



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE PEAJE DE UNA
NUEVA SUBESTACIÓN GIS, EN 230 KV INTERRUPTOR Y MEDIO, ANTE EL ENTE
REGULADOR GUATEMALTECO CNEE**

Herwert Nehemías Milla Pérez

Asesorado por el Maestro Ing. Osbelí Ángel Ramírez Morales

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE PEAJE DE UNA
NUEVA SUBESTACIÓN GIS, EN 230 KV INTERRUPTOR Y MEDIO, ANTE EL ENTE
REGULADOR GUATEMALTECO CNEE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HERWERT NEHEMÍAS MILLA PÉREZ

ASESORADO POR EL MAESTRO ING. OSBELÍ ÁNGEL RAMÍREZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Fernando Rodas
EXAMINADOR	Ing. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIA	Inga. 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 PARA LA PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE PEAJE DE UNA
NUEVA SUBESTACIÓN GIS, EN 230 KV INTERRUPTOR Y MEDIO, ANTE EL ENTE
REGULADOR GUATEMALTECO CNEE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 7 de octubre de 2020.

Herwert Nehemías Milla Pérez

Ref. EEPFI-0417-2021
Guatemala, 16 de marzo de 2021

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: PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE PEAJE DE UNA NUEVA SUBESTACIÓN GIS EN 230KV INTERRUPTOR Y MEDIO ANTE EL ENTE REGULADOR GUATEMALTECO CNEE**, presentado por el estudiante **Herwert Nehemías Milla Pérez** carné número **200611074**, 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,

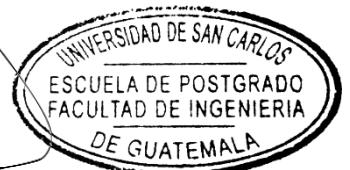
"Id y Enseñad a Todos"

Osbelí Angel Ramírez Morales
Ingeniero Electrónico
Colegiado # 13850



Mtro. Osbelí Ángel Ramírez Morales
Asesor

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



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIME-009-2021

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: **PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE PEAJE DE UNA NUEVA SUBESTACIÓN GIS EN 230KV INTERRUPTOR Y MEDIO ANTE EL ENTE REGULADOR GUATEMALTECO CNEE**, presentado por el estudiante universitario Herwert Nehemías Milla Pérez, 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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Armando Alonso Rivera Carrillo'.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, marzo de 2021

DTG. 355-2021

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 Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE ASIGNACIÓN DE PEAJE DE UNA NUEVA SUBESTACIÓN GIS, EN 230 KV INTERRUPTOR Y MEDIO, ANTE EL ENTE REGULADOR GUATEMALTECO CNEE**, presentado por el estudiante universitario: **Herwert Nehemías Milla Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, agosto de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

El dueño de la sabiduría y conocimiento, que me da la oportunidad de conocerlo un poco más, por medio del conocimiento; por ser la luz que siempre ilumina mi camino y guía cada uno de mis pasos en esta vida. A Él sea toda la gloria, el poder y la honra, por los siglos de los siglos. Amén.

Mis padres

Vitalina Pérez y Rolando Milla, por los esfuerzos diarios para tener lo necesario y terminar la carrera, además de su interminable amor y comprensión, aún en los momentos más difíciles y en los caminos más estrechos.

Mi esposa

Madeline Love, por su comprensión, amor y ayuda en cada paso de este final del camino de la carrera.

Mis hermanos

Rolando y Otto Milla, por estar con la familia cuando yo no pude y por su apoyo incondicional en cada momento de la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

A la gloriosa tricentenaria, por ser mi casa de estudios y permitir mi formación académica, de la cual estoy orgulloso de egresar.

Facultad de Ingeniería

Por todo el conocimiento y sabiduría adquiridos en sus aulas, durante mis años de estudio.

Mis padres

Maravillosas y excepcionales personas que siempre me brindaron soporte y empuje en los momentos más difíciles de esta carrera, tanto económicos como emocionales; todo por medio del sacrificio diario de su trabajo y la instrucción en el temor a Dios.

Mi esposa

Por la incondicional ayuda y sacrificio en cada paso del final de la carrera, por toda la motivación y empuje recibidos. Por ese amor que viene de lo alto y que no se acaba.

TRELEC, S.A.

Por haberme permitido convertirme en ingeniero y ayudar así al desarrollo de mi país.

Mis hermanos

Por todo el apoyo y amor recibidos, durante toda la vida, y por la comprensión y paciencia que tuvieron para que pudiera terminar mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3.1. Contexto general	5
3.2. Descripción del problema	5
3.3. Formulación del problema	6
3.3.1. Pregunta central	6
3.3.2. Preguntas auxiliares	7
3.4. Delimitación del problema	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	13

7.	MARCO TEÓRICO	15
7.1.	Sistema Nacional Interconectado.....	15
7.2.	Subestación eléctrica	17
7.3.	Partes de una subestación eléctrica	20
7.4.	Transformador de potencia	20
7.5.	Estructura eléctrica del transformador.....	22
7.5.1.	Pérdidas asociadas al transformador	24
7.5.1.1.	Pérdidas por efecto Joule.....	24
7.5.1.2.	Pérdidas por dispersión de flujo	24
7.5.1.3.	Pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo.....	25
7.5.1.4.	Pérdidas por histéresis.....	26
7.5.2.	Circuito equivalente del transformador bidevanado.....	27
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	31
9.	METODOLOGÍA	35
9.1.	Características del estudio	35
9.1.1.	Enfoque.....	35
9.1.2.	Alcance.....	35
9.1.3.	Diseño	35
9.2.	Unidades de análisis	36
9.3.	Variables	36
9.4.	Fases del estudio	37
9.4.1.	Fase 1: revisión de literatura	38
9.4.2.	Fase 2: gestión o recolección de la información.....	38
9.4.3.	Fase 3: orden y análisis de información	38
9.4.4.	Fase 4: interpretación de información	39

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	41
10.1.	Tabulación de datos	41
10.2.	Análisis estadístico de datos	41
10.3.	Herramientas de análisis	42
11.	CRONOGRAMA.....	43
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	45
13.	REFERENCIAS.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol del problema	6
2.	Esquema de la solución	14
3.	Sistema Nacional Interconectado.....	16
4.	Atlas del SNI	17
5.	Subestación interruptor y medio.....	19
6.	Transformador ideal con carga	22
7.	Ilustración de las corrientes parásitas	26
8.	Ciclo de histéresis	27
9.	Circuito equivalente del transformador.....	28
10.	Circuito equivalente simplificado	29
11.	Impedancia de corto circuito	30
12.	Fases del estudio	40

TABLAS

I.	Tabla de variables	36
II.	Definición teórica y operativa de variables	37
III.	Cronograma de actividades	43
IV.	Recursos necesarios para la investigación	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
I (t)	Corriente eléctrica dependiente del tiempo
φ	Flujo magnético
kV	Kilovoltio
N	Número de espiras
X	Reactancia
R	Resistencia
V (t)	Voltaje dependiente del tiempo

GLOSARIO

AIS	<i>Air Isolated Substation</i> (en inglés) o subestación aislada es el término para referirse a una subestación eléctrica convencional.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista. Entidad encargada de la operación técnica y comercial del mercado eléctrico mayorista guatemalteco.
Amperaje	Capacidad máxima de amperios de un elemento eléctrico.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica, que es el ente regulador en Guatemala.
Corriente eléctrica	Es el flujo de partículas cargadas, como electrones o iones, que se mueven a través de un conductor eléctrico.
EPM	Empresas Públicas de Medellín, empresa con base en Colombia y socio mayoritario de TRELEC, S.A.
FEM	Fuerza electromotriz, es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto, o producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado.

