



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE
EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SUBESTACIONES DE
TRANSMISIÓN EN 230 kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA**

César René Selva

Asesorado por el Maestro Ing. Víctor Manuel de León Contreras

Guatemala, febrero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE
EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SUBESTACIONES DE
TRANSMISIÓN EN 230 kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CÉSAR RENÉ SELVA

ASESORADO POR EL MAESTRO ING. VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO 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. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Urdiales Contreras
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Ramiro Barnett Castellanos
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

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 UN PROTOCOLO DE
EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SUBESTACIONES DE
TRANSMISIÓN EN 230 kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 10 de noviembre de 2020.

César René Selva

Ref. EEPFI-1377-2020
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: PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN EN 230 kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante **César René Selva** carné número **8711973**, 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.

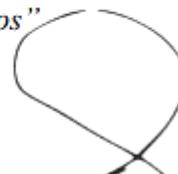
Atentamente,



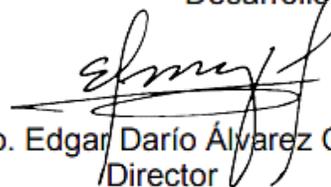
VÍCTOR MANUEL DE LEÓN CONTRERAS
INGENIERO ELECTRICISTA COL 7739
FORM. Y EVALUAC. DE PROYECTOS M3c

Mtro. Víctor Manuel de León Contreras
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"



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





EEP-EIME-022-2020

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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN EN 230 kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario César René Selva, 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

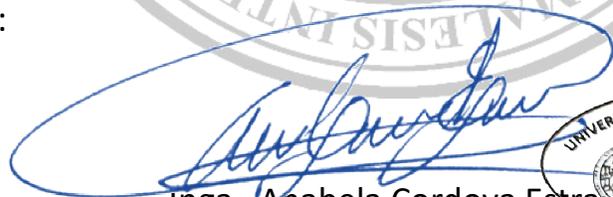


Guatemala, noviembre de 2020

DTG. 035.2021.

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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN PROTOCOLO DE EVALUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN EN 230 kV DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **César René Selva**, 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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A

- Dios** Mi amado Padre, por ser la luz divina que ilumina mi existencia.
- Mi madre** Ana Marghot Selva Ardón, por todo el amor, esfuerzos y sacrificios que me han acompañado a lo largo de mi vida.
- Mi hermano** José Solimán Valle Selva.
- Mis abuelas** María Josefa Ardón y Carmen Ardón, con eterno agradecimiento y oraciones en su memoria.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San San Carlos de Guatemala	Casa de estudios que me brindó el conocimiento y nivel académico necesario para mi desarrollo como profesional.
Facultad de Ingeniería	Forjadora de ideales, por inculcarme la responsabilidad, la ética y las herramientas para mi desarrollo profesional.
Escuela de Estudios de Postrados	Por permitirme obtener mi carrera de pregrado.
Mi asesor	Ing. Víctor de León, por su apoyo Incondicional.
TRECSA y Unión Fenosa	Por toda la experiencia y formación a lo largo mi vida laboral.
Mis compañeros de maestría	Por su apoyo y convivencia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	10
3.3. Formulación del problema	12
3.3.1. Pregunta central	12
3.3.2. Preguntas auxiliares	12
3.4. Delimitación del problema	13
3.4.1. Delimitación contextual	13
3.4.2. Delimitación geográfica	13
3.4.3. Delimitación histórica	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General	17
5.2. Específicos	17

6.	NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	19
7.	MARCO TEÓRICO	21
7.1.	Equipos de potencia.....	24
7.1.1.	Transformador de intensidad.....	24
7.1.2.	Transformadores de potencial.....	24
7.1.3.	Interruptores de potencia.....	25
7.2.	Dispositivos IED	25
7.3.	Funciones de protección	26
7.3.1.	Funciones basadas en corriente	27
7.3.2.	Funciones basadas en corriente y tensión	28
7.3.3.	Funciones basadas en impedancia	28
7.3.4.	Función sobre y subtensión.....	29
7.3.5.	Función de frecuencia	30
7.3.6.	Función oscilación de potencia	30
7.3.7.	Función de recierre	31
7.3.8.	Función sincronismo	32
7.3.9.	Función fallo interruptor.....	32
7.3.10.	Función de teleprotección	33
7.3.11.	Función SOFT	34
7.3.12.	Función STUB	34
7.3.13.	Funciones generales	34
7.4.	Protocolos de protección.....	35
7.5.	Características de los equipos de protección.....	36
7.5.1.	Seguridad	36
7.5.2.	Fiabilidad	36
7.5.3.	Sensibilidad	36
7.5.4.	Rapidez	37

7.5.5.	Selectividad	37
7.6.	Fallas en los sistemas eléctricos	38
7.7.	Equipos y programas de software	39
7.7.1.	Equipos.....	39
7.7.2.	Programas de software.....	40
7.8.	Personal técnico	42
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	43
9.	METODOLOGÍA.....	47
9.1.	Características del estudio	47
9.1.1.	Diseño	47
9.1.2.	Enfoque	48
9.1.3.	Alcance.....	48
9.2.	Unidad de análisis	48
9.3.	Variables.....	49
9.4.	Fases del estudio	50
9.4.1.	Fase 1. Recolección y revisión documental.....	50
9.4.2.	Fase 2. Identificación de la información.....	51
9.4.3.	Fase 3. Elaboración del protocolo	51
9.4.4.	Fase 4. Ejecución del protocolo.....	52
9.4.5.	Fase 5. Análisis de resultados y proceso de mejora.....	52
9.5.	Resultados esperados.....	53
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	55
11.	CRONOGRAMA.....	57

12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	59
13.	REFERENCIAS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Árbol del problema	11
2.	Diagrama de bloques sistema de protección	38
3.	Cronograma de actividades	57

TABLAS

I.	Esquema de solución	20
II.	Clasificación de variables	49
III.	Presupuesto recurso humano	60
IV.	Presupuesto recurso tecnológico	61
V.	Presupuesto recurso material	61
VI.	Resumen de presupuesto	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hz	Ciclos por segundo
f	Frecuencia
79	Función re cierre
25	Función sincronismo
59	Función sobre voltaje
27	Función sub voltaje
h	Horas
kV	kilovoltios
Ms	Milisegundos
21	Protección distancia
21N	Protección distancia neutro
51N	Protección sobreintensidad temporizada de neutro
50	Protección sobreintensidad
67	Protección sobreintensidad direccional
67N	Protección sobreintensidad direccional de neutro
51	Protección sobreintensidad temporizada
W	Vatios
Vca	Voltaje corriente alterna
Vcc	Voltaje corriente continúa
V	Voltaje

GLOSARIO

Acseerator	Herramienta digital para la programación y condicionamiento de los relés del fabricante SEL.
ABB	Acrónimo del fabricante de equipos de potencia y relevadores de protección para instalaciones eléctricas de potencia.
AMM	Administrador del mercado mayorista de Guatemala.
ANSI	American National Standards Institute.
CONTRADE	Archivo digital que simula eventos en un sistema eléctrico de potencia
DIGSI	Software del fabricante Siemens utilizado como herramienta para programar y evaluar los relés Siprotec-Siemens.
DOBLE	Fabricante de equipos para la ejecución de Pruebas eléctricas de evaluación de funcionamiento a equipos de subestaciones eléctricas.

ETCEE	Empresa de transporte y control de energía eléctrica, del mercado eléctrico de Guatemala.
EPR	Empresa propietaria de la red, opera el transporte De energía eléctrica de Centro América.
ETAP	Herramienta digital para la realización de estudios eléctricos en sistemas de potencia.
IEC	Comisión eléctrica internacional por sus siglas en Ingles, emite, evalúa y actualiza las normas eléctricas bajo su estándar.
IED	Dispositivo electrónico inteligente.
INDE	Instituto nacional de electrificación de Guatemala.
Monofásico	Sistema eléctrico compuesto por una única fase.
NEPLAN	Herramienta digital para realizar estudios eléctricos en sistemas de potencia.
ONMICRON	Fabricante de equipos para pruebas en subestaciones eléctricas
Protocolo	Documento mediante el cual se guarda los resultados de pruebas a equipos de las subestaciones

Recierre	Acción de un interruptor de ejecutar un cierre, Inmediatamente después de una apertura por orden de un relevador.
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories, fabricante de soluciones eléctricas a sistemas de control, automatización, protección, medición y comunicaciones en el sector eléctrico.
SIEMENS	Fabricante de equipos de potencia, relevadores Protección y software para sistemas eléctricos de potencia
SNI	Sistema nacional interconectado de Guatemala.
SPE	Sistema de protección eléctrica.
SOFT	Función de protección que actúa ante un cierre sobre una falla en el sistema.
STUB	Función de protección auxiliar como respuesta a una falla en una zona muerta.
TRANSESUSA	Transportes eléctricos del Sur, S. A, agente transportista del mercado eléctrico de Guatemala.
TRANSNOVA	Transmisora de energía renovable, agente transportista del mercado eléctrico de Guatemala.

TRECSA	Transportadora de electricidad de Centro América, S.A. agente transportista del mercado eléctrico de Guatemala
TRELEC	Transportista Eléctrica Centroamérica, agente transportista del mercado eléctrico de Guatemala
TREO	Transportista eléctrica de Occidente, agente transportista del mercado eléctrico de Guatemala.

RESUMEN

La energía eléctrica está presente en las actividades productivas de Guatemala, razón por la cual es de suma importancia que el servicio eléctrico sea de calidad, confiable, continuo y seguro.

Otra característica importante del sistema eléctrico es la sensibilidad y selectividad como respuesta a las fallas que se presenten en su operación, debido a esto, el presente diseño de investigación plantea la evaluación de los esquemas de protección en las instalaciones del sistema eléctrico nacional.

Se desarrollará un protocolo donde se incluyan las funciones de protección eléctrica establecidas y recomendadas, en las normas internacionales y nacionales, así como se indagará en las empresas propietarias de la red eléctrica de transmisión, la utilización de protocolos que evalúen la correcta implementación y actuación de sus equipos de protección.

Se pretende integrar los diversos protocolos que presente los propietarios de las instalaciones, incluir funciones y esquemas que a consideración del investigador no se estén evaluando actualmente, y finalmente poner en ejecución el protocolo diseñado en la puesta en servicio de una subestación que este en su etapa de pruebas de puesta en servicio. Para este caso se tomó la Subestación Chiantla 230/69 kV.

