



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PREFACTIBILIDAD PARA UNA PROPUESTA DE
REDUCCIÓN DE FALLAS TRANSITORIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CONDUCTORES DE
MEDIA TENSIÓN CONVENCIONALES POR UN SISTEMA DE RED AÉREA COMPACTA
CON CABLE CUBIERTO Y PROTECCIÓN DE ZONAS BOSCOSAS**

Daniel Guillermo Pacal Tapaz

Asesorado por el MSc. Ing. Hector Tzoc Menchú

Guatemala, marzo 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PREFACTIBILIDAD PARA UNA PROPUESTA DE
REDUCCIÓN DE FALLAS TRANSITORIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CONDUCTORES DE
MEDIA TENDIÓN CONVENCIONALES POR UN SISTEMA DE RED AÉREA COMPACTA
CON CABLE CUBIERTO Y PROTECCIÓN DE ZONAS BOSCOSAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DANIEL GUILLERMO PACAL TAPAZ
ASESORADO POR EL MSC. ING. HECTOR HUGO TZOC MENCHÚ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Snell Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Sitaví Cos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



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

Estimado Mtro. Rivera

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE PREFACTIBILIDAD PARA UNA PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE FALLAS TRANSITORIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN CONVENCIONALES POR SISTEMA DE RED AÉREA COMPACTA CON CABLE CUBIERTO Y PROTECCIÓN DE ZONAS BOSQUESAS**, al cual se enmarca en la línea de investigación: Energía Aplicada - Uso Eficiente de la Energía - Pérdidas en los sistemas eléctricos, presentado por el estudiante Daniel Guillermo Pacal Tapaz carnet número 201701756, 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 Energía Y Ambiente.

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,

"Ad y Encuentro Todos"

Mtro. Héctor Hugo Tzoc Menchu
Asesor(a)

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

Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-1614-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica 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 DE PREFACTIBILIDAD PARA UNA PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE FALLAS TRANSITORIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN CONVENCIONALES POR SISTEMA DE RED AÉREA COMPACTA CON CABLE CUBIERTO Y PROTECCIÓN DE ZONAS BOSCOSAS**, presentado por el estudiante universitario **Daniel Guillermo Pacal Tapaz**, 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



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

Guatemala, octubre de 2023

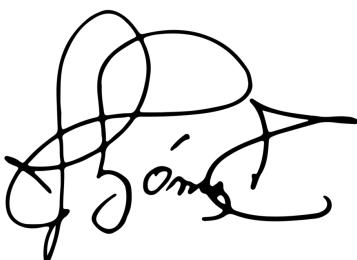
Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.134.2024

El Decano 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 DE PREFACTIBILIDAD PARA UNA PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE FALLAS TRANSITORIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN CONVENCIONALES POR SISTEMA DE RED AÉREA COMPACTA CON CABLE CUBIERTO Y PROTECCIÓN DE ZONAS BOSCOSAS**, presentado por: **Daniel Guillermo Pacal Tapaz** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 01/03/2024 18:04:11
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, marzo de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 134 CUI: 3064281720401

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

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 DE PREFACTIBILIDA PARA UNA PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE FALLAS TRANSITORIAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CONDUCTORES DE MEDIA TENSIÓN CONVENCIONALES POR SISTEMA DE RED AÉREA COMPACTA CON CABLE CUBIERTO Y PROTECCIÓN DE ZONAS BOSCASAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 21 de octubre de 2023.



Daniel Guillermo Pacal Tapaz

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su amor y misericordia al permitirme ser el protagonista de sus planes en mi vida.
Mis padres	Santiago y Blanca por ser ejemplo de perseverancia y por siempre apoyarme en mis estudios con palabras motivadoras al igual que económicaamente.
Mis hermanos	Karin y Axel por su cariño, amor incondicional y apoyo para lograr culminar mis estudios.
Mis amigos	Por su amistad, cariño y hacer que la vida universitaria siempre sea recordada.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de ser parte de la gran casa de estudio y poder estar orgulloso de ser sancarlista.
Mis amigos	Pedro Ibáñez, Marta López y Jorge Muralles por su amistad y confianza al abrirme las puertas de su casa.
Mis asesores	MSc. Hector Tzoc y M.A. Marvin Mérida por su valioso apoyo y tiempo en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	9
3.3. Formulación del problema	11
3.3.1. Pregunta central	11
3.3.2. Preguntas auxiliares	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDAD A CUBRIR	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Sistema eléctrico en Guatemala	19
7.2. Sistema de distribución eléctrica	20
7.3. Redes eléctricas de distribución	21

7.3.1.	Topología de redes de distribución eléctrica	23
7.3.1.1.	Red radial	24
7.3.1.2.	Red en lazo o malla.....	25
7.3.1.3.	Red lazo-radial o mixto.....	28
7.3.2.	Redes aéreas de distribución convencionales	29
7.3.2.1.	Conductor ACSR	31
7.3.2.2.	Conductor AAC.....	32
7.3.2.3.	Conductor AAAC	34
7.3.3.	Estructura y accesorios de una red de distribución eléctrica con conductores convencionales	35
7.3.3.1.	Aisladores.....	36
7.3.3.2.	Abrazaderas y herrajes	37
7.3.4.	Conductores ecológicos	37
7.3.4.1.	Características técnicas de conductores ecológicos	39
7.3.4.2.	Aplicación de conductores ecológicos....	42
7.3.5.	Redes aéreas de distribución compactas con cable cubierto.....	43
7.3.5.1.	Ventajas de las redes aéreas compactas con cable cubierto	45
7.3.5.2.	Desventajas de las redes aéreas compactas con cable cubierto	48
7.3.5.3.	Estructura y accesorios de una red área compacta.....	48
7.3.5.3.1.	Espaciador polimérico...49	
7.3.5.3.2.	Aislador tipo pin de perno fijo para 15kv.....51	
7.3.5.3.3.	Anillo de silicona	53
7.3.5.3.4.	Apoyo tipo L	55

7.3.5.3.5.	Brazo anti-balanceo.....	56
7.4.	Estabilidad y confiabilidad en la red eléctrica de distribución	57
7.5.	Regulación de energía eléctrica en Guatemala	58
7.5.1.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)	58
7.5.2.	Ente operador del sistema y del mercado eléctrico en Guatemala	59
7.5.3.	Normas técnicas del diseño y operación de instalaciones de distribución -NTDOI-	60
7.5.4.	Normas técnicas del servicio de distribución - NTSD-.....	61
7.5.5.	Indicadores de calidad de servicio eléctrico.....	61
	7.5.5.1. Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)	62
	7.5.5.2. Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)	63
	7.5.5.3. Límites de calidad de servicio técnico....	64
7.6.	Fallas en redes eléctricas de distribución	65
7.6.1.	Tipos de fallas en redes de distribución eléctrica	66
7.6.1.1.	Fallas transitorias.....	68
	7.6.1.1.1. Causas de las fallas transitorias	69
7.6.1.2.	Fallas permanentes	69
	7.6.1.2.1. Causas de las fallas permanentes.....	70
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	71
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	73

