado eléctrico de Guatemala: ¿Cómo funciona?*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://rd.amm.org.gt/2020/09/16/funcionamiento-mercado-electrico/>
2. Barrera, F. y Barrientos, C. (2012). *Informe Experto del Dr. Fernando Barrera-Rey y Carlos Fernando Barrientos*. [Mensaje de blog]. Recuperado de [https://www.investorstatelawguide.com/documents/documents/IC-0192-23%20-%20TECO%20v.%20Guatemala%20-%20Exp%20Rep%20Barrera%20\[Spanish\].pdf](https://www.investorstatelawguide.com/documents/documents/IC-0192-23%20-%20TECO%20v.%20Guatemala%20-%20Exp%20Rep%20Barrera%20[Spanish].pdf)
3. Bitu, R. y Paulo, B. (1993). *Tarifas de energía eléctrica: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Quito, Ecuador: Olade. Recuperado de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0297.pdf>
4. Bruno, L. (15 de febrero de 2020). *Sector electricidad*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.sectorelectricidad.com/28132/analisis-de-una-subestacion-gis-parte-1/>
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). (2009). *Norma técnica para la expansión del sistema de transmisión -NTT-*. Guatemala: CNEE. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/09%20NTT.pdf>

6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2013). *Marco Legal del Sub Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos*. Guatemala: CNEE. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>
7. Coronado, J. (2012). *Metodología de unidades de construcción estándar y valor nuevo de reemplazo para el cálculo de peajes de transmisión de energía eléctrica en Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0799_EA.pdf
8. Danitz, F. (2001). *Métodos de Asignación de Peajes de los Sistemas de Transmisión Eléctrica Según el Uso de la Red*. (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/danitz.pdf>
9. Decreto 93-96, de 16 de octubre, del Congreso de la República de Guatemala. *La Ley General de Electricidad*. Guatemala, 16 de octubre de 1996. Recuperado de https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=6AMM-ley-general-electricidad.pdf
10. Grupo de investigación ORCA. (2020). *Caracterización de subestaciones eléctricas*. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/Subestaciones-Ele%CC%81ctricas.pdf>

11. Mena, R. (2001). *Definición y valoración de unidades de propiedad estandar*. Caso aplicación Empresa Eléctrica Ambato S.A. Regional Centro Norte. (Proyecto). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5653/1/T1696.pdf>
12. Resolución 521-01, de 6 de abril, de la Norma 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*. Guatemala, 6 de abril de 2006. Recuperado de https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=213NCC-9%20actualizado%2012-2015.pdf
13. Resolución CNEE 49-99, de 18 de noviembre, de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Normas técnicas de diseño y operación del servicio de transporte de energía eléctrica –NTDOST*. Guatemala, 18 de noviembre de 1999. Recuperado de http://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/NTDOST_PUBLICADA.pdf
14. Reveco, R. (2018). *¿Qué es el hexafluoro de azufre o SF6?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.bloginstrumentacion.com/author/ramonr/>
15. Reyes, J. (2006). *Método de cálculo de peaje en los sistemas de transporte de Guatemala, basado en las contribuciones al flujo de potencia*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0610_EA.pdf

16. Vásquez, D. (2015). *Análisis técnico económico para la reposición de equipos de potencia en subestaciones de la red de transporte de ETCEE*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3397/1/Daniel%20de%20Jes%C3%BAs%20V%C3%A1squez%20Aguilar.pdf>