GIS	<i>Gas Isolated Substation</i> (en inglés) o subestación aislada en gas, es el término para referirse a una subestación eléctrica encapsulada.
Peaje	Es el pago que devenga el propietario de las instalaciones de transmisión, transformación o distribución, por permitir el uso de dichas instalaciones, para el transporte de potencia y energía eléctrica por parte de terceros.
TRELEC, S.A.	Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A., una de las empresas más de grandes de Guatemala, dedicadas al transporte de energía eléctrica.
Voltaje	Potencial eléctrico expresado en voltios.

RESUMEN

Como uno de los objetivos de entrar en operación comercial una subestación eléctrica se tiene el cumplir con todos los requisitos para comenzar a devengar el pago por el uso de las instalaciones, esto al mismo tiempo que la energización de la instalación; este pago es calculado con una metodología establecida por la CNEE y que cuenta con unidades establecidas para los tipos de subestaciones existentes en la red. La subestación Incienso 230kV, por sus características, no tiene aún un pago calculado y es el objetivo de la presente propuesta tener un diseño de investigación que pueda suplir este faltante como iniciativa del dueño de las instalaciones.

Además, se espera reunir toda la información necesaria según la metodología que se describe en la sección 9 y de esta forma presentar los resultados de forma tal que puedan ser utilizados como guía para obtener una aprobación o visto bueno de parte del ente regulador. Con esto se visualiza el cumplimiento de un hito importante para la empresa dueña de la instalación, así como también del sistema que se beneficiará de la puesta en operación del proyecto.

Con este diseño propuesto se da un camino a seguir y de las actividades, herramientas y costos que conllevará alcanzar este hito y da pauta a un panorama que los proyectos, similares a Incienso 230kV, pueden tener en cuenta para el inicio de su relación comercial con el mercado eléctrico guatemalteco.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos de potencia están conformados por varios elementos muy importantes para su funcionamiento. Con el actual crecimiento de la demanda de energía eléctrica y a partir de la urgencia nacional de electrificar el país, las dependencias gubernamentales responsables de la electrificación han conformado distintos planes para suplir esta demanda. Todo esto por medio de la inversión en renovación de las redes existentes y en la construcción de redes nuevas.

Estas expansiones se construyen para que duren el mayor tiempo posible. Por ello, la planificación debe elaborarse de tal forma que las líneas de transmisión y los transformadores de potencia sean capaces de suplir la curva del crecimiento de la demanda, durante toda la vida útil de los elementos mencionados.

La puesta en servicio se vuelve una actividad crítica para el cumplimiento de estos planes de expansión, ya que las instalaciones deben tener las condiciones necesarias que garanticen su correcta operación a lo largo de su vida útil.

El alcance de la investigación es establecer un flujo de aprobación, incluida una colaboración conjunta para las unidades constructivas con las que se calculará la propuesta del peaje final, que se asignará a la nueva subestación Incienso 230 kV.

De esta forma, se tendrá un ganar-ganar para todos los participantes del mercado eléctrico regional, con base en la normativa vigente y su aplicación en los momentos y tiempos apropiados.

2. ANTECEDENTES

Según AMM (2006), en Guatemala se cuenta con un sistema de transmisión fuerte, que ha evolucionado con los procesos de asignación de peajes y que se revisan cada dos años. Estos se asignan de acuerdo con registros de precios históricos. En el caso de la subestación Incienso, no se cuenta con gran récord histórico de precios, porque la configuración y el nivel de voltaje son relativamente nuevos.

Lo anterior implica un riesgo para la inversión, ya que no se asegura que la asignación de peaje sea en el momento de la puesta en servicio. Esto es muy importante para la empresa inversionista, porque impacta directamente en la calificación de riesgo que se le otorga. Se tienen los datos históricos de calificación de riesgo de la empresa inversionista de la subestación Incienso, hechos por la empresa internacional (EPM, s.f.), así como las opiniones al respecto de la página (Semana 2010). Esto para darle fundamento a la importancia que se le debe dar, por todos los participantes del mercado, a los tiempos correctos y precisos para que el ciclo de planificación-inversión-implementación-retorno sea de beneficio para el país y que así todas las empresas participantes sean rentables y sostenibles en el tiempo, y además se conviertan en socialmente responsables a medida que siguen siendo sostenibles (Trelec, S.A., s.f.).

Se analizaron las asignaciones de peaje a subestaciones que están en operación comercial desde hace 3 años (CNEE, 2012) y así tener una base para verificar las asignaciones de pagos correspondientes a las instalaciones de

transmisión, que han sido detenidas en proyectos ya en operación comercial (AMM, 2013)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Los planes de expansión al sistema de transmisión regional se pueden dar de dos formas: por licitación y por iniciativa propia (CNEE, 2010). Por iniciativa propia, hay en la región central planes de expansión que se dan en instalaciones existentes, que ya tienen un pago asignado. Al tener las instalaciones listas, se realizan los procesos documentales para tener autorización del ente regulador y así obtener el pago.

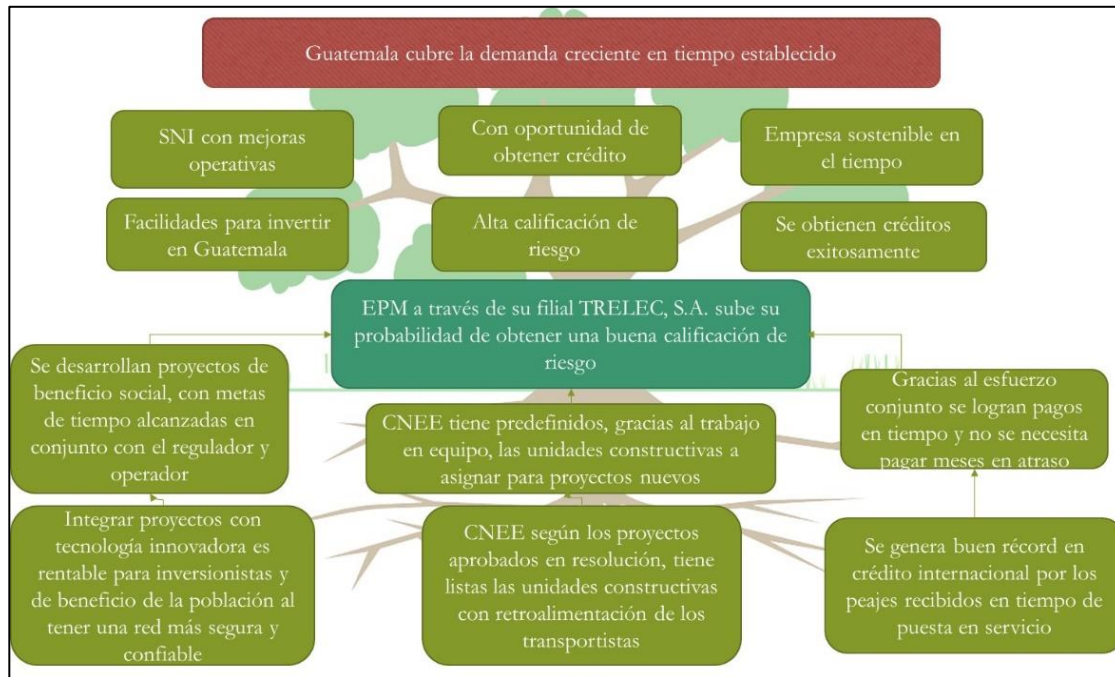
Se analizará este proceso para la nueva subestación Incienso 230 kV.

3.2. Descripción del problema

Las empresas que invierten en el país obtienen sus créditos de grandes corporaciones y de bancos nacionales e internacionales, los cuales toman como referencia calificaciones de riesgo. Estas calificaciones son a nivel mundial y se basan en el historial de la empresa y el retorno de inversiones.