Esta subestación formara parte de la red de transporte del sistema nacional interconectado y es propiedad de la empresa TRECSA.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como temática, el desarrollar un documento en el que se unifiquen los diferentes criterios, para comprobar la correcta operación de los esquemas de protección de subestaciones eléctricas en 230 kV, existentes en las empresas del sector de transporte de energía eléctrica de Guatemala, y que forman parte de los protocolos de pruebas de puesta en servicio. Todo esto como etapa previa a la entrada en operación de una nueva subestación eléctrica dentro del sistema nacional interconectado en su parte de transporte o transmisión.

La principal característica de las pruebas a los esquemas de protección es su variabilidad dependiendo de la empresa ejecutora, es decir, existen en el sector eléctrico de Guatemala diversidad de protocolos establecidos para este fin, y aunque su objetivo es el mismo la forma en de su ejecución y la cantidad de pruebas incluidas no están unificadas. El correcto funcionamiento de los esquemas de protección durante la operación y funcionamiento de una subestación eléctrica son: la operación segura y fiable dentro del sistema nacional interconectado.

Para analizar el porqué de la diversidad de protocolos o métodos de evaluación de los esquemas de protección, debemos ir a su causa: la normativa o normas de acceso a la red de transmisión o transporte, dentro de sus requisitos contemplados en el estudio de coordinación de protecciones no contempla un protocolo establecido para el mismo, por lo que cada empresa realiza las pruebas de evaluación de acuerdo con sus criterios.

Las líneas de transmisión en sus diferentes niveles de voltaje se interconectan en las subestaciones eléctricas, donde se acoplan eléctricamente a través de máquinas eléctricas estacionarias denominadas transformadores de potencia, diseñadas con los aislamientos y niveles de voltajes adecuados de acuerdo con el nivel de las líneas o sistemas que van a acoplar. Los sistemas eléctricos en su formados por los equipos de potencia, cuya finalidad será producir, transportar, transformar y distribuir la energía para que llegue a los centros de consumo, y debe ser de una forma continua, segura y eficiente, características que describen el correcto funcionamiento de un sistema.

Los equipos de potencia necesitan de un componente complementario para cumplir con las características mencionadas de continuidad, seguridad y eficiencia, esta función la proporcionan los sistemas de protección eléctrica, integrada por los relevadores de protección. Estos equipos tienen la capacidad de determinar cuándo un sistema de potencia entra en condiciones de falla y toma la decisión en tiempos relativamente instantáneos de aislar de forma temporal o permanente, dependiendo de las características o evolución de la falla en una sección del sistema que está protegiendo.

A la forma de detectar las fallas y a la operatividad para eliminarlas o aislarlas le denominamos esquemas de protección eléctrica. Para determinar si un esquema de protección actué, y se compruebe su correcta forma de operar, es necesario que el sistema eléctrico, al cual está brindando protección, se vea sometido a una falla real en un parte del sistema de potencia, ya sea una línea de transmisión, línea de distribución o una subestación eléctrica. Las fallas son situaciones no deseadas en un sistema de potencia, y precisamente son las que los esquemas de protección tienen la función de aislar para evitar daños tanto a personas como a los equipos de potencia eléctrica. Por lo anterior no es

recomendable esperar a la ocurrencia de una falla para comprobar la correcta actuación del esquema.

A través del presente trabajo se pretende, elaborar un documento con el fin de establecer un procedimiento para validar todas las funciones y operación de los esquemas de protección, mediante el establecimiento de casos que evalúen ante la simulación de anomalías de diferentes parámetros eléctricos, la correcta actuación de todas las funciones de protección eléctrica.

Es interés y propósito de este análisis facilitar un documento unificado para todas las subestaciones eléctricas, que forman la red de transmisión eléctrica en 230 kV de Guatemala y se tenga la opción de implementarlo como parte de sus procesos de pruebas de puesta en servicio previo a conectarse al sistema nacional interconectado o como parte de sus rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Se hará una descripción del sistema eléctrico de transmisión en 230 kV del mercado eléctrico de Guatemala, su historia, empresas que lo conforman y planes de crecimiento, así como los componentes de un sistema de potencia eléctrica: Los equipos de potencia de una forma muy elemental y con mayor profundidad los equipos que lo protegen.

Se entrará en detalle sobre la teoría de las funciones de protección y descripción de software disponible para la simulación de eventos en los sistemas eléctricos de potencia, para concluir con la elaboración de los documentos que formarán el protocolo de evaluación de los esquemas de protección.

2. ANTECEDENTES

La energía eléctrica ha acompañado a la humanidad en su desarrollo, como una aproximación muy general, a mayor desarrollo de un país, mayor es su consumo de energía eléctrica. Millan (2006) opina que la “provisión eficiente y confiable del servicio eléctrico y la atención a las necesidades de la población son una constante de los gobiernos”. (p. 3) El proceso para que la energía eléctrica llegue a los consumidores finales, dentro de los que cabe mencionar los usuarios residenciales, comerciales, industriales e institucionales se establece en una cadena de suministro integrada por las empresas de generación, transmisión, y distribución. A todo este proceso y empresas de la cadena de suministro es lo que se denomina un sistema o redes de energía eléctrica.

Según Tamasco, (2007). “Los sistemas de energía eléctrica deben operar bajo condiciones de seguridad, confiabilidad, sensibilidad y continuidad”. (p.1) para garantizar estos parámetros, paralelamente al desarrollo de los sistemas de energía, sea ido desarrollado los equipos o dispositivos que realizan estas funciones. A esta ciencia y tecnología se conoce en la industria eléctrica como los equipos de protección.

Detalla Grainer y Stevenson (1996) que “en sus inicios los equipos de protección se constituían individualmente y con una sola función de protección única, como primer modelo de equipo de protección se puede mencionar al fusible.” (p. 11). Con el desarrollo y complejidad de los sistemas eléctricos, se fue forzando un desarrollo en el campo de las protecciones eléctricas, surgiendo grandes industrias y fábricas de categoría mundial con laboratorios implementados para desarrollar nuevas tecnologías, cada vez más eficientes.

Las diferentes funciones de protecciones se fueron integrando en un mismo dispositivo, estos que en sus inicios eran con un funcionamiento mecánico, fueron migrando hacia dispositivos eléctricos, con tecnología de estado sólido y los de última generación con microprocesadores y tecnología numéricas.

Para garantizar la capacidad de los equipos de protección ante su operación en sistemas eléctricos más complejos y de grandes dimensiones territoriales, los equipos de protección se fueron integrando en esquemas de protección, así mismo cada vez más complejos y eficientes, estableciendo lo que se ha denominado esquemas de protección. En Guatemala, el sistema eléctrico se ha ido desarrollado marcado por las necesidades derivadas del crecimiento de su población, comercio e industria.

A partir de los procesos de su desmonopolización y regulación, se desarrollaron por parte del Estado de Guatemala y sus entes reguladores licitaciones para permitir la expansión de sus sistemas de transmisión y generación. Estos planes contemplaron la construcción y puesta en operación de subestaciones, líneas de transmisión y plantas de generación. Al crecer el sistema, también se ha hecho necesario el implementar esquemas de protección cada vez más avanzados.

Sánchez (2006) recomienda que: para garantizar la correcta operacionalidad de los mismos se deben someter en sitio a una serie de pruebas que simulen las posibles fallas a las que se podría ver sometidas las redes eléctricas y que los equipos de protección deben eliminar, aislando los puntos y redes que los alimenten, para que el resto del sistema eléctrico pueda continuar prestando el servicio. (p.123).

Cada empresa propietaria de las instalaciones eléctricas tiene sus propios procedimientos para realizar las pruebas a los equipos o esquemas de protección, razón por la cual existen distintos procedimientos, unos más complejos, otros más sencillos, pero todos con el mismo objetivo, tener un esquema de pruebas que simule y evalúe todas las posibles fallas que puedan ser generadas dentro del sistema eléctrico al cual van a estar conectadas.

Derivado de la expansión de los sistemas de generación y transporte del mercado eléctrico de Guatemala, se ha incrementado los niveles de corto circuito a los que se ven sometidos los equipos. Razón por la cual es importante tener la certeza y seguridad de la actuación y comportamiento de los dispositivos de protección ante la presencia de las distintas fallas o perturbaciones del sistema.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El sistema o red de transporte de energía eléctrica de Guatemala en nivel de voltaje 230 kV, está conformado mayoritariamente por 3 empresas: TRECSA, ETCEE-INDE y TRELEC, así mismo lo complementan con menor cantidad de instalaciones, empresas como TREO, TRANSNOVA, TRANSESUSA, entre otras.