10.	METODOLOGÍA	79
10.1.	Tipo de estudio.....	79
10.2.	VARIABLES	80
10.3.	Fases del estudio	81
10.3.1.	Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico.....	81
10.3.2.	Recolección de datos	81
10.3.3.	Análisis y resultados.....	94
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	95
12.	CRONOGRAMA	97
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	99
	REFERENCIAS.....	101
	ANEXOS.....	107
	APÉNDICES.....	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Diagrama jerárquico de subsector eléctrico guatemalteco	20
Figura 2.	Esquema de sistema eléctrico.....	22
Figura 3.	Diagrama unifilar de un circuito de distribución eléctrica	23
Figura 4.	Configuración radial en red eléctrica de distribución	24
Figura 5.	Configuración de red eléctrica de distribución mallado	26
Figura 6.	Configuración de red eléctrica de distribución mixto	29
Figura 7.	Red eléctrica de distribución convencional.....	30
Figura 8.	Conductor ACSR.....	32
Figura 9.	Conductor AAC.....	33
Figura 10.	Conductor AAAC	35
Figura 11.	Aisladores para instalación de redes eléctricas en media tensión.....	36
Figura 12.	Herrajes para redes de media tensión.....	37
Figura 13.	Fijaciones mecánicas de conductores con recubrimiento	38
Figura 14.	Diseño de construcción de líneas aéreas con cables ecológicos.....	39
Figura 15.	Ejemplificación gráfica de un tramo de red eléctrica compacta con cable ecológico.....	44
Figura 16.	Red eléctrica aérea compacta con cable ecológico en área verde.....	46
Figura 17.	Red de cuatro circuitos eléctricos aéreos compactos con cable ecológico	47

Figura 18.	Espaciador polímero en red eléctrica de distribución con cables ecológicos	50
Figura 19.	Aislador tipo perno fijo.....	52
Figura 20.	Amarre de conductor ecológico con anillo de silicona.....	54
Figura 21.	Estructura de apoyo tipo L	55
Figura 22.	Estructura de brazo antibalanceo.....	56
Figura 23.	Instalación de brazo anti-balanceo con espaciador romboidal.....	57
Figura 24.	Líneas eléctricas con falla monofásica.....	67
Figura 25.	Líneas eléctricas con falla bifásica	67
Figura 26.	Líneas eléctricas con falla trifásica.....	68
Figura 27.	Falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2021.....	82

TABLAS

Tabla 1.	Especificaciones técnicas de diseño para conductor ecológico tipo AAAC.....	41
Tabla 2.	Especificaciones físicas de conductor ecológico tipo AAAC	41
Tabla 3.	Limites permisibles de indicadores de calidad de interrupción eléctrica en Guatemala	65
Tabla 4.	Variables del estudio	80
Tabla 5.	Falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2022.....	83
Tabla 6.	Falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2023.....	83
Tabla 7.	Falla de circuitos con causal corrosión del año 2021	83
Tabla 8.	Falla de circuitos con causal corrosión del año 2022	84
Tabla 9.	Falla de circuitos con causal corrosión del año 2023	84

Tabla 10.	Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) 2021	86
Tabla 11.	parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) 2022	87
Tabla 12.	parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) 2023	87
Tabla 13.	parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) 2021	88
Tabla 14.	Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) 2022	88
Tabla 15.	Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) 2023	89
Tabla 16.	Indicadores de calidad de la red eléctrica considerando fallas ocasionadas por condiciones climáticas.....	89
Tabla 17.	Indicadores de calidad de la red eléctrica considerando fallas ocasionadas por corrosión.....	90

Tabla 18.	parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional 2021	91
Tabla 19.	Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto 2021	91
Tabla 20.	Indicadores de calidad de distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional	92
Tabla 21.	Indicadores de calidad de distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto	92
Tabla 22.	Parámetros económicos.....	93
Tabla 23.	Cronograma de actividades	97
Tabla 24.	Detalle de los costos de recursos para realizar el proyecto de investigación	99

1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se abordará el problema de las fallas transitorias en la red eléctrica provocadas principalmente por la interacción de la vegetación con la infraestructura eléctrica y las condiciones climáticas adversas como las descargas atmosféricas. Estas fallas transitorias tienen graves consecuencias para la confiabilidad del suministro eléctrico incluyendo cortes de energía que afectan a comunidades y empresas en la región. Además de los inconvenientes para los usuarios estas interrupciones también tienen un impacto económico significativo, causando pérdidas en la producción y la calidad de vida de los habitantes.

La solución propuesta en esta investigación es de gran importancia para resolver el problema mencionado anteriormente se llevará a cabo un estudio detallado que estime el índice de fallas transitorias en la red eléctrica lo que permitirá identificar con precisión las regiones donde la sustitución de los conductores convencionales por un sistema de red aérea compacta con cables cubiertos reducirá de manera significativa estas fallas. Este análisis se basará en métodos estadísticos que evaluarán qué tipos de eventos ambientales y climáticos contribuyen en mayor medida a las fallas transitorias, así como en qué zonas de la región se experimenta una mayor inestabilidad eléctrica debido a estos transitorios.

Los resultados esperados de esta investigación son de gran relevancia. Se espera poder proponer el cambio de conductores en las zonas identificadas como las más propensas a fallas transitorias especialmente en áreas boscosas que requieren una protección ambiental adecuada. Los beneficios serán

múltiples, incluyendo la mejora de la confiabilidad del suministro eléctrico, la reducción de interrupciones en el servicio, el aumento de la eficiencia energética y la preservación de áreas naturales. Además, esta investigación contribuirá al conocimiento sobre la interacción entre la infraestructura eléctrica y el entorno natural, lo que puede tener aplicaciones en otros contextos similares.

El método de investigación se basa en la estimación de las fallas durante los años 2021, 2022 y 2023 de una distribuidora de electricidad en Guatemala. Esto permitirá evaluar si el comportamiento de las fallas varía con el tiempo. Se analizarán los circuitos específicos con mayor incidencia de fallas y se calcularán los indicadores de calidad FMIK y TTIK para evaluar la calidad de la red eléctrica. Además, se determinará el porcentaje de fallas causadas por la vegetación en contacto con la red para identificar las zonas que requieren una solución. Se realizará una comparación con distribuidoras que ya utilizan cables aislados en sus redes para evaluar la confiabilidad de este enfoque.

En los primeros capítulos de esta investigación, se examinarán los antecedentes relacionados con las fallas transitorias en las redes eléctricas enfocándose en los desafíos ocasionados por la vegetación y las condiciones climáticas. Se describirá de manera más profunda el problema de las fallas transitorias, incluyendo su impacto negativo en la continuidad del suministro eléctrico y la economía. Además, se establecerá una sólida base teórica que abarcará conceptos esenciales relacionados con la infraestructura eléctrica, la vegetación y los factores climáticos, lo que permitirá al lector comprender mejor el contexto de la investigación.