La empresa que construye Incienso espera recibir el pago correspondiente, en el momento de tener la instalación en operación comercial (AMM, 2013); pero se tiene el registro histórico de proyectos que, al ingresar al sistema, pasan algunos años para que se les reconozca el pago correspondiente, por distintos motivos. De esta forma, se puede dar una baja calificación de riesgo por tener proyectos sin generar ingresos en los tiempos previstos; esto para las inversiones futuras de la empresa inversionista en proyectos de transmisión.

Figura 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Formulación del problema

A continuación, se presentan las preguntas de investigación.

3.3.1. Pregunta central

- ¿Cuáles son las unidades constructivas necesarias para determinar el peaje de una nueva subestación GIS, en 230 kV interruptor y medio, considerando el flujo de proceso para la aprobación ante el ente regulador guatemalteco CNEE?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las partes que componen el peaje de cada bahía en una subestación AIS 230 kV, en interruptor y medio?
- ¿Cuál es el proceso designado por la CNEE para proponer una unidad constructiva, en un proyecto que no tiene precedente en este tipo de tecnología?
- ¿Cuáles son los elementos de una propuesta de asignación de peaje de una nueva subestación GIS en 230kV interruptor y medio, para la aprobación ante el ente regulador guatemalteco CNEE?
- ¿Cuál es el flujo de proceso para la aprobación ante el ente regulador guatemalteco CNEE de una propuesta de unidades constructivas, de una nueva subestación GIS, en 230 kV, interruptor y medio?

3.4. Delimitación del problema

Este estudio está limitado a la subestación GIS Incienso 230 kV, interruptor y medio, de la transportista TRELEC, S.A., del municipio de Guatemala y departamento de Guatemala. Se analizarán únicamente los cortes de línea.

4. JUSTIFICACIÓN

La investigación se enfoca en la línea de proyectos de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, en un mercado eléctrico regulado en el ámbito de la regulación a nivel nacional, ya que se investigarán los peajes para tecnología *Gas Isolated Substation* (GIS), que no son comunes en el sistema eléctrico guatemalteco.

La investigación impactará positivamente en el proceso de asignación de pago para una subestación, que no tiene precedente en el sistema eléctrico, en este nivel de tensión.

Se espera tener un adecuado proceso de asignación de peaje para este tipo de tecnología específica, lo cual beneficiará a la empresa inversionista, por tener un camino acertado para los tiempos previstos de retorno de inversión. Con ello, se mantendrá una buena calificación de riesgo.

Asimismo, el sistema eléctrico guatemalteco se beneficiará al tener un proceso menos, que obstaculice las utilidades de esta subestación, en el área central el país.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar una propuesta de unidades constructivas para el peaje de una nueva subestación GIS, en 230 kV, en interruptor y medio, y determinar el flujo de proceso para la aprobación ante el ente regulador guatemalteco CNEE.

5.2. Específicos

- Describir las partes que componen el peaje de cada bahía de una subestación AIS 230 kV, en interruptor y medio, y realizar el cálculo con los costos de una subestación GIS 230 kV, en interruptor y medio.
- Describir el proceso designado por la CNEE para proponer una unidad constructiva, en un proyecto que no tiene precedente en este tipo de tecnología.
- Definir la propuesta de asignación de peaje de una nueva subestación GIS en 230 kV, en interruptor y medio, para la aprobación ante el ente regulador guatemalteco CNEE.
- Proponer el flujo de proceso para la aprobación, ante el ente regulador guatemalteco CNEE, de una propuesta de unidades constructivas, de una nueva subestación GIS 230 kV, en interruptor y medio.

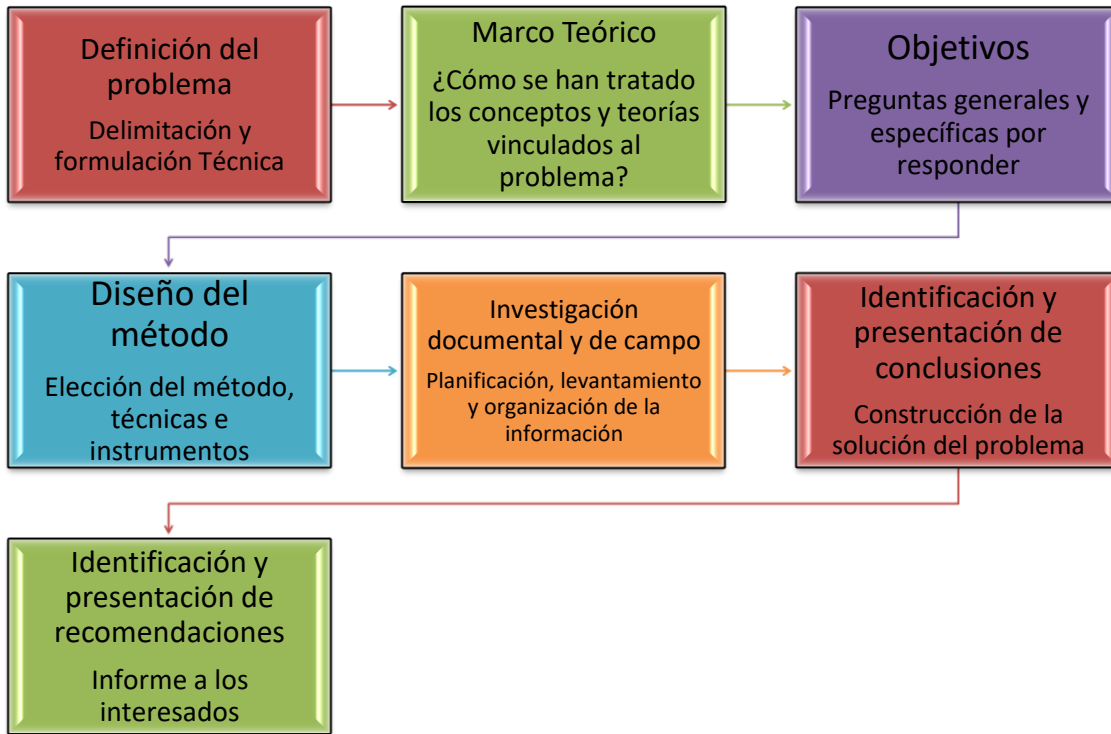
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Actualmente, se ponen en servicio subestaciones GIS en el sistema eléctrico sin recibir un pago por tenerlas en operación comercial. Esto se produce por la falta de unidades constructivas calculadas para proyectos, de las cuales no hay registro histórico de costos, por ser relativamente innovadores.

Con la propuesta, se busca reducir el riesgo de entrar en esta modalidad, por las características y aspectos que se deben cubrir para una evaluación de riesgo.

Asimismo, se busca llenar el vacío del peaje que se asignará a esta nueva subestación, para incentivar la inversión en futuros proyectos de ampliación, en instalaciones en servicio, que llegarán al final de su vida útil y que pueden mejorarse por iniciativa propia, como la nueva subestación Incienso 230 kV.

Figura 2. **Esquema de la solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

Se presenta el marco teórico que se tomará como base para la determinación del peaje. Esto incluye información técnica de los elementos que utilizan las empresas para el dimensionamiento correcto como solución a la necesidad. De esta forma, al personalizar los elementos, se obtendrán precios por los bloques que conforman las subestaciones.