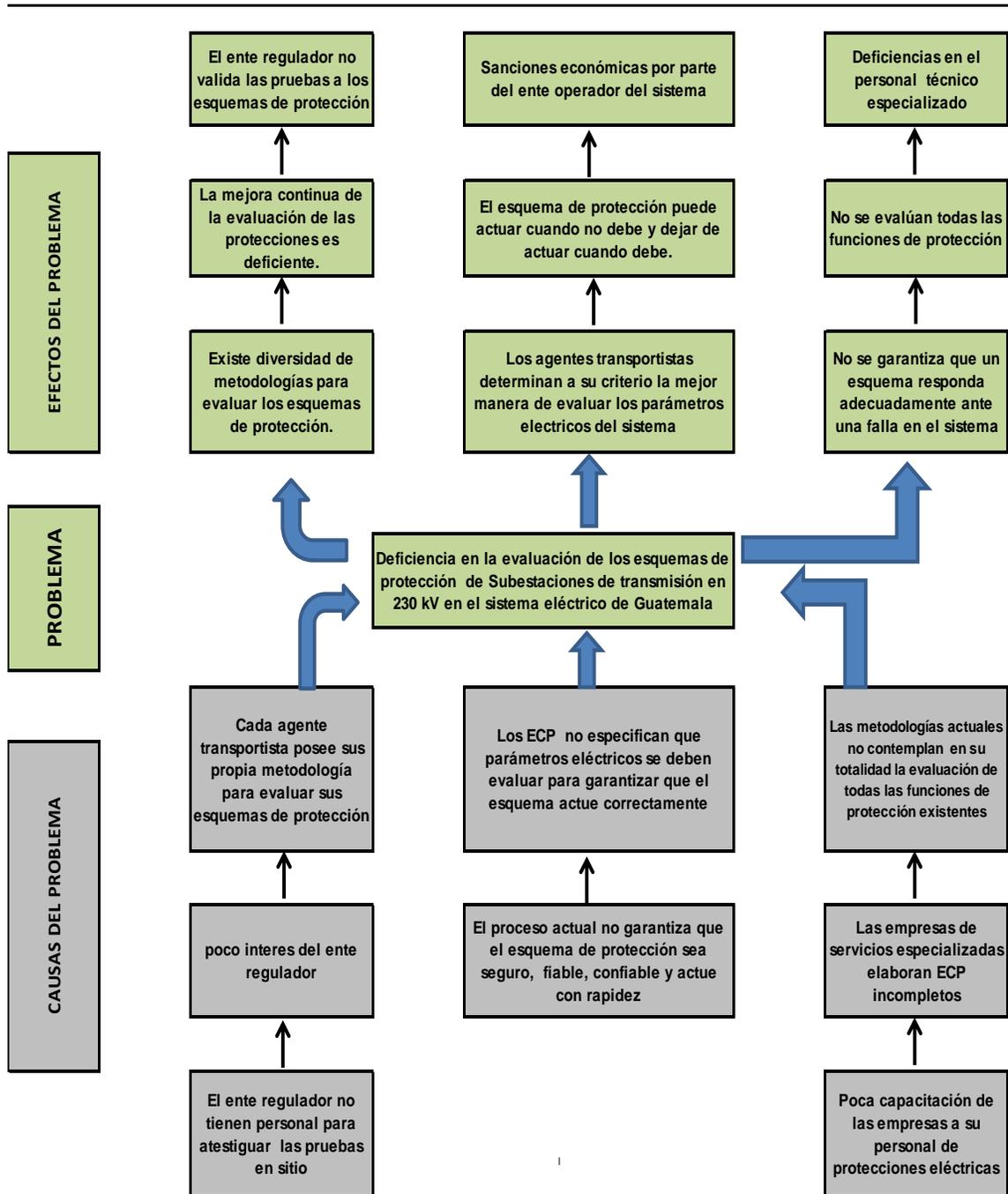
Estas empresas son propietarias tanto de subestaciones como líneas de transmisión de 230 kV. Cada empresa tiene establecido su propia logística para evaluar la correcta operatividad de sus esquemas de protección tanto, en su etapa de pruebas de puesta en servicio, como en sus planes de mantenimiento a los diferentes equipos de protección.

Es una práctica común que los propietarios de las instalaciones, en este caso, los transportistas, deleguen en empresas especializadas en servicios eléctricos y que contratan para puestas en operación o mantenimiento, la ejecución de la evaluación de los esquemas de protección, sujetas a los criterios que estas tienen establecidos. Por lo anterior, unas empresas realizan una mayor cantidad de casos de evaluación, unas evalúan todas las posibles funciones y consecuentemente no existe una estandarización de la forma de evaluación, que es lo que se pretende establecer como objetivo en este estudio.

3.2. Descripción del problema

Como parte de la metodología de las pruebas de puesta en servicio, previo a entrar en operación comercial, de una nueva subestación de transmisión del sistema eléctrico de Guatemala, cada propietario, a través de la empresa que desarrolla el estudio de coordinación de protecciones de la subestación, establece los métodos, criterios y protocolos para probar los esquemas de protección, existiendo por lo tanto diversidad de criterios y documentos para evaluar la funcionalidad de los esquemas de protección y por lo que no se garantiza que se evalúen todas las posibles fallas en el sistema.

Figura 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Formulación del problema

A continuación se presentan las preguntas que formulan el problema central de la investigación.

3.3.1. Pregunta central

- ¿Cómo unificar los criterios y metodologías para evaluar los esquemas de protección de subestaciones de transmisión en 230 kV en el sistema eléctrico de Guatemala?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Qué metodologías, esquemas típicos o protocolos de evaluación de esquemas de protección se utilizan en las subestaciones de transmisión del sistema eléctrico de Guatemala?
- ¿Qué parámetros del sistema eléctrico de transmisión, se deben incluir en un protocolo de evaluación de los esquemas de protección de una subestación eléctrica?
- ¿Qué funciones de protecciones eléctricas deben evaluarse en un protocolo para garantizar la correcta funcionalidad del esquema y los relevadores de protección en una subestación de transmisión en 230 kV?
- ¿Cómo establecer un proceso para garantizar la confiabilidad, sensibilidad y correcta operación de los esquemas de protección de una subestación de transmisión en 230 kV?

3.4. Delimitación del problema

Es de suma importancia el establecer límites en el desarrollo de una investigación, a continuación, se presenta la delimitación contextual, geográfica e histórica del problema en el cual se centra la investigación en estudio.

3.4.1. Delimitación contextual

La normativa vigente en Guatemala, que regula las condiciones que debe cumplir una subestación eléctrica, previa a su puesta en operación, contempla los requisitos y documentos, pero las pruebas a los esquemas de protección no están en norma, por lo que se realizan bajo los parámetros de calidad de cada propietario, el cual de acuerdo al tipo, cantidad de pruebas y sus respectivos resultados, determina si sus equipos que conforman el sistema de protecciones están en óptimas condiciones físicas, de programación y de caracterización de sus parámetros de ajustes, están en condiciones de garantizar una conexión al sistema nacional eléctrico y garantizar que la operación dentro del mismo es en condiciones de calidad y seguridad en el servicio.

3.4.2. Delimitación geográfica

La investigación se desarrollará dentro del marco territorial de la república de Guatemala, en las subestaciones eléctricas del sistema primario de transporte con un nivel de voltaje de 230 kV. El sistema nacional interconectado de Guatemala está conformado por diferentes niveles de voltaje, y diferentes configuraciones de sus instalaciones, agrupa, subestaciones y líneas de transmisión, en el presente estudio se contempla únicamente el análisis de las subestaciones eléctricas de maniobra, es decir sin transformación y sus equipos de protección que conforman el esquema de protecciones eléctricas.

3.4.3. Delimitación histórica

Para la presente investigación, se establece como parte del estudio, toda aquella instalación de los agentes transportistas, que iniciaron sus operaciones o conexión al sistema nacional interconectado, luego de entrar en vigor el decreto 93-96 Ley General de Electricidad hasta abril 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

Como parte de las líneas de investigación en la Escuela de Estudios de Postgrado, se ha establecido dentro del desarrollo de los proyectos de generación y transmisión de energía en el mercado regulado, enfocados en la confiabilidad y riesgo para las instalaciones de eléctricas, se tiene la inquietud de proponer un protocolo para aumentar la confiabilidad en el sistema y disminuir el riesgo que provocan las fallas en el sistema eléctrico.

Morales (2005) afirma que la mejor manera de garantizar la confiabilidad, seguridad, respuesta rápida y selectiva de un esquema de protección dentro de un sistema de transmisión de energía eléctrica, es someter a los equipos y dispositivos que cumplirán las funciones de protección a simulaciones de perturbaciones en la red o instalaciones que tienen que proteger. (p.78)

El equipo de protección deberá responder adecuadamente a las simulaciones de las perturbaciones establecidas. Esto forma parte de lo que de los aspectos a investigar en el protocolo de evaluación de los esquemas de protección.

En una red de transmisión eléctrica en la que participan diferentes empresas, pero integradas en un sistema y sometidas a las mismas fallas, aumenta su seguridad si todas las instalaciones que se vayan integrando al sistema, son sometidas al mismo proceso de pruebas en sus esquemas de protección, desarrollando protocolos que cubran las diferentes funciones que se

habilitan y constituyen en los relés o dispositivos de protección de redes de transmisión en un sistema integrado de energía eléctrica.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un protocolo unificado para evaluar los esquemas de protección de subestaciones de transmisión en 230 kV en el sistema eléctrico de Guatemala.

5.2. Específicos

- Analizar los diferentes protocolos de evaluación a los esquemas de protección que actualmente utilizan los propietarios de las subestaciones de transmisión en 230 kV en las pruebas de puesta en servicio de las subestaciones de transmisión del sistema eléctrico de Guatemala.
- Identificar que parámetros del sistema de transmisión eléctrica se deben incluir en el protocolo de evaluación de los esquemas de protección de subestaciones eléctricas de transmisión de Guatemala.
- Determinar que funciones de protección eléctricas se deben incluir en un protocolo para garantizar la correcta funcionalidad del esquema y el relevador o relevadores de protección en subestaciones de transmisión.
- Establecer un proceso para garantizar la confiabilidad, sensibilidad y correcta operación de los esquemas de protección en subestaciones de Transmisión.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

La red de transmisión en 230 kV de Guatemala está sujeta a la ejecución física de los planes de expansión indicativos de la política energética. Es decir, la cantidad de subestaciones y líneas de transmisión se incrementa de acuerdo con las necesidades del sistema eléctrico. Cada subestación nueva, previo a entrar en operación, debe ser evaluada con pruebas de funcionamiento, dentro de las cuales, cabe la aplicación de la propuesta de este diseño de investigación que es el protocolo de evaluación de los esquemas de protección.

Con la ejecución de los protocolos en una puesta en servicio de las subestaciones, se garantiza que los esquemas de protección actuarán adecuadamente ante eventos no deseados o disturbios en el sistema eléctrico nacional, y a la vez sirven de referencia histórica para las actividades de mantenimientos correctivos y preventivos de los relés de protección.

Mediante la ejecución de los protocolos se estará generando registros o documentación sobre la correcta operación de los relés de protección y correcta actuación de su esquema como respuesta a los parámetros establecidos en los equipos de protección.

El proceso de investigación se desarrollará por fases secuenciales, empezando en una primera fase de reconocimiento donde se elaborará un listado de empresas transportistas y empresas de servicios eléctricos dedicadas a elaborar estudios eléctricos. En una segunda fase se indagará en cada una de las empresas del listado establecido sobre la metodología que utilizan para

evaluar los esquemas de protección de las subestaciones eléctricas de 230 kV. La tercera fase pretende unificar todos los criterios de las empresas propietarias utilizados en sus pruebas para en una cuarta fase diseñar y elaborar el protocolo de evaluación de los esquemas de protección que se propondrá para que forme parte de las pruebas de puesta en servicio.

En una quinta fase se tiene planificado ejecutar el protocolo en una subestación que este en su etapa de pruebas, como parte de la fase se analizara el resultado de los protocolos y se emitirán comentarios y recomendaciones al esquema de protección que se implementa en la subestación objeto de la prueba. Se tiene con la autorización de la empresa TRECSA para la ejecución del protocolo en la Subestación Chiantla 230 kV, que estará en su etapa de pruebas durante el desarrollo de esta investigación.