En la segunda parte de esta investigación, se presentará la estructura general de la misma, detallando la metodología que se seguirá para abordar el problema de las fallas transitorias. También se explicarán las técnicas y

herramientas específicas que se utilizarán para analizar los datos recopilados. Asimismo, se discutirá la factibilidad del estudio en términos logísticos y económicos, considerando los recursos necesarios y las posibles restricciones. Por último, se proporcionará un cronograma detallado que servirá como guía temporal para la ejecución de todas las actividades relacionadas con la investigación. Estos capítulos conformarán la estructura esencial de la investigación y permitirán abordar de manera efectiva el problema de las fallas transitorias en la red eléctrica.

2. ANTECEDENTES

Cedillo et al. (2016) en su investigación “Sistema de red aérea compacta con cable cubierto (SRACC), en la distribución de energía eléctrica” llevada a cabo en el Instituto Politécnico Nacional Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional Adolfo López Mateos, México D.F Enero (p. 2). Centro la investigación en garantizar un suministro eléctrico confiable y de alta calidad en una zona urbana, considerando la presencia abundante de aéreas verdes que ocasionaban eventos automáticos de apertura y cierre, así como fallas en las líneas con parámetros de tensión acorde a un sistema de suministro eléctrico. Para abordar este inconveniente asociados a las líneas tradicionales de distribución aérea con cables sin protección aislante en su entorno, Cedillo, Esqueda y García proponen la adopción de un sistema innovador de red aérea compacta de cable con pantalla semiconductora. Esta solución busca eliminar las interrupciones frecuentes en la infraestructura eléctrica de distribución y mejorar la continuidad del servicio, aumentando así la confianza de estabilidad ininterrumpida del suministro eléctrico en la región. (Cedillo et al., 2016).

Espín y Sánchez (2009) detalla en su tesis en ingeniería eléctrica, de la Escuela Politécnica Nacional Quito. “Utilización de cable protegido para redes aéreas de media tensión”, Una alternativa definitiva al conductor tradicional en media tensión por un conductor protegido y de esta forma aumentar la confiabilidad y estabilidad de la red eléctrica a si mismo la disminución de accidentes por electrocución y una contribución al cuidado del medio ambiente, Espín y Sánchez se enfocan en el estudio técnico económico para hacer una comparación entre el conductor protegido y el conductor desnudo y así determinar los costos de implementación. (Espín et al., 2009).

Baygorrea (2019) en su investigación de tesis en ingeniería eléctrica, “Implementación de conductores ecológicos en líneas primarias para la mejora de los indicadores de calidad de suministro en la Amazonia peruana, de la Universidad Nacional Del Callao”. Propone implementar las tecnologías desarrolladas en la amazonia de países como el gigante de América del sur y la cuna del vallenato y el café en búsqueda de una solución a la mala continuidad de servicio eléctrico reflejado en el mejoramiento de los indicadores de servicio eléctrico, los cuales son el índice de frecuencia media de interrupción y el tiempo promedio de interrupción. Baygorrea proponer la aplicación de conductores ecológicos y demostrar su efectividad en base a los beneficios de uso, el valor de inversión y operación comparando cada evento de interrupción evaluada en las incidencias reportadas con la principal causal de falla condiciones climáticas. (Baygorrea, 2019).

Aucapiña y Zhindón (2023) Según el análisis técnico desarrollado su tesis de ingeniería eléctrica de la Universidad de Cuenca, Ecuador “Análisis técnico y económico para la utilización de conductores semiaislados en redes de media tensión en los sistemas de distribución” (p. 2). Busca la motivación de la Empresa Eléctrica Regional utilización de conductores protegidos en infraestructuras de energía de nivel medio de obras actuales y futuros en relación con los distintos diseños de infraestructura eléctrica de distribución. Estos sistemas se evalúan cuidadosamente, considerando sus respectivos beneficios y limitaciones en comparación con la red aérea con pantalla semiconductora de medio voltaje, mediante un análisis económico minucioso, se determina la viabilidad de implementar el uso del cable con pantalla semiconductora en la red de suministro eléctrico. Los sistemas aéreos desnudos tienden a ser más económicos, pero tiene repercusión en su confiabilidad del suministro eléctrico, las redes subterráneas tienen un elevado costo de construcción y mantenimiento. (Aucapiña et al. 2023).

Machacado y Cruz (2019) realizaron comparaciones en su tesis de ingeniería de la universidad industrial de Santander, Bucaramanga "Análisis comparativo de las redes compactas frente al sistema convencional" (p.20). Pretende obtener la aprobación de los habitantes de zonas pobladas y urbanizadas mediante la demostración de diferencias técnicas como el rendimiento y robustez de las redes compactas con cables con apantallamiento semiaislados y una infraestructura eléctrica de distribución convencional. También se evalúa su impacto ambiental en zonas donde hay vegetación y con determinación de que el servicio eléctrico no debe experimentar interrupciones frecuentes en el servicio eléctrico. (Machado et al. 2019).

Gómez et al. (2016) describen en el informe ambiental "Línea y Cable a 66 kV El Tablero-Santa Águeda, Eurocontrol" Se realiza una evaluación del impacto ambiental de la obra de la línea eléctrica aérea/subterránea de 66KV en el territorio de Las Palmas de Gran Canaria, incluye la aplicación de un sistema de red aérea compacta de cable con pantalla semiconductora para disminuir los efectos negativos con el propósito de promover la preservación del medio ambiente, buscando garantizar una implementación responsable abordando de manera adecuada todos los elementos del entorno antes de que inicie en funcionamiento. (Gómez et al. 2016).

Las condiciones climáticas severas como las inundaciones provocadas por tormentas exponen a la red eléctrica a tal grado de interrumpir el servicio eléctrico por seguridad. Narvaez y prado (2012) desarrollan una propuesta para mantener un circuito más estable, confiable y libre de hurto por terceras personas en su tesis de ingeniería de la universidad de la costa Cuc, Barranquilla "Diseño de redes de distribución eléctrica de media y baja tensión para la normalización del barrio el piñoncito de campo la cruz "(p. 19) la sustitución de cables forrados en baja y media tensión logra mitigar los hurtos de energía y a si mismo da más

estabilidad al servicio eléctrico antes condiciones climáticas severas. (Narvaez et al. 2012).

Pichardo (2018) justifica en su investigación de grado de ingeniería, del departamento de ingeniería de la universidad de Sevilla, Sevilla “Diseño de apoyo para línea eléctrica aérea compacta con doble tensión 800KV/400KV” que para elevar el estándar del servicio eléctrico las empresas de transporte eléctrico y proveedoras de servicio eléctrico deben considerar la implementación de nuevas alternativas y así aumentar la continuidad en el servicio eléctrico a los clientes. Para lograr tener una red eléctrica con los mínimos cortes de energía no planificado se debe considerar instalaciones de redes compactas. (Pichardo 2018)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

Las redes eléctricas de distribución son vulnerables a presentar cortes de energía frecuentes debido a las condiciones a las que la red eléctrica está expuesta provocando fallas transitorias o permanentes que pueden llegar a tener un impacto significativo en la continuidad del servicio eléctrico afectando directamente a los indicadores de calidad de servicio eléctrico. Las fallas transitorias más frecuentes en la red eléctrica suelen ser causadas por ramas en contacto directo e indirecto con la red al igual que fallas por condiciones climáticas ya que las descargas atmosféricas provocan apagones de energía eléctrica en milisegundos exponiendo de manera directa los equipos y electrodomésticos de los usuarios finales a tal grado de arruinarlos.