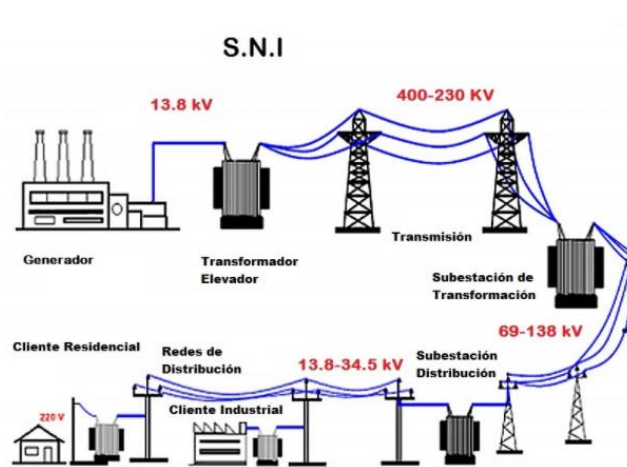
7.1. Sistema Nacional Interconectado

En Guatemala hay sistemas eléctricos cuyo origen fueron en isla, es decir, como cargas o demanda con generación exclusiva. De esta forma, se incrementó la demanda suplida por generación que no podía estar en el mismo lugar. Así fue creciendo el sistema de transporte hasta ser, en su mayoría, radial o *tap*. Esto se convirtió en problema, pero en la actualidad se logró que estén interconectados por una red de transporte y distribución en forma de malla.

También se puede tomar la definición de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE (2020):

Es el conjunto de instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda la infraestructura eléctrica destinada a la prestación del servicio de energía eléctrica que se encuentra interconectada, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país. (p.5)

Figura 3. Sistema Nacional Interconectado



Fuente: CNEE. (s.f.). *Mapa del SIN*. Consultado el 2 de octubre de 2020. Recuperado de http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=5485.

En la figura anterior, se pueden observar distintos componentes de un sistema interconectado contextualizado para Guatemala. En él, se observan los elementos eléctricos, así como los niveles de voltaje (desde 13.8 kV hasta 400 kV), que se encuentran en cada parte de la cadena del suministro.

De la misma forma, la CNEE tiene en su página un mapa interactivo de cada línea y subestación del país, el cual es útil para efectos de consulta y referencia. En algunos casos, no es suficiente esta información y se necesita mayor detalle del sistema para efectos de ubicación de un proyecto, inversión, puntos de conexión, ampliaciones, realizar ofertas, etc. Para tal caso, la CNEE tiene un mapa de locaciones, búsquedas, medición de información espacial de forma fácil e interactiva. En la figura siguiente, se muestra un poco de esta información:

La finalidad de una subestación es tener diferentes niveles de voltaje, según la aplicación que se requiere en su salida. Puede estar asignada a un generador o una instalación de distribución y para este caso contará con un transformador con el cuál se aplica lo dicho por Ramírez (1991), ya que se utiliza en distintos puntos para la reducción (distribución) o elevación (transmisión) del nivel de voltaje. Así, la subestación puede no contar con el transformador, si su aplicación es únicamente la de conmutadora.

En cualquiera de los casos, el papel es sobresaliente en los sistemas de potencia interconectados y, por lo tanto, se justifica su trato aparte de los demás elementos.

Por su aplicación, las subestaciones eléctricas se clasifican en:

- De distribución
- De transmisión
- *Switcher* o conmutación
- De generación
- De uso industrial o privado

En el caso de las de distribución, una parte importante es el transformador, ya que es el encargado de tomar la tensión del transporte y disminuirla al nivel estándar de la red, que la empresa distribuidora utilice en la región.

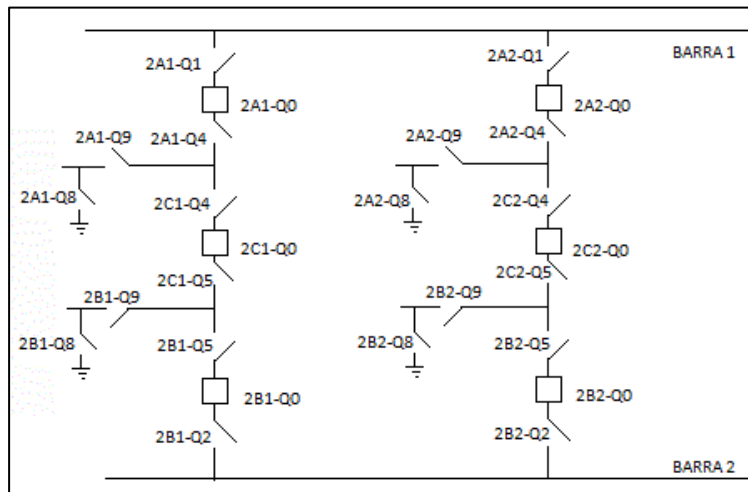
Una parte característica de las subestaciones de distribución es el patio de interruptores, que sirven para separar por número de alimentadores, a los clientes industriales y residenciales.

Similar es el caso de las de generación, porque cuentan con un activo muy importante que es el transformador, pero su función es inversa, ya que eleva la tensión que proviene de los generadores, que normalmente está alrededor de los 13 kV. El nivel de voltaje se eleva en función de la red de transporte a la que se conecte. En países con la carga objetivo a una distancia muy alejada de la fuente o generación, este voltaje puede llegar a los 1000 kV o más.

Para el caso de las de transmisión o *Switcher*, se observan como nodos o puntos de acceso, o una conexión a la red nacional o regional, incluso entre países. Deben acoplarse distintos niveles de voltaje o hasta el acople de voltaje alterno con voltaje directo.

En Guatemala hay subestaciones no tan grandes, pero que impactan en áreas de terreno muy extensas para lograr las configuraciones que se verán más adelante.

Figura 5. **Subestación interruptor y medio**



Fuente: elaboración propia.

7.3. Partes de una subestación eléctrica

Las subestaciones pueden tener muchas partes, lo cual dependerá del objetivo del estudio que se realice. Para el fin de este marco, se mencionan las siguientes:

- Transformador de potencia
- Equipos de maniobra
- Obra civil
- Obra electromecánica
- Transformadores de instrumento
- Equipos de comunicación, control, protección y medida
- Equipos de servicios auxiliares

Según criterios y objetos, pueden componerse de muchas más partes y accesorios. Para determinar unidades básicas, servirá desglosar cada una de las partes mencionadas y analizar cada elemento y su importancia asociada.

7.4. Transformador de potencia

De las subestaciones eléctricas, el transformador es el activo más crítico por sus tiempos de fabricación y entrega largos (hasta 6 meses de espera), ya que el transformador para cada subestación se fabrica a la medida.

Por ello, debe protegerse y manejarse con mucho cuidado, considerando los parámetros físicos, químicos y eléctricos.

El transformador es necesario para el manejo de la energía, su eficiencia lo hace ideal para llevar la energía desde donde se genera hasta el usuario final.

El voltaje más común en generación de Guatemala es de 13.8 kV y, según la potencia y la lejanía con los que se desea entregar, los voltajes de transporte pueden ser 400 kV, 230 kV, 138 kV y 69 kV. Con los voltajes a niveles de transmisión, la corriente se vuelve manejable para calibres de conductores que tienen un costo y una eficiencia aceptable.

Luego del trabajo de la transmisión, el transformador vuelve a jugar un papel importante dentro de las subestaciones que se encuentran cercanas a las cargas. Estas pueden ser: comercios, industria, centros comerciales, bancos, hospitales, gasolineras, residenciales o casas particulares.

La encargada de llevar esta energía a las diferentes cargas es la distribuidora, que la toma desde las subestaciones donde el transformador ya ha disminuido el voltaje a un nivel seguro, para llevarlo o distribuirlo por los caminos urbanos o rurales.

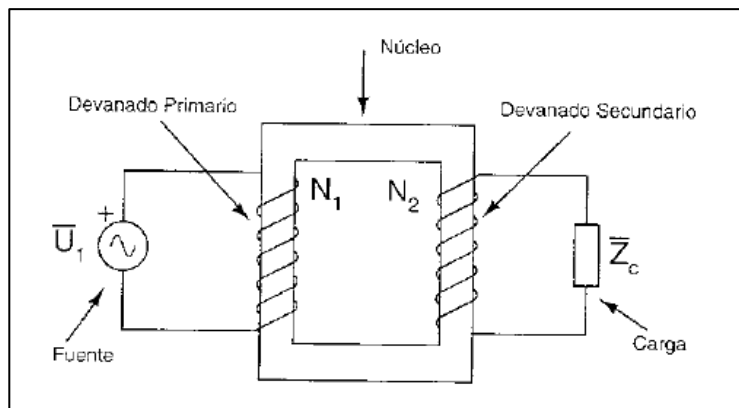
Estos voltajes de distribución también pueden variar; en el caso de Guatemala predominan dos niveles: 13.8 kV, 34.5 kV. Estos dependen de la distancia que se deba cubrir, ya que en el área rural son distancias muy largas.