Tabla I. **Esquema de solución**

Fase 1	Elaborar lista de agentes transportistas
Fase 2	Investigar sobre metodologías para evaluar esquemas de protección
Fase 3	Unificar criterios establecidos en las evaluaciones de los esquemas de protección
Fase 4	Diseñar y elaborar el protocolo propuesto para la evaluación de los EP
Fase 5	Ejecución del protocolo propuesto en una subestación

Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

Con la creación, aprobación y publicación del decreto ley 93-96 del Congreso de la República, Ley General de Electricidad y sus respectivos reglamentos, en Guatemala se dio inicio al cambio de estructura del Sector Eléctrico, partiendo de un modelo de estructura vertical, el cual, define Hunt (2002) como:

Estructura donde predomina el monopolio natural en toda la cadena de suministro, a un modelo de mercado mayorista, donde se establecen divisiones en toda la cadena, partiendo de la producción y continuando con el transporte y la generación, con la premisa principal que una empresa no debe participar en más de una actividad de la cadena de suministro. (p.134)

Con la división de las actividades, se libera el mercado permitiendo el libre acceso a participar en cada actividad a toda empresa que cumpla con los requisitos solicitados en Ley General de Electricidad y sus respectivos reglamentos.

De la división de las actividades surgieron los agentes participantes del mercado eléctrico, (Decreto del Congreso de la Republica, 93-96, art 6) los cuales son: los Agentes Productores, Agentes Transportistas, Agentes Distribuidores, Grandes Usuarios y Comercializadoras, así mismo se conformaron instituciones como el ente regulador, que se designó a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y al ente operador de red y de mercado designándolo como Administrador del Mercado Mayorista, AMM.

Dentro del sector del mercado correspondiente a los Agentes Transportistas se agrupo a las empresas propietarias de subestación y líneas de transmisión que forman parte de la red primaria de transporte y red secundaria de transporte, las cuales están integradas por redes y subestaciones en los niveles de voltaje de 230 kV, 138 kV y 69 kV.

En un inicio la primera empresa del sector transporte la constituyo, la empresa estatal Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica, ETCEE, que se fundó con los respectivos activos del Instituto Nacional de Electrificación INDE. (Urizar, 2016)

Conforme se fue desmonopolizando la actividad de generación y transporte se constituyeron empresas dedicadas a estas actividades y que incrementaron los kilómetros en líneas de la red primaria y secundaria de transporte y el número de subestaciones relacionadas con estas. Dentro de las empresas que actualmente forman parte de la cadena de transporte tenemos a principalmente ETCEE, TRECSA, RECSA, TRELEC, TRANSNOVA, TREO, EPR y las empresas transportistas pertenecientes al sector de cogeneración de los ingenios azucareros de la Costa Sur.

Las subestaciones y líneas de transmisión son la base del sistema de potencia eléctrica de un país, en nuestro caso, Guatemala, conforman lo que se denomina Sistema Nacional Interconectado o SNI. Es parte de la legislación y reglamentación del sector eléctrico, que los propietarios de las instalaciones, garanticen que las condiciones de operación y resguardo de las instalaciones, sean seguras, estables, sensibles y rápidas sus respuestas ante eventos y contingencias que ocurran en la red eléctrica, es decir que permanezcan conectadas en condiciones normales de operación y que actúen con rapidez,

aislando las instalaciones necesarias cuando se produzca una falla en estas o en sus áreas de influencia.

Para cumplir con las características de operación que se describen en el párrafo anterior, surgen los equipos que conforman los esquemas de protección eléctrica, los cuales para simplificar su descripción los agruparemos en equipos de potencia, IEDs (por las iniciales de su nombre en inglés) o relés de protección, funciones de protección y protocolos de protección.

Enríquez (1999), menciona que el objetivo de un sistema de protecciones es: Aminorar o eliminar los efectos de las fallas sobre los equipos protegidos y las personas, desenergizándolo rápidamente, así como mantener la calidad del servicio al eliminar la condición de operación anormal o falla y aislar aquellos elementos que por su operación defectuosa pueden producir perturbaciones. (p.145).

Los sistemas de protección eléctrica identificados como SPE (por sus iniciales) tienen por objetivo brindar seguridad y fiabilidad a la red eléctrica de la cual van a formar parte, en nuestro caso del sistema o red eléctrica de transporte de 230 kV de Guatemala. Latorre, (2012) lo define como:

El conjunto de equipos y elementos de un sistema de energía eléctrica que realizan operación automática frente a la ocurrencia de condiciones anormales de operación con el objeto de salvaguardar la integridad de los equipos y de las personas, así como mantener las condiciones de operación del sistema de energía eléctrica. (p.2)

7.1. Equipos de potencia

De acuerdo con Martin, (1987) tres son los equipos de potencia que forma parte de un esquema de protección en una subestación eléctrica, transformadores de Intensidad, transformadores de potencial y el elemento o equipo de corte o apertura de los circuitos de alimentación a las redes eléctricas que son los Interruptores de potencia. A los transformadores de potencial y de intensidad se les denomina transformadores de instrumentos y comparten la función dentro del sistema de la subestación de la medición de los parámetros eléctricos.

7.1.1. Transformador de intensidad

Su función dentro del esquema es tomar el valor de intensidad o corriente real que está siendo transportada por la red eléctrica a la cual se conecta y trasladar a valores representativos de esta, a niveles que sean manejables por los IEDs y que no constituyan un peligro al ser intervenidos por personal especializado, al momento de hacer pruebas. A los valores de la intensidad transportada se les denomina amperios primarios y al producto de la transformación y que alimentaran los IEDs se le denomina amperios secundarios, se podría tomar como norma que los dos valores máximos para amperios secundarios y para los cuales se diseñan los IEDs son 1 y 5 amperios.

7.1.2. Transformadores de potencial

Su función dentro del esquema es tomar el valor de tensión o voltaje real de la red eléctrica a la cual se conecta y trasladar a valores representativos que al igual que los transformadores de intensidad, sean manejables por los IEDs y seguro para el personal. Sus características son una tensión primaria que será

de la magnitud del voltaje nominal de la red a la cual se conecta y una tensión secundaria producto del proceso de transformación de este equipo que tiene por valores normalizados 110 o 120 Voltios secundarios.

7.1.3. Interruptores de potencia

Cumplen la función de energizar o desenergizar los circuitos que protegen, ante un evento o falla en el sistema o red eléctrica, tienen la capacidad de abrir bajo condiciones de carga y corrientes de falla. La orden de abrir la recibe el interruptor del dispositivo IED o relé de protección.

7.2. Dispositivos IED

Los relés de protección conforme fueron evolucionando a equipos con mayor complejidad constructivas y una gama extendida de funciones que se podía programar, con el objetivo de ser más eficientes, confiables, selectivos y rápidos en sus funciones de protección se les denominó dispositivos electrónicos inteligentes o IED, por sus siglas en Inglés, que es como actualmente se les clasifica en la teoría de las protecciones eléctricas.

Existen diferentes marcas en el mercado dejando a criterio de los especialistas y diseñadores de una subestación que marca de fabricante utilizar. Su operación, programación y utilización deben ser realizadas por personas especializadas en el campo de las protecciones y con sólidos conocimientos de las marcas y software de operación del equipo que va a intervenir.

Los IEDs incluyen dentro de su composición tarjetas electrónicas para sus funciones principales que son el detectar una falla, procesarla y responder lógicamente ante esta falla, adicionalmente tienen tarjetas de entradas digitales

lógicas con las que se monitorea alarmas, estados, eventos, actuación de otros IEDs, que en su conjunto refuerzan los esquemas de protección.

Para su funcionamiento los IEDs deben tener una fuente de tensión que este habilitado dentro de la subestación y que, por norma, está conformada por un equipo de rectificación de voltaje de corriente alterna a voltaje de corriente directa y funciones de cargador de un sistema de baterías y el correspondiente banco de Baterías. En Guatemala el potencial de los bancos de baterías de mayor uso es en un valor de 125 Vcc, a nivel mundial se utilizan también con el mismo propósito, sistemas de 48 Vcc y 24 Vcc.

Dentro de los principales fabricantes que tienen presencia en el mercado guatemalteco podemos mencionar a los fabricantes SIEMENS, SEL y ABB.

7.3. Funciones de protección

Un evento no deseado en un sistema eléctrico de potencia causa perturbaciones.

Cuando una red eléctrica de potencia se ve sometida a una falla, sus parámetros eléctricos, como tensión, intensidad, frecuencia y ángulo, cambia a valores fuera de los rangos permitidos para que una red sea segura y confiable, en función de estas variaciones, los relevadores de protección actúan de acuerdo a la función que se les fue programada y habilitada. (Ramírez, 1995, p.46)

Las funciones de protección son asociadas a un código numérico estandarizado que representa la función y el dispositivo de protección de acuerdo a la Normativa ANSI C37-2 y que se identifican con números que van desde el 1 al 99 y en algunos casos seguidos de una literal. Paralelo a esto está la

codificación por otra normativa la IEC-60612 que representa las funciones con una literal asociada a un símbolo.

Recomienda Martínez y Cardona (1982) que en condiciones de operación se deben habilitar las funciones disponibles dentro de los relés para que actúen de manera instantánea o en forma temporizada, según sean las condiciones de la falla. A continuación, describiremos las funciones de protección que deben incluirse y evaluarse en un protocolo de protecciones.

7.3.1. Funciones basadas en corriente

La corriente en una red eléctrica en el momento de una falla ya sea a tierra o entre fases, toma valores elevados, de tal manera que los equipos de las subestaciones y de las líneas de transmisión, pueden verse afectados, incluso hasta destruirse, dependiendo de los valores a los que llegue la corriente de falla y el tiempo que esta permanezca activa. Es por eso por lo que las funciones basadas en corriente actúan aislando el circuito o zona donde se produce la falla, a partir del criterio que se le puso como ajuste. Su operación puede ser instantánea si es una protección principal o puede tener un margen de tiempo de operación cuando es una protección secundaria que actuara como respaldo de una protección primaria.

- Dentro de las funciones de protección basadas en corriente tenemos:
- Sobre corriente instantánea de fase 50
- Sobre corriente instantánea de neutro 50N
- Sobre corriente temporizada de fase 51
- Sobre corriente temporizada de neutro 51N

Estas funciones tienen la característica que el único parámetro de la red que necesitan estar monitoreando para su correcta operación es la intensidad o corriente de las tres fases y del neutro del sistema eléctrico al cual están vigilando.