3.2. Descripción del problema

En Guatemala el sistema eléctrico de distribución tiene un gran tamaño y debido a su estructura de diseño las líneas de media tensión suelen atravesar ciertas áreas con mucha vegetación. Los trabajos de poda como medida correctiva a fallas transitorias provocan daños a los árboles y plantas afectando el equilibrio ecológico de la zona y la biodiversidad local. El invertir en un rediseño con conductores con recubrimiento suele ser costoso, las empresas utilizan conductores desnudos ya que son más económicos, pero no se ha considerado una evaluación para determinar donde directamente se debe hacer la sustitución de estos conductores ya que se han centrado más en mantenimientos de condición crítica.

Muchas de las causas que provocan estas fallas transitorias y permanentes se debe a un inadecuado plan de mantenimiento y la falta de seguimiento y continuidad a las fallas que se presentan en la red eléctrica, tales como disparo frecuente de fusibles provocados por vegetación en contacto con la red la cual en algunos casos llegan a presentar falla en los circuitos a tal grado de ocasionar un corte de energía no planificado generando incidencias para realizar poda critica.

Algunas otras causas son las condiciones ambientales como fuertes vientos, lluvias y tormentas que en ciertas estaciones del año se tiene la probabilidad de que ocurra alguna tormenta. Estas mismas condiciones ambientales afecta a la red eléctrica, vegetación en contacto con la red y fauna en contacto involuntario con la red eléctrica como, roedores y aves.

En ciertas zonas del país de Guatemala la falta de energía frecuente ocasiona conflictividad social ya que por inconformidad del servicio provocan disturbios. Las empresas distribuidoras han invertido en nuevas tecnologías en sus instalaciones para proteger las instalaciones de corto circuitos tal como tripsaver y equipos tele controlados que hasta el momento aíslan la falla mas no es una tecnología que pueda eliminar las fallas transitorias por vegetación que están en las zonas boscosas de Guatemala.

La mala práctica de poda que deja daños al medio ambiente provocando aumento de eventos climáticos extremos debido al cambio climático generando un aumento de emisiones de efecto invernadero durante la generación de energía de respaldo al tener cortes de energía.

3.3. Formulación del problema

En base a lo anterior mencionado se presentan los siguientes cuestionamientos

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál será la confiabilidad y viabilidad económica de la implementación de un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en zonas boscosas para mejorar la estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución, tomando en cuenta los aspectos de fallas transitorias causadas por la vegetación e impacto ambiental?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es la frecuencia de las fallas transitorias causadas por la vegetación en contacto con la red eléctrica de media tensión que utiliza conductores convencionales en las redes de distribución eléctrica?
- ¿Cuáles son los beneficios en términos de confiabilidad que se puede lograr obtener en cuanto a estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución al utilizar un sistema de red área compacta con cable cubierto en áreas boscosas?
- ¿Cuál es el impacto ambiental de la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas?
- ¿Cuál es la viabilidad económica y financiera de la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y uso eficiente de la energía del área de diseño de proyectos de distribución eléctrica de la Maestría en Energía y Ambiente. Con esta investigación se aportará la protección de zonas boscosas y la disminución de fallas transitorias provocadas por vegetación en contacto con la red eléctrica así mismo mejorar de la estabilidad y continuidad del servicio eléctrico, por medio de un análisis de prefactibilidad se estimará la viabilidad de implementar este tipo de proyectos en zonas con mayor índice de fallas transitorias.

Con este trabajo se obtendrán datos que contribuyen a la protección de zonas boscosas y así mismo determinar en qué zonas es necesario sustituir infraestructura de redes de distribución eléctrica de conductores convencionales por conductores de cable cubierto para mejorar la estabilidad y resiliencia del servicio eléctrico. También se analizará el costo que tiene el cambio de infraestructura específicamente en zonas donde las fallas transitorias son más frecuentes.

Se obtendrán valores estadísticos que hacen una comparación entre los conductores convencionales con los conductores de cable cubierto en cuanto al mejoramiento de la estabilidad y continuidad en el servicio eléctrico así mismo el índice de fallas transitorias por vegetación en contacto con la red disminuirá. El impacto ambiental que tiene este tipo de proyectos repercute en la calidad del aire y su contribución a la disminución de gases de efecto invernadero ya que al conservar y restaurar los bosques se logran sumideros naturales de carbono al absorber el dióxido de carbono de la atmósfera.

Los beneficios son tanto para los usuarios del servicio eléctrico, así como la empresa distribuidora de electricidad ya que al disminuir las fallas transitorias se logra un mejoramiento en los indicadores de calidad los cuales son; frecuencia media de interrupción por KVA (FMIK) y tiempo total de interrupción por KVA (TTIK).

Los beneficios ambientales contribuyen directamente en la fauna y flora el albergue de la gran diversidad de especies vegetales y animales ayudan preservar los ecosistemas y las especies que depende de ellos, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad global.

Actualmente en Guatemala este tipo de investigaciones se ha considerado no relevante dado a que en primera instancia pareciera ser nada novedoso o relevante, más sin embargo las fallas transitorias provocadas por vegetación en contacto con la red eléctrica son realmente es un problema que se desarrolla todos los días y a medida que la infraestructura de las redes eléctricas de distribución se amplía se ve necesario hacer uso de zonas boscosas. Este tipo de fallas transitorias llega a ser incluso molesto por los usuarios a tal grado de crear conflictos y disturbios reclamando una solución a la problemática.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar la confiabilidad y viabilidad de implementar un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en zonas boscosas para mejorar la estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución, considerando los aspectos de fallas transitorias por vegetación, impacto ambiental y viabilidad económica.

5.2. Específicos

1. Determinar el índice de fallas transitorias por vegetación en contacto con la red eléctrica de media tensión con conductores convencionales en redes de distribución eléctrica.
2. Analizar la confiabilidad de estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución al utilizar un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en áreas boscosas.
3. Evaluar el impacto ambiental con la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas.
4. Estimar la viabilidad económica y financiera de la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red aérea compacta con cable cubierto en zonas boscosas.

6. NECESIDAD A CUBRIR

El problema que se aborda en el presente estudio gira entorno a la calidad de servicio eléctrico de usuarios finales, tomando en consideración que la energía eléctrica es un servicio esencial para el desarrollo social y económico, las redes de distribución eléctrica se ven vulnerables a experimentar cortes de energía eléctrica provocados principalmente por fallas transitorias y en ciertas zonas de Guatemala se presentan cortes de energía con mayor frecuencia, este tipo de fallas ocasionan conflictividad social por inconformidad del servicio y daños significativos al medio ambiente. Mediante la investigación se podrá sugerir a las distribuidoras de energía eléctrica la viabilidad económica e impacto ambiental que tendría la sustitución de conductores de media tensión aéreos convencionales desnudos con conductores de media tensión aéreos compactos con cable cubierto.