Se discutirá únicamente sobre la aplicación del transformador en subestaciones para transmisión y por qué es tan importante, así como las pruebas para su puesta en servicio.

7.5. Estructura eléctrica del transformador

Un transformador se compone de dos o más bobinas. Para el presente caso, se tendrán dos bobinas de un transformador ideal, despreciando pérdidas. Además, n_1 espiras en el lado primario y n_2 espiras en el secundario, como se observa en la figura 6.

Figura 6. Transformador ideal con carga



Fuente: INEVID. (s.f.). *Transformador monofásico ideal*. Consultado el 10 de octubre de 2020.
Recuperado de <https://inevid.blogspot.com/2014/01/transformador-monofasico-ideal.html>.

Para el análisis de los parámetros eléctricos del transformador se puede partir de que la resistencia de los devanados es despreciable, no existe flujo disperso y todo el flujo queda encerrado por el núcleo, sin escapar del área de las bobinas; en este caso la permeabilidad del núcleo es de una cantidad elevada y no requiere de corriente de excitación para mantener el flujo; por lo que la resistencia en el núcleo se desprecia, de forma que no tomamos en cuenta las pérdidas por corrientes parásitas; entonces, se tiene un transformador ideal, de esta forma nos ayuda con los pasos que incluyen señales externas.

Cuando se inyecta un voltaje variable en el tiempo, $v(t)$, señal externa, produce un flujo en el núcleo φ , que induce una fuerza electromotriz igual a $v_1(t)$, por lo que, si se continua con el supuesto de que la resistencia del devanado es despreciable:

$$v_1(t) = e_1(t) = N_1 \frac{d\varphi}{dt}$$

Este φ , que también se comparte en su totalidad con el secundario, producirá una fuerza electromotriz de $e_2(t)$, que será igual a $v_2(t)$:

$$v_2(t) = e_2(t) = N_2 \frac{d\varphi}{dt}$$

Si se realiza la división entre las dos f.e.m. $\frac{v_1(t)}{v_2(t)} = \frac{N_1 \frac{d\varphi}{dt}}{N_2 \frac{d\varphi}{dt}}$, se tiene que:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Si se agrega la carga de la figura anterior, se producirá una $i_2(t)$, que a su vez debe ser compensada por una $i_1(t)$, la cual debe ser suministrada por la fuente del circuito. Se puede ver entonces que:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

De las dos ecuaciones, se observa que la potencia inyectada por el generador es igual a la potencia entregada a la carga. Esto igualando los términos como sigue: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{i_2}{i_1}$; y despejando para tener la potencia en cada extremo se

tiene que: $v_1 * i_1 = v_2 * i_2$. Lo anterior es esperado dado que se eliminó todo tipo de pérdidas para el transformador ideal.

Se dice entonces que el voltaje es proporcional al número de espiras en los devanados e inversamente proporcional a la corriente. De esta forma, el transformador se convierte en la máquina necesaria para que, dependiendo del número de espiras en cada devanado, sea capaz de disminuir el voltaje recibido de la red de transmisión a un voltaje de un nivel manejable, para poder distribuir la energía.

7.5.1. Pérdidas asociadas con el transformador

Por las características de los materiales con los que se fabrican los transformadores, hay diferentes pérdidas asociadas con las propiedades eléctricas inherentes de cada material. Para objeto del presente estudio sobre las pruebas a la protección, se mencionan:

7.5.1.1. Pérdidas por efecto Joule

Según los estudios realizados por James Joule (1840), se sabe que la corriente eléctrica que circula por un conductor produce calentamiento. Debido a este calentamiento, se pierde en el camino cierta cantidad de energía que no es entregada desde el origen.

7.5.1.2. Pérdidas por dispersión de flujo

El voltaje sinusoidal, aplicado en el devanado primario, es el que produce un campo magnético que, a su vez, produce un flujo magnético. Al tratar de hacer circular este flujo por el bobinado secundario, se producen varias líneas perdidas

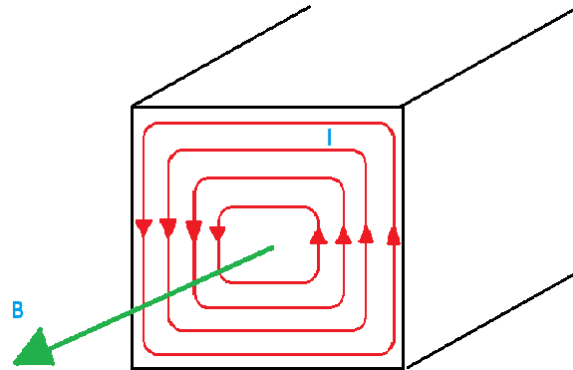
de flujo. Para esto, se devanan o enrollan las bobinas en un núcleo de hierro (laminado y al silicio) y con esto se consigue un direccionamiento concentrado de líneas de flujo hacia el bobinado secundario. Sin embargo, se tienen algunas líneas de flujo que no alcanzan el bobinado secundario. Estas pérdidas se tomarán en cuenta para la protección del transformador.

7.5.1.3. Pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo

También conocidas como corrientes de Eddy, se les llama parásitas porque no se usan para el fin que tiene el transformador, ya que afectan su eficiencia. Su origen se explica en la figura 7, donde B_0 es un campo magnético no variante. Las x representan las líneas de flujo que están entrando perpendicularmente a la imagen; el rectángulo gris representa el material con el que se puede tener interacción electromagnética (ferromagnético). Si se aplica una fuerza al material y se le aleja del campo, se producirá una corriente que seguirá un camino amplio, según sea el tamaño del material. Esto por la fuerza que se le aplica a las cargas.

En el caso del transformador, esto se da en forma inversa, ya que el flujo es el que varía en el tiempo. Para reducir el impacto, el núcleo se fabrica con un material de alta resistencia, construido en partes o láminas, para que el camino de la corriente se más corto. De cualquier forma, estas corrientes producen pérdida de energía debido al efecto Joule.

Figura 7. **Ilustración de las corrientes parásitas**

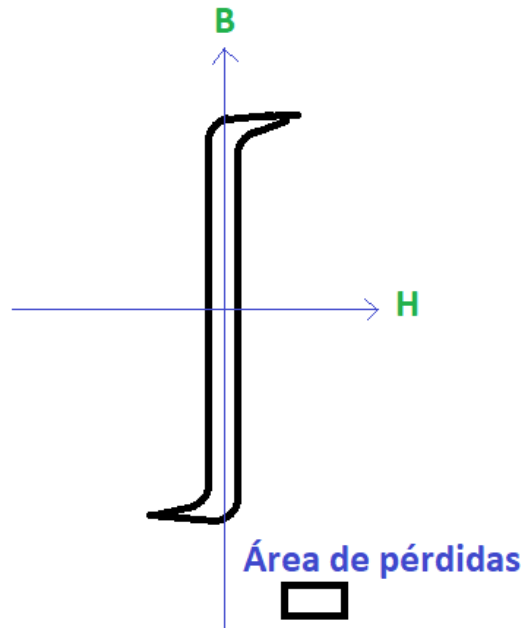


Fuente: elaboración propia.