7.3.2. Funciones basadas en corriente y tensión

Estas funciones que, aunque el parámetro a monitorear en la red es la corriente, también se auxilian en los valores de tensión del sistema, esto para tener una discrecionalidad sobre el sentido de circulación de la corriente de falla. Es una protección selectiva, porque a diferencia de las funciones basadas solo en corriente actúan sin importar la dirección hacia donde fluye la corriente de falla, esta solo operará su función en una dirección de la corriente de falla, mientras que si la falla circula en el sentido opuesto no actuará. Se tiene dos funciones de este tipo:

- Sobre corriente direccional de fase 67
- Sobre corriente direccional de Neutro 67N

7.3.3. Funciones basadas en impedancia

Este tipo de funciones su diagrama lógico de operación ante fallas, es más complejo que las basadas en corriente. Monitorea la red eléctrica a través de la tensión del sistema y de la corriente que está circulando, y como base para operar correctamente, se le debe ajustar el valor de la impedancia de la línea que está protegiendo principalmente y la de las líneas de las subestaciones colaterales a la que está protegiendo. Al momento de presentarse una falla, realiza un cálculo con la corriente y voltaje, con lo cual se determina una impedancia de falla, se compara con la impedancia del ajuste y determina teóricamente la distancia a la

que está la falla. De acuerdo con esta distancia se determina en que tiempo actuara, si en una forma instantánea en el área más próxima o Zona 1 o en forma temporizada para los puntos más alejados de la subestación o Zona 2 y Zona 3.

En la práctica es más común conocer esta función de protección como protección de distancia en sus dos clasificaciones

- Función de distancia de fase 21
- Función de distancia de neutro 21N

7.3.4. Función sobre y subtensión

El parámetro eléctrico de tensión o voltaje del sistema debe mantenerse en valor de voltaje nominal del sistema y sobre el cual son diseñados los equipos, se permite un rango de variación tanto de límite superior o como inferior, y si el valor de la red toma valores fuera de ese rango, se califica como una anomalía del sistema y con posible daño a los aislamientos de los equipos de potencia en la subestación y en las líneas de transporte, estas son condiciones anormales de la tensión.

La red eléctrica puede, aunque no es deseable, soportar por tiempos muy cortos estas variaciones, pero al continuar estas por un periodo de tiempo que un IED o equipo de protección clasifique como peligrosa al sistema, enviara la orden de desconectarse del sistema, viéndolo como un evento no deseado, provocando apertura de los elementos que tengan relación o estén conectados al Nodo o barra que está expuesta al sobre voltaje o su estado opuesto, el subvoltaje. Los códigos ANSI denominan a la función sobre voltaje como 59 y la subvoltaje como 27.

7.3.5. Función de frecuencia

Los sistemas trifásicos eléctricos tienen una frecuencia de operación o forma de onda que se repite en el tiempo, que en el caso nuestro de Guatemala y la mayoría de los países es de 60 revoluciones por segundo (Hertz), existiendo el valor de 50 Hertz para otro grupo de países. La frecuencia del sistema debe tener este valor nominal y para el cual se diseñan los equipos que lo conforman, permitiéndose una variación a este parámetro, dentro de un intervalo permitido, dentro de unas décimas del valor nominal. Si el valor de la frecuencia del sistema se sale del rango establecido a los 60 Hertz, se provoca una desconexión de la subestación o subestaciones que estén conectadas a el nodo o los nodos donde se manifestó esta variación.

7.3.6. Función oscilación de potencia

La potencia que circula por las redes de transmisión eléctrica es un parámetro compuesto el cual se induce por tensión de la red y la corriente obtenida de la carga eléctrica del sistema. Esta potencia debe ser estable en periodos de tiempo e incrementarse gradualmente de acuerdo con la demanda del sistema, pero debido a desconexiones o conexiones de cargas pequeñas comparadas con el sistema, la potencia oscilará rápidamente, lo que podría hacer que los equipos de protección lo vean como un evento no deseado. Debido a esto ante ciertos valores o rapidez de las oscilaciones de potencia, los IEDs bloquean sus órdenes de apertura, evidentemente ante variaciones significativas y por un margen de tiempo razonablemente largo, si enviaran una orden de apertura por protección.

7.3.7. Función de recierre

Esta función a diferencia de las anteriores no está basada en la evaluación de una característica eléctrica del sistema, sino de un estado del elemento de corte que es el interruptor de potencia. Cuando se presenta en el sistema eléctrico una condición no deseada o falla, es probable que esta sea de característica temporal, en estos casos no sería razonable aislar la subestación o línea de transmisión del sistema en forma definitiva, sino solo desconectarla brevemente y luego conectarla. Esta función es a lo que se le denomina recierre o reenganche y puede ser del tipo monofásico si solo se abrió un polo del interruptor porque la falla fue solo en una fase del sistema trifásico o el recierre puede ser del tipo trifásico si la falla fue en dos o en tres de las fases. Para que se active esta función debe por lo tanto darse primero una apertura del interruptor debido a una falla, si posterior al recierre los IEDs detectan que la falla no fue aislada es decir fue de carácter permanente, entonces este, enviará la orden de apertura definitiva de interruptor.

Los tiempos en que el interruptor tarda en hacer un recierre monofásico o trifásico, deben ser determinados por el estudio de coordinación de protecciones de la subestación en estudio. Valores típicos de recierre son 1100, 900, 700, 500 y 300 milisegundos. El código ANSI de la función recierre es 79.

7.3.8. Función sincronismo

Debido a que un sistema interconectado, está formado por diversas fuentes de generación tanto por diferentes tipos de tecnología como de valores de potencia instalada, se debe normalizar para que todos los generadores tengan una sincronía en cuanto a los parámetros de tensión, frecuencia y ángulo. Por lo tanto, en una subestación en la cual converjan líneas y que 2 o más sean aporte de generación, cada vez que a través de los interruptores se conecte una línea con una carga o una fuente de generación, el IED debe tener la capacidad de evaluar si los dos sistemas trifásicos a conectarse están en sincronismo, de lo contrario bloqueara la orden de cierre del interruptor.

Al igual que las funciones de frecuencia y voltaje, se permiten ciertos márgenes tolerables dentro de un rango tanto para el voltaje, la frecuencia y el ángulo.

7.3.9. Función fallo interruptor

El Interruptor es un equipo de operación mecánica, es decir abre o cierra sus polos ante una orden. Como tal el interruptor puede presentar fallas operativas en su funcionamiento, no abriendo o abriendo parcialmente ante una orden de apertura, esta situación es crítica durante un evento o falla en el sistema, porque sometería a los equipos e infraestructura de la red eléctrica a una exposición prolongada a condiciones destructivas como altas corrientes y voltajes, desbalances de frecuencia, entre otros.

Ante un fallo en la operación del interruptor, el IED actúa, apoyándose en los equipos de protección y de corte, adyacentes y remotos referidos al interruptor que fallo en su mecanismo. Esta función es de respaldo del esquema de

protección y tiene un tiempo de retardo de actuación posterior a presentarse la falla en el mecanismo de apertura del interruptor. Los tiempos de retardo más comunes son 250, 150, 75 milisegundos, los cuales son recomendados de acuerdo con el estudio de coordinación de protecciones y validados por el ente operador de sistema.

7.3.10. Función de teleprotección

Como los sistemas eléctricos son interconectados, las fallas son sensibles en todo el sistema, y debido a esto debe coordinarse operación de protecciones entre subestaciones adyacentes. La teleprotección se establece entre dos elementos de corte y sus respectivos relés de protección que tienen en común a la línea que une dos subestaciones, su objetivo es el de apoyarse ante eventos o fallas. Es necesario que los equipos de protección o IEDs de las dos subestaciones tengan un medio de comunicación para compartir información y actuar simultáneamente ante una falla que ocurra en la línea de transmisión que las conecta.

Los IEDs de protección están en comunicación en tiempo real y al presentarse una falla se coordinan entre ambos para optimizar los tiempos de actuación de sus funciones de Protección de Distancia (21 y 21N) y Protecciones de Sobre corriente Direccional (67 y 67N). Adicionalmente se refuerza el esquema de protección de Sobre tensión, enviándose entre ambos disparos transferidos. Las formas de comunicación entre los IEDs pueden ser por medio de Fibra Óptica dedicada y que comunique directamente a ambos, o a través de equipos dedicados como Trampas de Ondas, que utilizan como medio de enlace el mismo conductor que de la línea de transporte.

7.3.11. Función SOFT

Esta función es de vigilancia y tiene por objetivo operar bajo un esquema de protección por sobre intensidad, en el momento de realizar un cierre por orden manual bajo falla de un interruptor, y que exactamente en el momento de ejecutar el cierre se presente una falla en la línea a alimentar, esto casos se dan posterior a mantenimientos preventivos o correctivos, cuando el personal que los ejecuta olvida retirar alguna de las puestas a tierra en zonas de trabajo.

SEL (2003) define en el manual del fabricante SEL311L que “La función SOFT se activa al abrir por orden manual un interruptor y se desactiva un tiempo breve del orden de los 500 ms (aunque puede ser ajustable) posteriores a un cierre por orden manual exitoso del interruptor.” (p.376)

7.3.12. Función STUB

Esta función es también de vigilancia y tiene por objetivo actuar durante tareas de mantenimiento en áreas parciales de una subestación. Se da en el momento en que un interruptor y sus seccionadores adyacentes se abren, y dependiendo de la posición de los transformadores de corriente se presentaran tramos o longitudes del conductor de potencia que quedaran en una zona sin protección, por lo que otro dispositivo debe facilitar el respaldo para operar si se presenta por accidente, una falla a tierra.

7.3.13. Funciones generales

Los dispositivos IEDs o relés de protección incorporan en sus esquemas propios, funciones de apoyo que dan una mayor seguridad en la operación y funcionamiento de este equipo dentro del esquema general de la subestación y

dentro de las cuales cabe mencionar, las funciones equipo indisponible, ruptura de cable, vigilancia de transformadores de tensión, fallo fusible, ausencia de tensión, pérdida de comunicación, entre otros.

7.4. Protocolos de protección

Los protocolos de protección dan testimonio de que las pruebas a los esquemas fueron realizadas. Estas deben incluir información de valores esperados, los cuales se compara con los resultados obtenidos, si los resultados son satisfactorios de acuerdo con los valores esperados en el protocolo, se determina que la prueba es exitosa y se valida el esquema de protección.