Las condiciones climáticas y ambientales suelen ser en su mayoría la causa de fallas transitorias, un corte de energía ocasionado por reacciones transitorias suele ser de corta duración provocadas por; ramas sobre la red, vegetación en contacto con la red, objetos extraños sobre la red, roedores en contacto con la red o por tormentas electro atmosféricas y vientos, provocando cortes de energía y dificultad en localizar el punto de falla en la red eléctrica dado a que en ocasiones la red eléctrica atraviesa zonas de difícil acceso. La investigación estima el índice de fallas transitorias para localizar con mayor precisión la región donde al sustituir la red eléctrica con conductores cubiertos se reduzcan las fallas transitorias, esto se abordaría mediante un análisis estadístico y así poder medir que tipo de evento ambiental y climático provoca mayores fallas

transitorias y en qué zona de la región existe más inestabilidad eléctrica ocasionado por transitorios.

Otra de las causas que ocasionan esta problemática es la manipulación de la red eléctrica por individuos particulares que buscan de alguna forma mitigar de alguna forma los cortes de energía realizando poda en zonas verdes donde la red eléctrica está expuesta al contacto con vegetación, en el peor de los casos suelen haber accidentes y daños en la red eléctrica ocasionando fallas permanentes como líneas rotas, o cortocircuito en la red eléctrica. La sustitución de conductores convencionales por cables cubiertos busca la protección ambiental y humana mediante una evaluación de impacto ambiental para prever los impactos ambientales positivos y negativos que podrían surgir en el cambio de conductores eléctricos.

La inconformidad de los usuarios ocasiona conflictividad a tal grado de generar disturbios en su expresión a una solución a la problemática y reclamando un servicio más confiable, para ello se hará una comparación entre distribuidoras de energía eléctrica que ya cuente con conductores cubiertos y distribuidoras con conductores convencionales para medir la calidad de servicio eléctrico por medio de los indicadores de calidad y así contar con un respaldo medible para proponer cambio de conductores.

Por lo tanto, la solución a la problemática planteada sugiere la mejora que se tendría en la estabilidad de servicio eléctrico y cuidado del medio ambiente al sustituir conductores de media tensión desnudos por conductores de media tensión con cable cubierto en zonas donde exista mayor inestabilidad eléctrica y su viabilidad económica, comparando el costo de energía no suministrada con el costo del proyecto.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Sistema eléctrico en Guatemala

El ministerio de energía y minas (MEM) describe el sistema eléctrico de Guatemala a toda la estructura palpable necesaria para garantizar la provisión de energía eléctrica al país, asegurando condiciones seguras, calidad y tarifas competitivas. (MEM, 2017). Así mismo para que la energía eléctrica llegue a los usuarios se necesitan tres procesos los cuales son desde la generación, trasmisión y repartición de energía eléctrica.

El subsector eléctrico en Guatemala está conformado por tres entidades las cuales son;

- Ente rector: “El Ministerio de Energía y Minas (MEM)” (MEM, Inc., 2023).
- Ente regulador: “La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)” (CNEE, Inc., 2023).
- Ente operador: “El Administrador del Mercado Mayorista (AMM)” (AMM, Inc., 2023).

Figura 1.

Diagrama jerárquico de subsector eléctrico guatemalteco



Nota: Entidades que conforman el subsector eléctrico en Guatemala. Adaptado de Ministerio de energía y minas Guatemala (2017). *Subsector eléctrico en Guatemala*. (<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/Subsector-E%C3%A9ctrico-en-Guatemala.pdf>), Consultado el 18 de agosto 2023 de dominio público

7.2. Sistema de distribución eléctrica

El sistema de distribución eléctrica tiene como principal objetivo distribuir energía eléctrica al usuario final con niveles de tensión de uso domiciliar a través de toda una infraestructura eléctrica. “el conductor usualmente está desnudo va soportado a través de aisladores instalados en crucetas, en postes de madera o de concreto” (Ramírez, s.f., p. 6).

El “sistema de distribución eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 20). Es una parte fundamental de la infraestructura eléctrica que permite llevar la energía eléctrica desde las plantas de generación hasta los consumidores finales. Este sistema consta de una red de cables, transformadores, interruptores y otros dispositivos que distribuyen la electricidad de manera eficiente y segura a hogares, empresas e industrias.

7.3. Redes eléctricas de distribución

Las “redes de distribución eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 27). Funcionan con voltajes inferiores, aproximadamente 220 voltios, y emplean un enfoque monofásico para el “transporte de energía eléctrica” (Maldonado, 2012, p. 36). A diferencia de las “líneas de transmisión” (Maldonado, 2012, p. 3). Estas redes dirigen la transferencia de carga eléctrica en una sola dirección. Son de naturaleza pasiva, no necesitan supervisión de operadores ni intervención de programas. Se destacan por su diseño más delgado y su soporte en pequeños postes. (Trecsa, Inc., 2022).

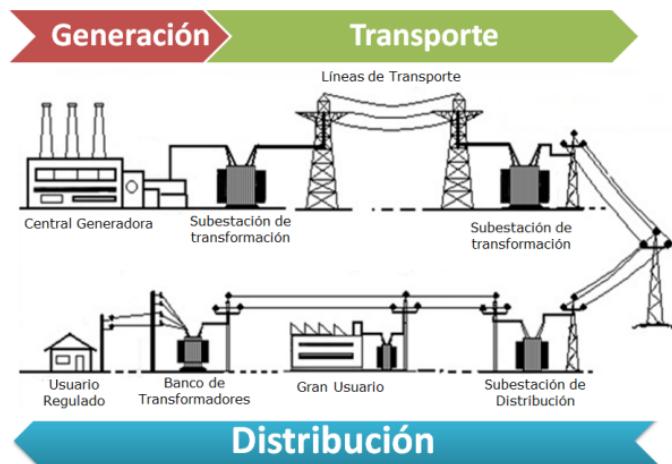
Una “*red de distribución eléctrica*” (Edison et al., 2015 p. 27). Estar conformada por los siguientes elementos:

- Subestación de distribución: “se encarga de recibir la potencia de los circuitos de subtransmisión y de transformarla al voltaje de los alimentadores primarios. Su voltaje va desde 66 KV hasta 230 KV” (Juárez, 1995, p.11).
- Circuito primario: “son los circuitos que salen de la subestación de distribución y llevan el flujo de potencia hasta los transformadores de distribución” (Juárez, 1995, p.11).
- Circuito secundario: “distribuyen la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios o servicios” (Juárez, 1995, p.13).

La entrega de suministro eléctrico constantemente experimenta cambios en sus métodos, las estructuras utilizadas, los materiales para construir el sistema de infraestructura destinada para la repartición eléctrica y los enfoques con los que operan los dispositivos de construcción y mantenimiento. Además, estos cambios se reflejan en los enfoques de diseño y operación, que ahora hacen uso de tecnologías informáticas como programas de gestión de redes e interfaces gráficas.

Figura 2.