7.5.1.4. **Pérdidas por histéresis**

Al entrar en un campo magnético creciente, los materiales se afectan en sus dominios magnéticos, ya que son obligados a orientarse hacia el campo. Al disminuir el campo, no todos los dominios magnéticos regresan a su posición original, sino conservan un magnetismo remanente debido a los rozamientos moleculares. Según el tipo de material (blando o duro), puede resistirse a la variación de sus dominios, en mayor o menor cantidad. Debido a que el origen del campo es sinusoidal, al graficar su propiedad $B(H)$, se obtiene un lazo como el de la figura 8.

Figura 8. **Ciclo de histéresis**



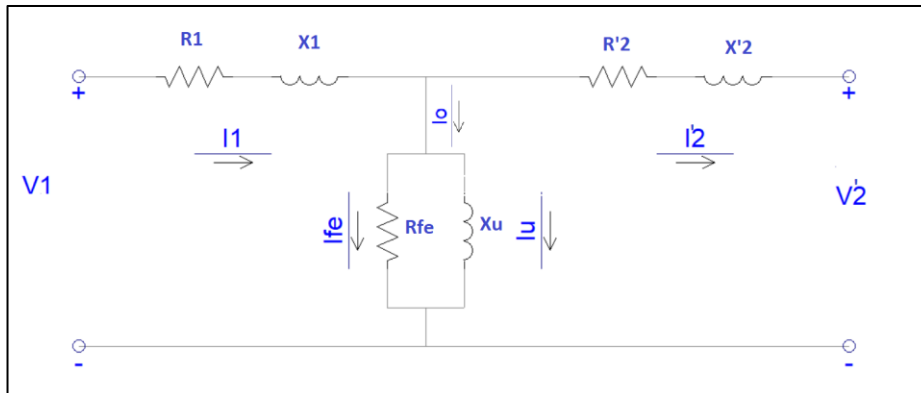
Fuente: elaboración propia.

La histéresis es un efecto característico de cada material, lo ideal es que el lazo sea lo más delgado posible, ya que el área encerrada por cada ciclo es proporcionalmente igual a la energía perdida en forma de calor en el núcleo del transformador.

7.5.2. **Circuito equivalente del transformador bidevanado**

Se sabe que el transformador no es ideal y se pueden modelar, como se observa en la figura 9.

Figura 9. **Circuito equivalente del transformador**



Fuente: elaboración propia.

Según la figura anterior, se pueden modelar las corrientes que tendrá cada devanado: I_1 para el devanado primario; e I'_2 para el devanado secundario, pero vista desde el lado primario. Esto según la relación n_1/n_2 , vista en la sección 7.4.1.

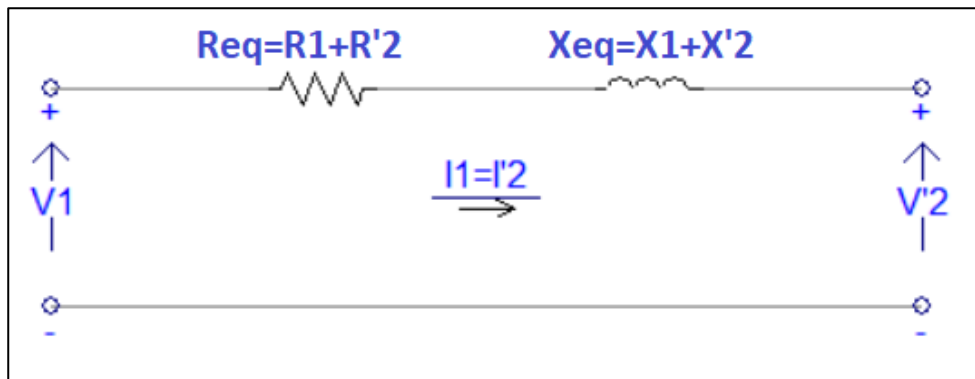
Las impedancias del devanado primario se dan por la representación de la característica de los arrollamientos R_1 , X_1 ; para el secundario, R'_2 , X'_2 , que son los valores vistos desde el primario.

En el centro se observa una rama cuya corriente circulante en vacío es I_0 , que a su vez contiene I_{fe} que circula por la R_{fe} , el cual representa las pérdidas por el efecto Joule, en el núcleo. Estas se mencionaron en 7.4.2.1 y 7.4.2.2. Por el otro lado, se observa una corriente I_μ que circula por X_μ , que representa el flujo magnético necesario para mantener el campo en el devanado secundario.

Los valores de la rama de magnetización y de los arrollamientos se pueden obtener por medio de pruebas en fábrica.

Al observar las magnitudes de las tres corrientes I_1 , I'_2 e I_0 , se nota que I_0 es considerablemente menor y, por lo tanto, para el efecto de tener un valor simplificado, se desprecia porque para el análisis de un transformador a plena carga, esta es muy pequeña.

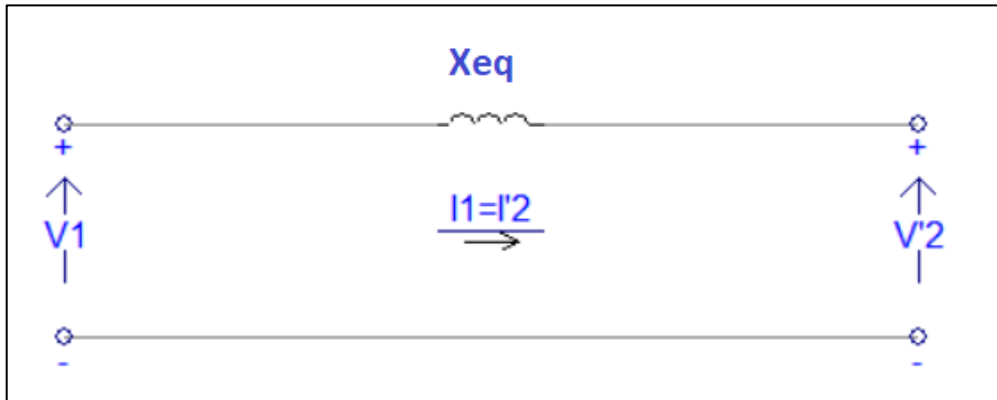
Figura 10. **Circuito equivalente simplificado**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, ahora se ha eliminado la rama de magnetización. Al tener los circuitos primario y secundario en serie es simple llegar a un circuito equivalente o impedancia de corto circuito. Se le da este nombre por el tipo de prueba que se realiza para determinar su valor, es decir, al colocar las terminales del secundario en corto y poner un voltaje en el primario de modo que circule una corriente equivalente a la nominal.

Figura 11. Impedancia de corto circuito



Fuente: elaboración propia.

En transformadores de potencia relativamente grandes, como el que se analiza en esta investigación, la resistencia se queda bastante corta en comparación con la reactancia de los devanados y, de esta forma, se vuelve insignificante y los resultados pueden ser muy precisos. Se obtiene, por ello, la impedancia corto circuito que ayudará más adelante en el análisis.

La rama de magnetización es de utilidad para los análisis de protección. Los valores de esta rama son calculados con la prueba en vacío, llamada así porque se deja en vacío el lado primario y se somete el secundario a una tensión equivalente a la nominal, lo cual da como resultado una única corriente circulante, que es en el equivalente de magnetización.