En el protocolo se especifica la función de protección que se va a evaluar, los diferentes casos o escenarios que pueden presentar, que tipo de falla se va simular y tiempos de actuación de las protecciones.

El protocolo debe incluir información de referencia, como el nombre de la subestación, su empresa propietaria, nombre de las líneas de transmisión que convergen en ella, descripción (marca, modelo y número de serie) de los relés de protección, la fecha de ejecución y firmas del personal que ejecuto y valido las pruebas.

Un protocolo debe contener anexos, en los cuales se agrega la información de los equipos que se utilizaron durante las pruebas, su marca, modelo, número de serie y certificado de calibración vigente.

7.5. Características de los equipos de protección

En un equipo de protección en operación se desea que actúe únicamente cuando es necesario, y que no provoque desconexiones sin causa real del sistema, con pérdida de servicio en las zonas que cubre la subestación donde fue instalado. Esto sería en un escenario ideal, pero en la práctica lo que se consigue es la mayor aproximación a este modelo.

A continuación, se describen las principales características deseables en un equipo de protección.

7.5.1. Seguridad

Esta característica evalúa la capacidad de un relevador de protección de garantizar su no actuación, cuando no debe hacerlo.

7.5.2. Fiabilidad

Esta característica garantiza que un relé de protección actuara únicamente cuando es necesario que actúe, es decir ante la presencia de una perturbación real en el sistema que protege.

7.5.3. Sensibilidad

Capacidad del relé de protección de actuar ante fallas en el sistema que protege por mínimos que sean los aportes de corriente a la falla.

7.5.4. Rapidez

Determina un tiempo eficaz de actuación para liberar las zonas de protección, ante la presencia de fallas o perturbaciones del sistema, este tiempo es del orden de los milisegundos.

7.5.5. Selectividad

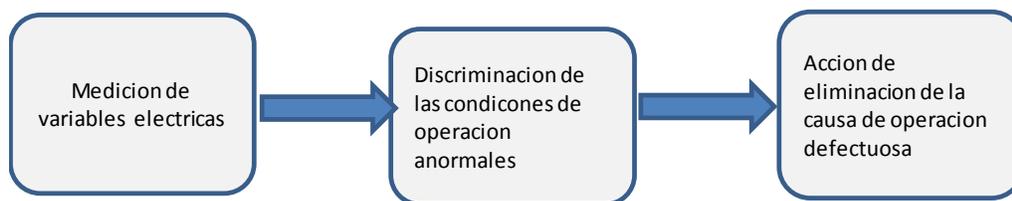
Capacidad del relé de protección de aislar únicamente las zonas afectadas por una perturbación o falla y que permita que el suministro de energía eléctrica continúe en las zonas o áreas donde no tuvo incidencia la falla.

Serrano (2000) afirma que, en un esquema de protección debe existir un balance de principios entre confiabilidad y seguridad, (el relé dispara cuando debe *versus* el relé no dispara cuando no debe) entre velocidad y selectividad, (continuidad en el servicio *versus* daños en los equipos) entre el costo de los equipos de protección y el costo de los equipos a proteger y finalmente todas las características optimas de los equipos contra el costo de estos.

También Serrano (2000) agrega que un esquema de protecciones eléctricas debe tener adicionalmente otras dos características: El respaldo definido como la condición de disponibilidad de un equipo de protección que permite la operación de una protección secundaria que actuara en el caso que la protección que debió operar no lo hizo. Y la Coordinación, definida como la operación de los equipos de protección de actuar en los tiempos adecuados y precisos dentro de un esquema de jerarquización de sus operaciones.

Una clasificación de Latorre (2012) establece que: “La operación completa de su sistema de protecciones implica la realización de ciertas funciones básicas que permiten diferenciar en forma clara a sus componentes constitutivos fundamentales” (p.3).

Figura 2. **Diagrama de bloques sistema de protección**



Fuente: elaboración propia.

7.6. **Fallas en los sistemas eléctricos**

Morales, (2005) afirmaba que “las fallas que afectan a un sistema eléctrico son condiciones no deseadas, eventos que los diseños o estudios de protecciones tratan de evitar o en el peor de los casos minimizar o aislar el área donde se manifiestan”. (p.17). Dentro de las causas más comunes que producen estos eventos no deseados podemos mencionar a defectos en los aislamientos de equipos de potencia por envejecimiento, defectos en los aislamientos en las líneas de transmisión, descargas atmosféricas, acción de animales (comúnmente aves voladoras), caídas accidentales de árboles, sobre carga de operación en la línea, actos de vandalismo (robos o sabotajes a la red) y errores humanos en la operación del sistema o durante etapas de mantenimiento.

Pérez, (2007) menciona que las fallas en un sistema de transmisión eléctrica provocan en primera instancia, pérdidas por paros en la producción de las industrias, degradamiento o daño total de equipos debido a las elevadas dimensiones de las sobretensiones que las fallas provocan y condiciones de presión y stress a los operadores (personal técnico) de la red, por la rápida respuesta que deben dar en apoyo a los sistemas automatizados y establecer las medidas de contingencia para restablecer el servicio y que sea de una manera parcial, aislando las instalaciones afectadas, o en el mejor de los casos el restablecimiento total al haber despejado exitosamente la falla.

7.7. Equipos y programas de software

Para el proceso de pruebas a los esquemas de protección es esencial y de uso obligatorio el uso de las herramientas tecnológicas existentes a la fecha, teniendo en cuenta que la evolución de equipos y software cada día más sofisticados y con una gama de utilidades que permiten hacer más confiable los análisis, pruebas, interpretación de resultados, exige en el personal que los opera una formación técnica y amplios conocimientos de la teoría de protecciones eléctricas de sistemas de potencia.

7.7.1. Equipos

El equipo central para la ejecución de las pruebas es la computadora de tipo portátil, puede ser de cualquier marca comercial, con sus debidas licencias de software y programas utilitarios de uso común. Adicionalmente para que sea funcional deberá contar con las licencias de operación de acuerdo a cada tipo de equipo de pruebas que va a operar, los software y licencias de programas especiales de cada fabricante de relés de protección.

Para la ejecución del simulacro de fallas en el sistema a evaluar se debe contar con un equipo de inyección de corrientes y voltajes secundarios (salidas analógicas), salidas digitales y además deben tener la capacidad de monitorear estado de equipos de potencia a través de entradas digitales disponible. Dentro de los equipos de prueba de este tipo de mayor uso en Guatemala tenemos los de los fabricantes ONMICRON y DOBLE.

Como herramientas auxiliares, se debe tener, Monitores portátiles de temperatura, humedad entre otros parámetros, pinzas amperimétricas, voltímetros, todos estos pueden estar integrados en uno solo denominado multitester. Adicionalmente es preciso contar con destornilladores, alicates, pinzas eléctricas, cables de conexión de equipos de prueba (fuente) a relés y equipos auxiliares de protección (destinos).

7.7.2. Programas de software

Cada fabricante de relés de protección o IEDs desarrolla los softwares para hacer funcionales los equipos, y bajo los cuales, los relés ejecutan sus rutinas lógicas de monitoreo, evaluación y actuación ante la presencia de fallas en los sistemas eléctricos que protegen. Estos softwares son específicos para cada fabricante y vienen como parte o suministro del relé de protección. Adicionalmente para poder realizar las pruebas de funcionamiento de estos relés los fabricantes tienen disponibles softwares para ello, de la misma forma, cada fabricante tiene su propio programa utilitario, a instalarse en un computador portátil. Estos programas en su mayoría son proporcionados sin ningún costo adicional, pero si existen fabricantes que el suministro es bajo venta y con restricciones en el uso de la licencia de uso, acá podemos mencionar los programas DIGSI del fabricante Siemens, Acelerador de SEL laboratorios y REDLion de ABB entre otros.

Para la simulación de los escenarios de pruebas previo a su ejecución, está disponible en el mercado programas para ejecutar Análisis de corto circuito y Flujos de Potencia, entre las marcas comerciales que suministran estos programas bajo venta con licencia de operación tenemos a NEPLAN, Dig Silent, ETAP y PSS/2. Del resultado de esta simulación a través de los programas se determinarán los parámetros o características que deberá llevar los relés que tendrán las funciones de proteger y vigilar el sistema de potencia.

En la ejecución de pruebas se debe simular uno a uno, cada uno de los tipos de falla con la que se va a evaluar la respuesta del esquema de protección, para esto se diseñan eventos que simulan un estado dinámico de la red eléctrica, estableciendo las etapas posibles durante un evento de falla como son los periodos en el tiempo de pre falla, falla y post falla. Estos eventos diseñados se les denominan archivos CONTRADE. Su ejecución para evaluar los esquemas es en conjunto con un equipo de inyección secundaria, el archivo CONTRADE se implementa en un computador portátil y al ejecutarlo, este se establece como operador del equipo de inyección secundaria y activa las salidas analógicas, proporcionando los valores dinámicos variables en el tiempo de voltajes y corrientes que simularan cada una de las etapas transitorias de la falla simulada.

Los resultados de cada evento simulado y la respuesta del equipo de protección son evaluados a través de otros programas que cada fabricante de los relés proporciona y donde se analizara la respuesta de los equipos de potencia, que en el caso será el interruptor de potencia y sus seccionadores de potencia colaterales, a través de monitorear con las entradas digitales, su estado de cierre, apertura, el tiempo de apertura como respuesta al evento de falla, si realizó un recierre del tipo monofásico o trifásico, cuanto tiempo llevo el recierre, si hizo una apertura definitiva, si su cierre fue con condiciones de sincronismo, entre otros parámetros, siendo los descritos los más relevantes.