Esquema de sistema eléctrico

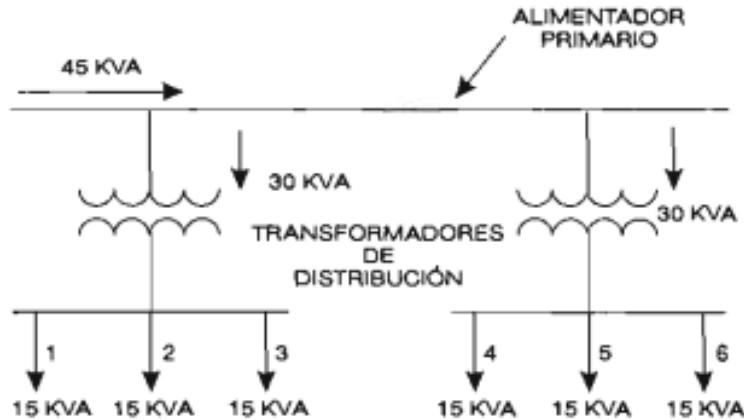


Nota: Ciclo de producción, transmisión y distribución de energía eléctrica. Adaptado de Ministerio de energía y minas Guatemala (2017). Subsector eléctrico en Guatemala. (<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/Subsector-E%C3%A9ctrico-en-Guatemala.pdf>), Consultado el 18 de agosto 2023. De dominio público.

Cada área del ámbito energético cuenta con especialidades. En esta ocasión se estudia el área de la “distribución eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 20). El esquema eléctrico de una “*red de distribución eléctrica*” (Edison et al., 2015 p. 27). Se presenta con el siguiente esquema eléctrico.

Figura 3.

Diagrama unifilar de un circuito de distribución eléctrica



Nota: Unifilar de alimentadores principales y cargas de media tensión. Obtenido de J. Juárez (1995)). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. (p.14.). Ducere.

7.3.1. Topología de redes de distribución eléctrica

Se le conoce como topología de red eléctrica a la configuración que caracteriza la manera en que el potencial eléctrico se dispersa mediante los equipos que conforman los circuitos de una infraestructura eléctrica y así ejecutar la distribución adecuada desde la fuente de suministro. (anónimo A, 2015).

Las topologías más utilizadas en “redes de distribución eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 27). Son:

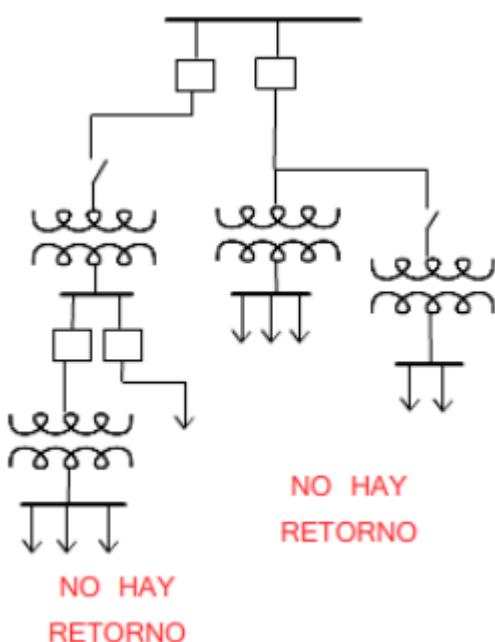
- “Sistema radial” (Juárez, 1995, p. 15).
- “Sistema anillo” (Juárez, 1995, p. 15).
- “Sistema en malla o lazo” (Juárez, 1995, p. 15).

7.3.1.1. Red radial

Un sistema en forma de radio es aquel que presenta una ruta única y unidireccional por la cual fluye la corriente eléctrica. Este sistema se origina en una subestación y se ramifica en una estructura de distribución. (Juárez, 1995).

Figura 4.

Configuración radial en red eléctrica de distribución



Nota: Diagrama unifilar de una red de distribución en configuración de operación radial. Obtenido de anónimo (s.f.) Universidad Autónoma de México (s.f.). A4 sistemas de distribución. (<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION.pdf?sequence=4>), consultado el 19 de agosto de 2023. De dominio público.

Según los siguientes factores sería adecuado utilizar una red de distribución radial:

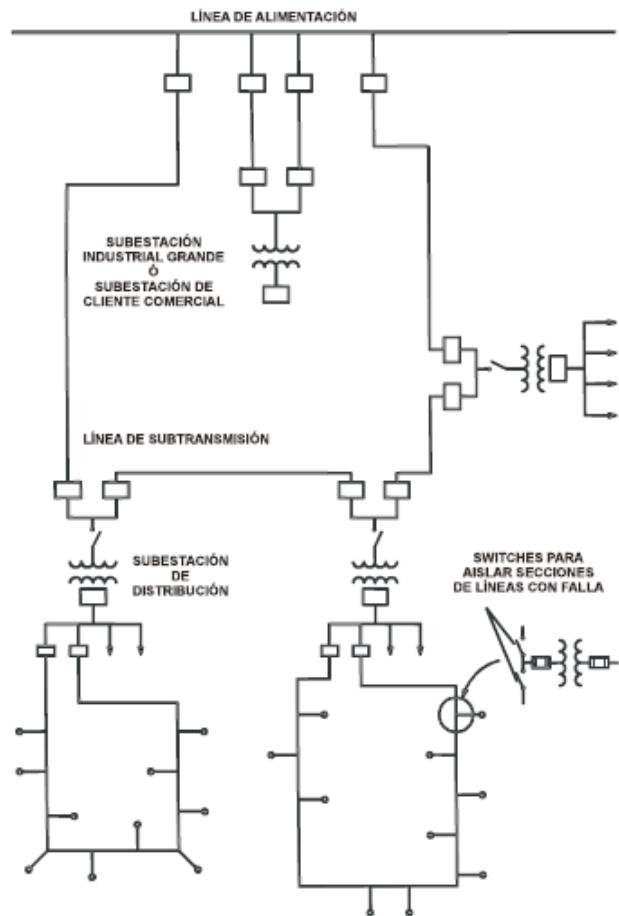
- Cargas no esenciales: cuando la permanencia del suministro no es vital y no existen requisitos rigurosos de confiabilidad, una red radial puede resultar adecuada.
- Zonas con baja demanda de carga: en lugares donde la explotación de energía es reducida y no se anticipa un aumento sustancial proyectado para ampliaciones, una red radial puede ser una opción económicamente viable.
- Menor inversión requerida: en comparación con sistemas más complejos como las redes en anillo o malla, las redes radiales pueden necesitar una inversión inicial menor en términos de infraestructura y equipamiento.

7.3.1.2. Red en lazo o malla

Una red de distribución mallada constituye un “sistema de distribución eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 20). Donde los circuitos se enlazan de forma directa, creando diversas rutas interconectadas. (Juárez, 1995). En esta estructura, cada punto de conexión en la red dispone de múltiples vías alternas para transmitir energía, lo que implica a una mejora sus en la confiabilidad y resistencia del sistema eléctrico.

Figura 5.

Configuración de red eléctrica de distribución mallado



Nota: Diagrama unifilar de una red de distribución en configuración de operación de lazo o malla.