Estos valores se encuentran en las placas de transformadores, que el fabricante escribe según los resultados y cálculos mencionados en los párrafos anteriores.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

- 1.1. Sistema nacional interconectado
- 1.2. Subestación eléctrica
- 1.3. Partes de la subestación eléctrica
- 1.4. Transformador de potencia
 - 1.4.1. Estructura eléctrica del transformador
 - 1.4.1. Pérdidas asociadas al transformador
- 1.5. Equipos de alta tensión
- 1.6. Obras civiles
- 1.7. Estructuras metálicas
- 1.8. Equipos de control y protección
- 1.9. Tecnología GIS
 - 1.9.1. Ventajas de tecnología GIS
 - 1.9.2. Implementación en áreas urbanas
 - 1.9.3. Mantenimiento

- 1.10. Interruptor y medio aislado en gas
 - 1.10.1. Descripción de la configuración y tecnología
 - 1.10.2. Usos de la configuración
 - 1.10.3. Ventajas en la operación de un sistema con configuración interruptor y medio
 - 1.10.4. Modelo ideal de equipos
 - 1.10.5. Comparativa con tecnología AIS

- 2. CÁLCULO DE PEAJE AIS Y PROCESO PARA ESTABLECER UNIDADES CONSTRUCTIVAS
 - 2.1. Descripción del cálculo de peaje para tecnología AIS
 - 2.2. Proceso para obtener el peaje de subestación
 - 2.3. Resoluciones publicadas por CNEE
 - 2.4. Descripción de precios de equipos y materiales
 - 2.5. Modelo económicamente adaptado
 - 2.6. Cálculo de precio de unidades constructivas

- 3. ELABORACIÓN DE PROPUESTA DE PEAJE
 - 3.1. Adaptación del modelo de peaje en tecnología AIS
 - 3.2. Aplicación de nuevo modelo para cortes de línea
 - 3.3. Desglose de precios en peaje para tecnología GIS

- 4. PRESENTACIÓN DE FLUJO DE APROBACIÓN DE PEAJE
 - 4.1. Pasos para aprobación de proyectos
 - 4.2. Pasos para aceptaciones de obra
 - 4.3. Documentación requerida para puesta en operación
 - 4.4. Procedimiento para devengar el peaje asignado o propuesto

- 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

A continuación, se detallan los elementos metodológicos que se considerarán en la investigación de asignación de peaje.

9.1.1. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo porque se tomarán variables medibles. Se realizarán actividades paralelas o simultáneas, es decir la adquisición y el análisis se desarrollarán en conjunto y se intentará responder a las preguntas iniciales. No obstante, pueden replantearse para lograr los objetivos descritos.

9.1.2. Alcance

El alcance es exploratorio dado que, bajo las características de este tipo de alcance, se indagará sobre nuevos procesos por tipo de tecnología, tipo de configuración y nivel de voltaje en el que se aplica. Además, porque son casos poco estudiados y con información escasa en el país o de difícil acceso.

9.1.3. Diseño

El diseño adoptado será no experimental, pues las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizarán sin intervención o manipulación, es decir, la información de peajes de una subestación GIS, en 230 kV, se analizará en su

estado original sin ninguna manipulación, ya que las características no son posibles de manipular. Asimismo, será transversal pues se estudiarán las características de los peajes para dos tipos de subestaciones: en aire y en gas.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será subestaciones eléctricas de 230 kV, en configuración interruptor y medio, en subpoblaciones dadas por el tipo de tecnología: aisladas en gas y aisladas en aire. De estas, se extraerán muestras de forma no probabilística, ya que dependerán de las características de la investigación que se desea realizar.

9.3. Variables

Una variable es una característica observable entre los diferentes individuos de una población.

Tabla I. **Tabla de variables**

	Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Discreta	Continua			
Costo de equipos		X		X	Intervalo
Costo de construcción		X		X	Intervalo
Unidad constructiva	X			X	Nominal
Potencia		X		X	Intervalo
Partes de la subestación	X			X	Nominal
Tiempo de elaboración		X	X		Intervalo
Tiempo de aprobación		X	X		Intervalo

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Definición teórica y operativa de variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Costos de equipos	El monto de cada factura de compra de equipos por parte del transportista	Se investigarán los precios actuales en quetzales.
Costo de construcción	El costo asociado con la mano de obra según precios de mercado	Se realizará investigación de precios de mercado y bases de datos de la CNEE en quetzales.
Potencia	Relación voltaje de 230 kV contra la ampacidad de los equipos y cables de entrada	Se revisarán especificaciones técnicas de los equipos primarios, en amperios y voltios.
Unidad constructiva	Precio por las partes en las que se divida la subestación	Se investigará la forma en que se realiza actualmente en una AIS.
Partes de la subestación	Elementos indispensables para el correcto funcionamiento de la subestación	Se numerarán por bloques, según la forma en que se encuentre que trabajan los peajes ya asignados.
Tiempo de elaboración	Unidad de tiempo de una persona para recopilar datos y determinar el peaje	Se llevará el registro de los tiempos efectivos para que, al finalizar, se tenga un tiempo completo de elaboración y aprobación.
Tiempo de aprobación	Unidad de tiempo establecidas para las actuales asignaciones de peaje	Se recopilarán con base en las normativas actuales del ente regulador.

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

A continuación, se describen, en forma general, el proceso, los pasos y las actividades por realizar para conseguir los objetivos propuestos.

9.4.1. Fase 1: revisión de literatura

Esta fase inicial da respuesta a tres intenciones concretas: construir un marco teórico que permita contextualizar la investigación desarrollada; tomar las decisiones en torno al diseño de los instrumentos adecuados a los objetivos y problema planteados; y reflexionar en torno a la información obtenida.

9.4.2. Fase 2: gestión o recolección de la información

La recolección de datos será la actividad de recopilación de información dentro del contexto. Tras reunir esta información, llegará el momento del procesamiento de datos, que consiste en trabajar con lo recolectado para convertirlo en conocimiento útil.

Dentro de la recolección de datos, se apelará a diversas técnicas: la observación, la toma de muestras y las entrevistas, entre otras, que permitirán realizar esta tarea.

9.4.3. Fase 3: orden y análisis de información

Se trata de un conjunto de manipulaciones, transformaciones, operaciones, reflexiones y comprobaciones, realizadas a partir de los datos, con el fin de extraer significado relevante, en relación con el problema de investigación.

Esta fase implica diferentes finalidades que requieren de actividades concretas:

- Reducción de datos: separación de unidades, síntesis y agrupamiento, identificación y clasificación de elementos.

- Disposición y transformación de datos
- Obtención y verificación de conclusiones; procesos para obtener conclusiones, procesos para alcanzar conclusiones, verificación de conclusiones.

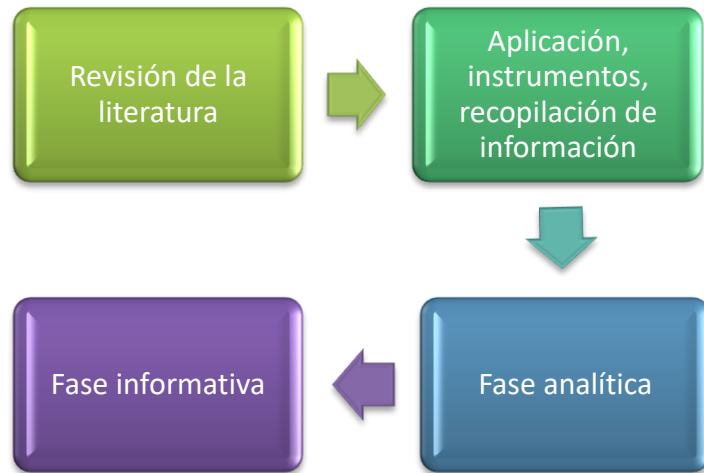
En la investigación, la reducción de datos implica el vaciado, relación, síntesis y agrupamiento de la información obtenida. Se pretende identificar y clasificar los datos obtenidos, por cada uno de los instrumentos utilizados, respecto de las dimensiones y objetivos establecidos.

9.4.4. Fase 4: interpretación de información

La última fase presenta las conclusiones, las nuevas perspectivas y las líneas de futuro respecto a la investigación. Las orientaciones que se tratarán de atender son:

- Construcción del discurso con una organización adecuada de las ideas
- Presentación de modo atractivo de las ideas. con un estilo de redacción que atraiga la atención del lector.

Figura 12. **Fases del estudio**



Fuente: elaboración propia.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se presentan las técnicas que se utilizarán en las fases de análisis y que son de importancia para la construcción de las propuestas.