7.8. Personal técnico

El recurso humano o personal técnico que ejecutara los procesos de pruebas a los esquemas de protección, tanto en la etapa de estudios como en la ejecución e interpretación de las pruebas, debe ser altamente calificado, con una formación profesional de acuerdo con cada una de las etapas donde participara. Deberá de tener capacitaciones específicas por parte de las unidades de formación y educación de los fabricantes de los relés de protección, de los fabricantes de equipos de pruebas, de los softwares que se utilizaran. En la práctica es común que determinado personal técnico se especialice en la marca de un fabricante, este determinado por el equipo que sea de uso más común en las instalaciones de las empresas transportista del país, en nuestro caso Guatemala.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS (CUANDO PROCEDA

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO DE GUATEMALA

1.1 Integrantes del Sistema Eléctrico

1.1.1 Empresas Productoras

1.1.2 Empresas Transmisoras

1.1.3 Empresas Distribuidoras

1.1.4 Empresas Comercializadoras

1.1.5 Grandes Usuarios

1.1.6 Entes Regulatorios

1.2 Desarrollo de la red de Transporte Eléctrica

1.3 Componentes de un Sistema Eléctrico de Potencia

1.3.1 Equipos de Potencia Eléctrica

1.3.2 Equipos de Protecciones Eléctricas

1.3.3 Equipos de Control de sistema Eléctricos

2. PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE SISTEMAS DE POTENCIA

- 2.1 Definiciones de Protecciones
 - 2.1.1 Esquemas de Protección
 - 2.1.2 Principales funciones de protección
 - 2.1.2.1 Protecciones de Impedancia
 - 2.1.2.2 Protecciones de sobreintensidad
 - 2.1.2.3 Protecciones de Diferencia de intensidad
 - 2.1.2.4 Protecciones de Sobre y Sub tensión.
 - 2.1.3 Relés de protección
 - 2.1.3.1 Definiciones
 - 2.1.3.2 Evolución de las tecnologías de relés de protección
 - 2.1.3.3 Diferentes Marcas que se utilizan en Guatemala
 - 2.1.4 Características Principales de los sistemas de protección
 - 2.1.5 Seguridad
 - 2.1.6 Sensibilidad
 - 2.1.7 Confiabilidad
 - 2.1.8 Selectividad
 - 2.1.9 Velocidad

3. PROTOCOLOS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN

- 3.1 Definición
- 3.2 Importancia
- 3.3 Aplicaciones
- 3.4 Descripción de una propuesta de protocolo
- 3.5 Herramientas complementarias de ejecución
 - 3.5.1 Programas y Simuladores de Fallas

3.5.2 Equipos de inyección de tensiones e intensidades

4. IMPLEMENTACIONES DEL PROTOCOLO DE EVALUACIÓN

4.1 Elaboración

4.2 Presentación

4.3 Ejemplo de ejecución

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Toda investigación debe estar basada en una metodología, que guíe y proporcione herramientas y métodos que faciliten al investigador durante el proceso de desarrollo del trabajo, una forma ordenada y sistematizada que se enmarque en los objetivos definidos. En las siguientes partes de esta sección se caracterizará la investigación definiendo, su diseño, enfoque, alcance, así como la relación de las variables y fases del estudio, para finalizar con un detalle de los resultados esperados

9.1. Características del estudio

Definir cada una de las características que tendrá el trabajo de investigación para proponer un protocolo para los esquemas de protección de las subestaciones del sistema eléctrico de Guatemala comprende los siguientes componentes de la metodología propuesta:

9.1.1. Diseño

El diseño adoptado será de carácter no experimental, esto porque las variables que forman parte del estudio no se manipularán, se mantendrán en la forma que sean presentadas por las empresas propietarias de las subestaciones y únicamente se unificarán o seleccionarán para conformar el protocolo de pruebas que se tiene como objetivo proponer; además por su desarrollo en el tiempo será de tipo transversal, al analizar los eventos o fallas en los esquemas de protección ocurridos una vez en un periodo de tiempo establecido.

9.1.2. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto está dividido en dos etapas, en una primera etapa será cuantitativo porque se determinará la cantidad de protocolos y funciones de protección eléctrica que utilizan los agentes transportistas en sus pruebas a los esquemas de protección, posteriormente en una segunda etapa tendrá un enfoque cualitativo al inferir de los resultados obtenidos si un esquema tiene alta, media o baja confiabilidad, sensibilidad, fiabilidad y rapidez, por lo anterior podemos concluir que nuestro enfoque será del tipo Mixto.

9.1.3. Alcance

La presente investigación tiene un alcance de tipo exploratorio, debido que al momento el marco regulatorio del mercado eléctrico en Guatemala no establece un protocolo único de evaluación a los esquemas de protección para todos los agentes transportistas, debido a esto, se indagará en las empresas o agentes transportistas sobre cómo son sus procesos establecidos actualmente durante sus pruebas de puesta en servicio y en periodos de mantenimiento, y como resultado de la investigación se propondrá un protocolo donde se unifique toda la información y documentos de cada uno de los agentes y el cual sea de interés tanto para el sector regulatorio, como para los agentes transportistas y en un futuro pueda establecer como un protocolo definido y establecido por el marco regulatorio de Guatemala en sus normas de acceso a la red de transporte.

9.2. Unidad de análisis

La población en estudio serán las empresas participantes transportistas del mercado eléctrico de Guatemala, dentro de las cuales se tendrá la subpoblación que agrupará las diferentes subestaciones eléctricas de 230 kV, de las cuales se

extraerán muestras de forma documental de los protocolos que utilizan para evaluar sus esquemas de protección, que serán estudiados en su totalidad. La población y subpoblaciones serán estudiados en su totalidad, porque se considera que el número de estos existentes en el mercado eléctrico de Guatemala permite que esto sea posible.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla II. Clasificación de variables

Variable	categorica		numerica		manipulable	observable	nivel de medicion
	dicotomica	policotomica	discreta	continua			
cantidad de empresas transportistas			X			x	Razon
Cantidad de protocolos			X			x	Razon
Variable	categorica		numerica		manipulable	observable	nivel de medicion
	dicotomica	policotomica	discreta	continua			
CONFIABILIDAD				X		X	Razon
SENSIBILIDAD				X		X	Razon
Variable	categorica		numerica		manipulable	observable	nivel de medicion
	dicotomica	policotomica	discreta	continua			
Tension				X		X	Razon
Intensidad				X		X	Razon
Variable	categorica		numerica		manipulable	observable	nivel de medicion
	dicotomica	policotomica	discreta	continua			
Cantidad funciones de proteccion			X		X		Razon
Cantidad de relevadores			X		X		Razon

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

Para cumplir con los objetivos, se planifica la investigación en fases, las cuales se describen a continuación:

9.4.1. Fase 1. Recolección y revisión documental

Se establecerá una primera fase de recolección de la información donde se consultará en la literatura especializada las funciones de protección eléctrica que todo sistema eléctrico de potencia debe tener implementado para su correcta operación. Se tomará como fuentes, libros, ensayos, manuales de fabricantes, documentos propiedad de los agentes transportistas de Guatemala, tesis de Maestrías, ensayos de especialistas en protecciones, normas del mercado eléctrico de Guatemala y estudios de coordinación de protecciones de proyectos de similares características a los del objeto de la investigación.

Dentro de la primera fase también se indagará en la legislación de la república de Guatemala las leyes relacionadas con el sector energético y los reglamentos de generación y transporte de energía eléctrica vigente al año 2020, con el fin de garantizar que lo implementado en los protocolos propuestos sea respaldado dentro de un marco legal. Se realizará entrevistas con los agentes transportistas para indagar sobre las metodologías que emplean en las pruebas de puesta en servicio de las subestaciones, enfocando principalmente como evalúan y documentan las pruebas a los esquemas de protección eléctrica.

9.4.2. Fase 2. Identificación de la información

En una segunda fase se indagará sobre los parámetros eléctricos de un sistema de transmisión eléctrica en 230 kV. que deben evaluarse en las pruebas a los esquemas de protección para que al momento de elaborar el protocolo se tenga la certeza de que la evaluación y la simulación de las pruebas garanticen un escenario similar es decir de iguales características técnicas al sistema eléctrico nacional, tanto en operación normal como en la presencia de fallas y distorsiones eléctricas, con el objetivo de validar la correcta operabilidad y actuación del esquema de protección.

Se hará una recopilación de las marcas o fabricantes de los relés de protección que utilizan los propietarios de las subestaciones. Se solicitará entrevistas con los departamentos de protecciones de las empresas propietarias de las subestaciones en estudio con el objetivo de establecer un listado de las empresas especializadas que les prestan el servicio de pruebas a los esquemas de protección y la elaboración del estudio de coordinación de esquemas de protección. Con lo anterior se elaborará una lista de todas las funciones que evalúan cada agente propietario de la subestación, constituyendo de esta manera un listado único que servirá como base para la elaboración de la propuesta de protocolo.

9.4.3. Fase 3. Elaboración del protocolo

En la presente etapa se hará un análisis y selección de la información recopilada en la segunda fase, y como resultado se diseñará un prototipo del protocolo de evaluación de los esquemas de protección, en este se incluirá información como datos de la instalación a evaluar, de las marcas de relés que conformarán el sistema de protección eléctrica de la subestación, se

establecerán secciones, donde cada una corresponderá a una función de protección en específico. Cada sección comprenderá una serie de casos que simularan las posibles perturbaciones del sistema eléctrico a proteger, se contemplaran espacios para anotar los resultados de la aplicación de cada caso.

En el diseño se pretende incluir comentarios hechos por los propietarios de las subestaciones, para que este no sea marginal sino tenga característica de incluyente

9.4.4. Fase 4. Ejecución del protocolo

Tomando el modelo diseñado del protocolo, se hará una evaluación del esquema de protección de una de las subestaciones del sistema con un nivel de 230 kV y que forme parte de la red de transporte del sistema eléctrico de Guatemala. Como parte de la planificación se contempla esta actividad en el proyecto SE Chiantla 230/69 kV en la cual por estar en proceso de construcción se tiene contemplado desarrollar su puesta en servicio previo a conectarse al sistema nacional, y dentro de este proceso se contempla la validación de sus esquemas de protección.

9.4.5. Fase 5. Análisis de resultados y proceso de mejora

Uno de los propósitos del protocolo es evidenciar en el momento que se realicen las pruebas, sus resultados y determinar si las mismas son satisfactorias o por el contrario se deben cambiar ajustes en los parámetros de los relés, por lo tanto se debe repetir cada caso del protocolo que no sea satisfactorio hasta que si lo sea, por lo que el análisis de los resultados debe ir acoplado a la ejecución del protocolo, ya que el objetivo de protocolizar las pruebas con el instrumento, es tener como resultado que sea un documento que certifique o

valide que los esquemas de protección tienen una probabilidad alta de ser eficientes, en la operación de seguridad y fiabilidad ante perturbaciones en el sistema nacional eléctrico en su nivel de voltaje de 230 kV.