Obtenido de anónimo (2014). Redes de distribución. (<https://distribucion.webnode.com.co/topologias-de-las-redes-de-distribucion/>) consultado el 19 de agosto de 2023. De dominio público.

Según los siguientes factores sería adecuado utilizar una red de distribución en lazo o malla:

- Cargas de alta importancia y sensibilidad: en instalaciones donde los cortes de flujo eléctrico pueden resultar en consecuencias graves, como hospitales, centros de datos, industrias químicas o nucleares. (Juárez, 1995.)
- Zonas urbanas: en ciudades con una elevada presencia de usuarios, el servicio eléctrico aportado por una red en forma de malla asegura que cualquier fallo no cause un impacto significativo en el suministro. (Juárez, 1995.)
- Zonas susceptibles a daños naturales: en lugares con probabilidad de eventos naturales como tormentas, terremotos o inundaciones, una red en malla disminuye los cortes de servicio prolongados. (Juárez, 1995.)
- Centros comerciales y zonas críticas: en localidades donde es vital la continuidad del servicio eléctrico para el funcionamiento de negocios y servicios públicos. (Juárez, 1995.)

Una “*red de distribución eléctrica*” (Edison et al., 2015 p. 27). En malla es apropiada en contextos donde la fiabilidad del abastecimiento eléctrico es prioritaria y se busca reducir al máximo las interrupciones. Sin embargo, se considera que la implementación de este tipo de red representa más costos y requerir conocimientos técnicos más avanzados en comparación con otros sistemas disponibles.

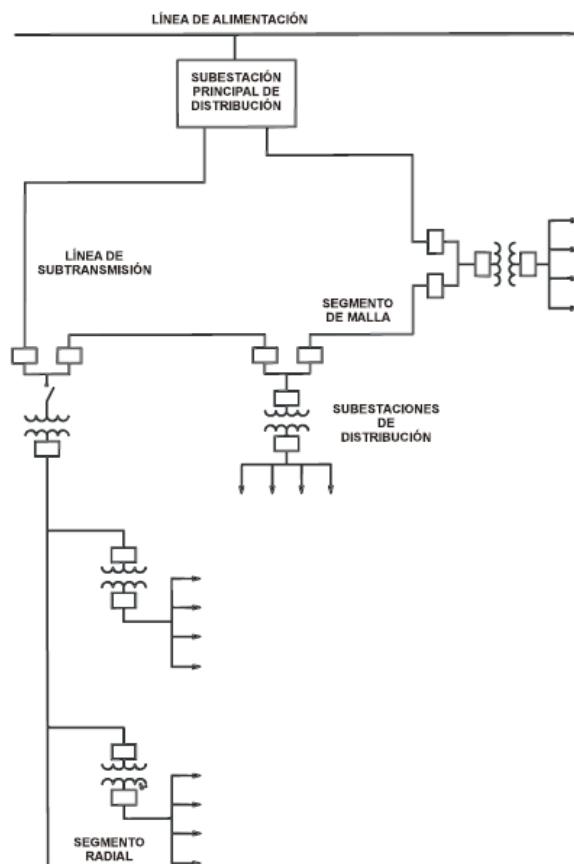
7.3.1.3. Red lazo-radial o mixto

Una “*red de distribución eléctrica*” (Edison et al., 2015 p. 27). Con estructura lazo-radial es un sistema que fusiona componentes de las redes en forma de lazo y de las redes radiales en un enfoque combinado. En esta configuración, se implementan tramos de circuitos de distribución en forma de lazo en ciertas áreas, mientras que en otras áreas se utilizan tramos en forma de radial. Esta combinación posibilita aprovechar los beneficios de ambas aproximaciones con el propósito de incrementar la confiabilidad y la eficacia del suministro eléctrico. (anónimo A, 2015).

En la gestión de una red eléctrica, la planificación y coordinación de maniobras eléctricas en los centros de control de red son ventajosas para la recuperación de la carga esencial, lo que aumenta la fiabilidad de la red eléctrica. No obstante, es importante destacar que la configuración y operación de este tipo de sistemas eléctricos demandan un nivel avanzado de conocimiento técnico y la utilización de dispositivos de control para garantizar el correcto funcionamiento de los circuitos.

Figura 6.

Configuración de red eléctrica de distribución mixto



Nota: Diagrama unifilar de una red de distribución en configuración de operación Lazo-radial o mixto. Obtenido de anónimo (2014). *Redes de distribución.* (<https://distribucion.webnode.com.co/topologias-de-las-redes-de-distribucion/>), consultado el 19 de agosto de 2023. De dominio público.

7.3.2. Redes aéreas de distribución convencionales

Se le conoce como red aérea de “*distribución eléctrica*” (Edison et al., 2015 p. 20). Convencional a toda una infraestructura que está conformada por diversos accesorios eléctricos y estructuras mecánicas que tiene conductores eléctricos

desnudos o que no tienen ningún recubrimiento de material aislante en su contorno como principal medio de circulación de energía eléctrica.

La seguridad en los “*sistemas de distribución eléctrica*” (Edison et al., 2015 p. 20). Utilizando cables sin aislamiento se basa completamente al alto nivel del aislamiento proporcionado por el aire, que previene posibles contactos entre fases o con elementos externos como ramas, aves u objetos. Debido a estos factores, se ha buscado mejorar el cuidado de los conductores de distribución, como la migración de proyectos que emplean cables semiaislados en estas líneas. (Cedillo et al., 2009).

Figura 7.

Red eléctrica de distribución convencional



Nota: Captura de pantalla, red de distribución eléctrica en carretera Ceiba Amelia, Escuintla Guatemala. Google Maps. (2023). Obtenido de (<https://www.google.com/maps/@14.1505872,90.9693092,3a,44y,34.88h,99.18t/data=!3m6!1e1!3m4!1sSGOn-whPx888smX07CYN3Q!2e0!7i13312!8i6656?entry=ttu>), consultado el 19 de agosto de 2023. De dominio público.

Las líneas eléctricas aéreas que emplean conductores sin revestimiento suelen dar lugar a interrupciones en el suministro eléctrico, lo que a su vez minora la fiabilidad del sistema de distribución. Por esta razón, es esencial comprender las razones subyacentes detrás de estas fallas en las líneas desnudas y encontrar soluciones adecuadas para abordar estas causas. (Cedillo et al., 2009).

A continuación, se enumeran algunos de los desafíos que típicamente se experimentan en el sistema tradicional de distribución de electricidad.

- “Distancias de seguridad y derechos de vía” (Cedillo et al., 2009, p.8).
- “Espacios reducidos en circuitos” (Cedillo et al., 2009, p.8).
- “Poda de árboles” (Cedillo et al., 2009, p.8).
- “Accidentes por contacto” (Cedillo et al., 2009, p.8).
- “Índices de confiabilidad” (Cedillo et al., 2009, p.8).
- “Costos de operación por restablecimiento” (Cedillo et al., 2009, p.8).

7.3.2.1. Conductor ACSR

Este tipo de conductor es conocido como (ACSR) por sus siglas en inglés Aluminum conductor Steel reinforced que traducido al español significa Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero. Están compuestos por un núcleo de acero rodeado de uno o varios hilos de aluminio y alma de acero. (Dielco, Inc., 2023).