10.1. Tabulación de datos

La información se recolectará y se clasificará, dependiendo del tipo de datos, ya sea cuantitativa o cualitativa. Esta se tabulará ordenadamente, con el programa Excel de Office, para ordenar la información y proceder a su análisis. Lo anterior se aplicará para las distintas tecnologías.

10.2. 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
- Medidas de dispersión
- Medidas de posición

Estadística inferencial:

- Muestreo aleatorio simple
- Medidas de centralización

Para los datos cuantitativos de variables financieras, se hará un análisis de ingeniería económica, para obtener los resultados por analizar.

Para los datos cuantitativos puramente de carácter técnico, se hará un análisis comparativo de los valores referenciados, a los datos comunes de casos generales y comunes.

10.3. Herramientas de análisis

Para el análisis de los resultados, se utilizarán las siguientes herramientas:

- Excel
- Gráficas
- Ingeniería económica
- Cuadros comparativos

11. CRONOGRAMA

Se presenta en la tabla III, el cronograma de la investigación:

Tabla III. Cronograma de actividades

Descripción del hito	Categoría	Asignado a	Progreso	Inicio	Número de días	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	
						g	e	o	o	ic	n	e	a	a	u	u	g	e	e	m
						o	p	t	v	i	e	b	r	e	r	o	o	o	o	o
Protocolo																				
Marco teórico	Riesgo medio	Nehemías Milla	100%	11/08/2020	18															
Diseño metodológico	Riesgo medio	Nehemías Milla	100%	30/08/2020	15															
Redacción de protocolo	Riesgo medio	Nehemías Milla	100%	15/09/2020	15															
Aprobación de protocolo	Riesgo alto	Escuela postgrado	50%	30/10/2020	15															
Recolección de información																				
Información de transportista	Riesgo medio	Nehemías Milla	0%	01/11/2020	60															
Información de CNEE	Riesgo medio	Nehemías Milla	0%	01/11/2020	60															
Información de peajes	Riesgo medio	Nehemías Milla	0%	01/01/2021	30															
Análisis e interpretación																				
Descripción	Riesgo bajo	Nehemías Milla	0%	20/02/2021	25															
Análisis	Riesgo medio	Nehemías Milla	0%	15/03/2021	30															
Modelado	Riesgo alto	Nehemías Milla	0%	15/04/2021	15															
Elaboración de propuesta	Riesgo alto	Nehemías Milla	0%	30/04/2021	15															
Redacción del informe final																				
Redacción	Riesgo alto	Nehemías Milla	0%	10/05/2021	70															
Revisión seminario	Riesgo alto	Seminario III	0%	01/07/2021	30															
Revisión final por asesor																				
Visto Bueno	Hito	Asesor	0%	20/08/2021	15															
Entrega y aprobación del informe final																				
Aprobación	Hito	Escuela postgrado	0%	30/08/2021	30															

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Después de identificar los recursos necesarios para la elaboración de la investigación y tener una aproximación del costo de cada uno, se concluye que el estudio es factible y el financiamiento será propio para las áreas o puntos donde aplique. En recursos como honorarios del investigador o equipo ya existente. Se tomará en cuenta el costo que implican esos recursos, para utilizarlos en beneficio del estudio.

Tabla IV. Recursos necesarios para la investigación

No.	Nombre del recurso	Unidad	Precio por unidad (Q)	Cantidades	Precio estimado (Q)	Relación con el total
1	Honorarios investigador	hora	133.33	288	38,400.00	61.28 %
2	Honorarios asesor	revisión	1,200.00	7	8,400.00	13.40 %
3	Depreciación vehículo	mes	1,000.00	6	6,000.00	9.57 %
4	Gasolina	mes	300.00	6	1,800.00	2.87 %
5	Telefonía e internet	mes	300.00	6	1,800.00	2.87 %
6	Energía eléctrica	kWh	1.25	140	175.00	0.28 %
7	Papel	resma	27.00	4	108.00	0.17 %
8	Impresora más tinta	unidad	1,000.00	1	1,000.00	1.60 %
9	Equipo de cómputo	Depreciación	Q2,000.00	1	2,000.00	3.19 %
				Subtotal	59,683.00	
				Imprevistos 5 %	2,984.15	
				Total	Q 62,667.15	

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. AMM (Diciembre, 2013). Habilitación comercial para operar en el mercado. *Norma de Coordinación Comercial* 14, 1-35. Recuperado de https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=23NCC-14%20Habilitaci%C3%B3n%20comercial%20para%20operar%20en%20el%20Mercado%20Mayorista%20y%20Sistema%20de%20Medici%C3%B3n%20Comercial%20actualizado%2012-2018%20Rev.pdf.
2. AMM (Octubre, 2013). Base de datos. *Norma de Coordinación Operativa*, 1, 1-24. Recuperado de https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=24NCO-01%20actualizado%2012-2015.pdf.
3. AMM (Octubre de 2013). Coordinación de la operación en tiempo real. *Norma de Coordinación Operativa*, 2, 1-54. Recuperado de https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=25nco-02.pdf.
4. AMM (Octubre, 2013). Determinación de los criterios de calidad y niveles mínimos de servicio. *Norma de Coordinación Operativa* 4, 1-24. Recuperado de https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=27NCO%2004%20Determinaci%C3%B3n%20de%20Criterios%20de%20Calidad%20y%20Niveles%20M%C3%ADnimos%20de%20Servicio%20actualizado%2012-2020.pdf/.

5. AMM (Abril, 2006). Asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal y secundarios, y cargos por uso del sistema de transmisión regional. *Norma de Coordinación Operativa*, 9, 1-12. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc09.pdf>.
6. CNEE (1999). *Normas técnicas de diseño y operación del servicio de transporte de energía eléctrica*. Guatemala: CNEE. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/06%20NTDOST.pdf>.
7. CNEE (2006). Asignación y liquidación del peaje en los sistemas de transporte principal y secundarios, y cargos por uso del primer sistema de transmisión regional. Guatemala: CNEE. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc09.pdf>.
8. CNEE (2010). *Compendio de Normas Técnicas*. Guatemala: SERVIPRENSA S.A. Recuperado de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00050.pdf>.
9. CNEE (Noviembre, 2012). Tasa de actualización para determinación de tarifas. *Diario de Centro América*, 84, 6-8. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2012/CNEE%20263%202012.pdf>.
10. CNEE (s.f.). *Atlas del SIN*. [Mensaje de blog]. Recuperado de http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=1008.

11. CNEE. (Septiembre, 2012). Norma de requerimiento de información para los estudios del valor agregado a la distribución VAD. *Diario de Centro América*, 50, 5-6. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2012/CNEE%20216%202012.pdf>.
12. EPM (s.f.). *Calificaciones de Riesgo Crediticio*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.epm.com.co/site/inversionistas/inversionistas/calificaciones-de-riesgo>.
13. INEVID. (s.f.). *Transformador monofásico ideal*. [Mensaje de blog]. <https://inevid.blogspot.com/2014/01/transformador-monofasico-ideal.html>.
14. Pernia, M. (Febrero, 2017). Conceptos fundamentales de los Transformadores Monofásicos. *ResearchGate*, Vol. Único. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Transformador-ideal-esquema-circuito-equivalente-b_fig1_315380323.
15. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (s.f.). *Proyecto Mecesus*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://agora.ucv.cl/docs/592/libro2/index54.htm>.
16. Ramírez, C. (1991). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Colombia: Impresiones gráficas Ltda.

17. Semana (28 de octubre de 2010). *Calificación internacional a la deuda de EPM*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.dinero.com/actualidad/noticias/articulo/calificacion-internacional-deuda-epm/53492>.

18. Trelec S.A. (s.f.). *Sostenibilidad*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.trelec.com.gt/sostenibilidad#epm>.