9.5. Resultados esperados

Como parte de la investigación se establecieron los objetivos que se pretenden cumplir, estos derivados de las preguntas que se plantearon como inicio del proceso de investigación en la determinación del problema, sus causas y efectos, y con la aplicación de la metodología y las fases aplicadas se espera obtener los siguientes resultados:

- Listado y clasificación de las funciones de protección que actualmente evalúan las empresas transportistas del sistema eléctrico de Guatemala dentro de sus protocolos establecidos para las pruebas a sus esquemas de protección.
- Validación de los parámetros eléctricos del sistema nacional interconectado dentro del protocolo de pruebas a los esquemas de protección.
- Con base en el listado del inciso anterior, establecer las funciones de protección que debe incluir un protocolo único para la prueba a los esquemas de protección.
- Un marco referencial para realizar las pruebas de los esquemas de protección de acuerdo con una metodología de evaluación y análisis propuesta dentro del protocolo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Siguiendo el planteamiento de Piloña (2012), el cual establece la importancia de aplicar el método científico, en sus tres fases, integradas en una fase de indagación reflejada en la recolección de información primaria por medio de la encuesta y secundaria a través de literatura en libros y textos. Una fase demostrativa al comprobar que las variables del sistema eléctrico son sujetas a procesos, análisis y resultados y finalmente la fase expositiva utilizada al final para emitir los comentarios y recomendaciones del informe final.

En la primera fase de la investigación se usará la técnica de observación directa aplicándola a la documentación existente en los archivos que guarden información de pruebas de puesta en servicio de subestaciones de cada uno de los agentes transportistas. Mediante la aplicación de la observación indirecta se harán consultas en documentos o literatura sobre estudios similares. Consultas a expertos en el tema y proveedores en Guatemala de los diferentes tipos de tecnología disponibles comercialmente en nuestro país que cubre el mercado de estudios de coordinación de protecciones eléctricas.

La técnica del formulario será el instrumento de investigación utilizado para dejar constancia de la observación directa, y para el mismo se elaborará un formulario con preguntas sencillas y concretas con las cuales se pretende determinar el número de casos y funciones de protección que utilizan los propietarios de las instalaciones de la red de transporte en 230 kV en sus pruebas de puesta en servicio de sus subestaciones eléctricas. En este estudio la muestra serán las subestaciones que estén en operación actualmente.

Se hará uso de la técnica del fichaje para la recopilación de información de los relevadores y equipos de protección instalados en las subestaciones eléctricas de 230 kV de la red de transmisión de Guatemala.

La estadística descriptiva será de suma importancia en la elaboración de tablas basadas en los datos recopilados mediante la técnica del formulario y que permitan establecer el comportamiento del sistema nacional interconectado ante fallas en sus líneas de transmisión y subestaciones eléctrica e 230 kV. Se utilizará la herramienta Microsoft Excel, para construir las tablas donde se agrupen por variables, los parámetros del sistema eléctrico nacional, tipos de fallas y las funciones de protección que actualmente se utilizan en las evaluaciones.

Los tipos de falla se clasificarán de acuerdo a su naturaleza teniendo fallas monofásicas, bifásicas, trifásicas, monofásicas y bifásicas a tierra, Sobre voltajes, sobre frecuencias y como resultado de uso de la estadística descriptiva se determinará que fallas tienen la mayor probabilidad de ocurrencia en la red nacional y en base al resultado, se elaborarán los casos (cada caso es la simulación de un evento real) que se evaluarán para cada una de las funciones de protección que integren el protocolo de evaluación

Se utilizará la comparación en lo relativo los índices de salidas de operación de subestación y líneas provocados tanto por mantenimiento programado, como por eventuales fallos en las líneas. Esta comparación será transversal en el tiempo durante un periodo del 2015 al 2020.

11. CRONOGRAMA

Figura 3. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El desarrollo de este trabajo de Investigación será responsabilidad del tesista/investigador, por lo que la viabilidad desde los diferentes aspectos que lo comprenden, debe ser objeto de una evaluación lo más próxima a la realidad con el objeto de determinar si tiene el recurso financiero para poder cumplir con los objetivos trazados. En cuanto al recurso material como el uso de mobiliario, equipo y automóvil solo se tomó como costo una depreciación por su uso y no el precio de este por ser recursos con los que ya se contaba por parte del tesista/investigador. En el reglón asociado a los honorarios del tesista se le asigna un valor financiero, pero que es basado en el costo de oportunidad por lo que no constituirá un desembolso económico.

Recurso Humano: El tesista dedicará en promedio 30 horas a la semana en el desarrollo de la investigación, únicamente en la fase de ejecución del protocolo de pruebas al esquema de protección durante la puesta en servicio de una subestación eléctrica, dedicará un mes a tiempo completo, pero forma parte de las actividades laborales de su entorno, por lo que se contará con la autorización respectiva de la empresa.

Recurso material y tecnológico: computadora personal, teléfono, vehículo eventualmente, energía eléctrica, gastos de alimentación por desplazamientos a él o lugares de los proyectos, hojas, material de oficina y presentación final del proyecto.

La factibilidad y resultado satisfactorio de todo proyecto de investigación, está basado en las facilidades para el acceso a la información, que es básica

para el estudio del problema a resolver y la disponibilidad del recurso económico, tanto para realizar la investigación como el financiamiento para su implementación. Otro factor por tomar en cuenta es las posibles oposiciones que para este caso podría ser la inexistencia de documentación de pruebas efectuadas con anterioridad a este estudio por parte de los agentes transportista o bien la negativa de ellos a brindar información de sus activos o instalaciones.

Para este diseño de investigación, ya se cuenta con la colaboración de una de las empresas transportistas y está anuente a través de su departamento de operación y mantenimiento de brindar la información requería que sea importante para el proyecto. El financiamiento de la investigación será a cuenta del tesista/investigador partiendo de la evolución de los costos y que están acordes con sus posibilidades económicas, concluyendo que se cuenta con los recursos financieros que permiten completar cada una de las fases de la investigación y por lo tanto es viable su realización en el tiempo planificado.

A continuación, se detalla el presupuesto destinado a la investigación:

Tabla III. **Presupuesto recurso humano**

RECURSO HUMANO					
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAMIENTO
1	Tesista/investigador	Q4,500.00	6 meses	Q27,000.00	Recurso propio
2	Tesista/entrevistador	Q5,000.00	1	Q5,000.00	Recurso propio
3	Asesor Academico	Q5,000.00	1	Q5,000.00	Recurso propio
TOTAL				Q37,000.00	Recurso propio

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Presupuesto recurso tecnológico**

RECURSOS TECNOLOGICO					
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAMIENTO
1	Depreciacion computador	Q750.00	6 meses	Q4,500.00	Recurso propio
2	Depreciacion Vehiculo	Q150.00	6 meses	Q900.00	Recurso propio
3	Impresora	Q350.00	1	Q350.00	Recurso propio
4	Telefono	Q100.00	6	Q600.00	Recurso propio
TOTAL				Q6,350.00	Recurso propio

Fuente: elaboración propia

Tabla V. **Presupuesto recurso material**

RECURSOS MATERIALES					
ITEM	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAMIENTO
1	Resma de Papel Bond	Q150.00	1	Q150.00	Recurso propio
2	Lapiceros y lapices	Q100.00	1	Q100.00	Recurso propio
3	Tinta de impresora	Q400.00	1	Q400.00	
4	consumo de Electricidad	Q50.00	6	Q300.00	Recurso propio
TOTAL				Q950.00	Recurso propio

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. **Resumen de presupuesto**

RESUMEN DEL PRESUPUESTO				
ITEM	DESCRIPCION	TOTAL	PORCENTAJE	FUENTE FINANCIAMIENTO
1	Recurso Humano	Q37,000.00	79%	Recurso propio
2	Recurso Tecnológico	Q6,350.00	13%	Recurso propio
3	Recurso Material	Q950.00	3%	Recurso propio
4	Imprevistos 5 %	Q2,215.00	5%	Recurso propio
	TOTAL	Q46,515.00	100%	Recurso propio

Fuente: elaboración propia

13. REFERENCIAS

1. Decreto del Congreso de la República de Guatemala número 93-96. *Ley General de Electricidad*. 16 octubre 1996. Diario de Centroamérica 16 noviembre de 1996
2. Enríquez, G. (1981). *Fundamentos de protección de sistemas Eléctricos por Relevadores*. México D.F, México: Editorial Limusa.
3. Graiger, J. y Stevenson, W. (1996). *Análisis de Sistemas de Potencia*. México D.F.: Mc Graw Hill/Interamericana de México S.A.
4. Hunt, Sally (2002). *Making competition work in Electricity*. Londres, Inglaterra: John Willey y Son ink.
5. Latorre, C. (2011). *Protecciones de Sistemas Eléctricos*: Santiago de Chile, Chile: USAH-editores
6. Martin, R. (1987). *Diseño de Subestaciones Eléctricas*. 1ª edición. México: Edit. McGraw Hill de México S. A. de C. V.
7. Martínez, M. y Cardona, M. (1982). *Curso sobre conceptos básicos de protecciones en sistemas de potencia*. Caldas, Colombia: ISA, ACIEM.

8. Millan, Jaime (2006). *Entre el Mercado y el Estado, tres décadas de reformas en el sector eléctrico de América Latina*. New York, Estados Unidos: Banco Interamericano de desarrollo.
9. Morales J. (2005). *Elementos de Protección de Sistemas de Potencia*. Guatemala, Guatemala: Sergráfica.
10. Pérez, E. (2011). *Análisis de fallas eléctricas en los sistemas eléctricos de potencia*. Ciudad, Chile: Print-Antofagasta.
11. Piloña, G. (2012). *Guía práctica sobre métodos y técnicas de investigación*. Guatemala, Guatemala: GP Editores.
12. Ramírez, M. (1995). *Protecciones de sistemas eléctricos de potencia*. México D.F, México: San Nicolás de los Garza.
13. Sánchez, J. (2006). *Estudio de Protecciones Eléctricas de la SE Chicacao 69/13,8 kV*. Ciudad, España: Applus-Norcontrol.
14. SEL (Schweitzer Engineering Laboratories) (2013). *SEL-311L: Protection and automation system instruction manual*. Estados Unidos: Laboratorios SEL.
15. Serrano, K. (2000). *Esquema de protección de línea con disparo permisivo*. Ciudad, Suiza: Mcgraw-Hill.
16. Tamasco Renzo (2007). *Protecciones Eléctricas*. Bogotá, Colombia: HMV ingenieros.

17. Urizar, Carmen (2016). *Principales hitos y actores en la apertura del Sector Eléctrico Guatemalteco*. Ciudad, Guatemala: Ohio Print y Paper.