La combinación de materiales aprovecha las cualidades de cada material, la fortaleza y durabilidad del acero, así como la ligereza y alta capacidad de conducción eléctrica del aluminio. El acero en el núcleo brinda resistencia

mecánica y apoyo en situaciones de tensión, mientras que los hilos de aluminio aseguran una transmisión eficaz de electricidad.

Figura 8.

Conductor ACSR



Nota: La imagen muestra núcleo o alama de acero y apantallamiento de aluminio del cable ACSR. Obtenido de Shandong New Luxing Cable Co., Ltd (2023). *Productos, cable ACSR.* (<https://www.sdxlcable.com/overhead-transmission-conductor/>), consultado el 20 de agosto de 2023. De dominio público.

El ACSR se emplea comúnmente en líneas de transmisión de alta tensión, donde la capacidad de carga y la solidez mecánica son fundamentales. Gracias a su diseño, el ACSR es capaz de transportar grandes cantidades de energía a largas distancias, lo que lo hace adecuado para llevar electricidad desde plantas generadoras hasta subestaciones y, finalmente, a las zonas de consumo.

7.3.2.2. Conductor AAC

Se hace referencia a un tipo de cable conductor eléctrico que está compuesto completamente de aluminio All Aluminum Conductor (AAC) se traduce al español como Conductor Totalmente de Aluminio. Los cables AAC son

empleados en diversas aplicaciones, especialmente en sistemas de distribución eléctrica de diferentes niveles de tensión, ya sea baja, media o alta, donde se demanda una conductividad eléctrica eficiente y una capacidad de transmisión de electricidad significativa. (General Cable, Inc., 2015,). Estos cables son utilizados en líneas de transmisión aéreas y en otros contextos donde la capacidad para resistir la corrosión y lograr una transmisión eléctrica efectiva son características importantes.

Figura 9.

Conductor AAC



Nota: La imagen muestra núcleo o alama de aluminio y apantallamiento de aluminio del cable AAC. Obtenido de Shandong New Luxing Cable Co., Ltd (2023). *Productos, cable ACSR.* (<https://www.sdxlx cable.com/overhead-transmission-conductor/>), consultado el 20 de agosto de 2023. De dominio público.

Al ser de aluminio, los cables AAC son resistentes a la corrosión, lo que es especialmente importante en áreas con condiciones climáticas adversas. El conductor de aluminio AAC se compone de hilos de aluminio puro o de aluminio con una ligera proporción de elementos de aleación para enriquecer sus propiedades mecánicas y eléctricas. No incluye ningún componente que no sea aluminio en su estructura.

7.3.2.3. Conductor AAAC

Es un conductor eléctrico fabricado completamente con alambres de aleación de aluminio. AAAC significa Conductor de Aleación de Aluminio para Todos los Usos por sus siglas en inglés All Aluminum Alloy Conductor en inglés. Los conductores AAAC se utilizan principalmente en líneas aéreas de transmisión y distribución de energía eléctrica. (Prysmian Group, Inc, s.f.).

(Prysmian Group, Inc, s.f.). Indica que los cables AAAC son empleados como conductores desnudos en circuitos aéreos que demandan una resistencia mecánica superior a la ofrecida por los cables AAC y una mayor resistencia a la corrosión que los cables ACSR. Las propiedades de hundimiento y el parentesco entre resistencia y peso del cable conductor AAAC son más favorables en comparación con las de los cables AAC y ACSR.

El AAAC se despliega como un conductor aéreo sin revestimiento en líneas de transmisión y distribución eléctrica, particularmente en los circuitos aéreos que requieren una mayor robustez que la proporcionada por el AAC. Además, el AAAC presenta características de pandeo mejoradas y una relación entre resistencia y peso superior a la del AAC. (Prysmian Group, Inc, s.f.).

Figura 10.
Conductor AAAC



Nota: La imagen muestra núcleo o alama de aluminio y apantallamiento de aluminio del cable AAC. Obtenido de Shandong New Luxing Cable Co., Ltd (2023). *Productos, cable ACSR.* (<https://www.sdxlcable.com/overhead-transmission-conductor/>), consultado el 20 de agosto de 2023. De dominio público.

El conductor de aleación de aluminio AAAC se manufactura empleando aluminio aleado, al cual se le agregan otros elementos como magnesio, silicio, cobre, entre otros. Estas aleaciones aportan mejoras sustanciales a las características mecánicas, térmicas y a la resistencia a la corrosión del conductor. (Prysmian Group, Inc, s.f.).

7.3.3. Estructura y accesorios de una red de distribución eléctrica con conductores convencionales

Una red de distribución eléctrica es un sistema de infraestructura que se encarga de llevar la electricidad desde las subestaciones de transmisión de alta tensión hasta los consumidores finales, como hogares, empresas e industrias. La estructura y los accesorios de una “*red de distribución eléctrica*” (Edison et al.,

2015 p. 27). Pueden variar según la escala y la complejidad de la red, pero aquí se describen los componentes y elementos principales.

7.3.3.1. Aisladores

Los aisladores se utilizan para suspender los conductores de media tensión de las estructuras de soporte, como postes o torres, mientras aíslan eléctricamente el conductor del soporte para evitar cortocircuitos. Los aisladores pueden estar hechos de cerámica, vidrio, porcelana o materiales compuestos. (Valle, 2013).

Figura 11.

Aisladores para instalación de redes eléctricas en media tensión



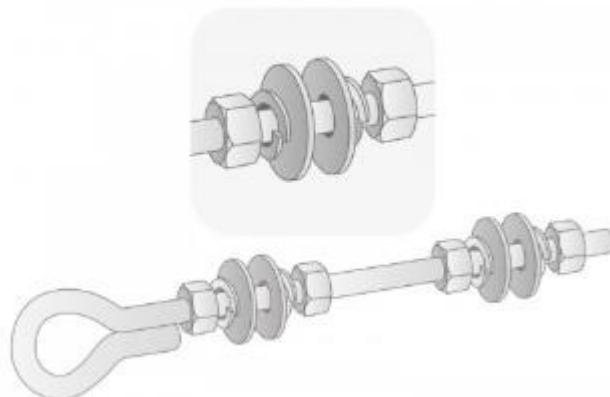
Nota: Aisladores para instalación de conductores convencionales. Obtenido de CORPELIMAS.A.C (2023). *Aisladores eléctricos.* (https://corpelima.com/mpwt/categoría.php?i=2&n=aisladores_electricos), consultado el 22 de agosto de 2023. De dominio público.

7.3.3.2. Abrazaderas y herrajes

Se utilizan para sujetar los conductores de media tensión a las estructuras de soporte, como postes o torres. Estos componentes garantizan que los conductores estén correctamente posicionados y sujetos. (Valle, 2013)

Figura 12.

Herrajes para redes de media tensión



Nota: Fijaciones mecánicas para redes de media tensión con cable convencionales. Obtenido de Galvanorte (2023). *Herrajes eléctricos*. (<https://galvanorte.ec/12-herrajes-electricos>), consultado el 22 de agosto de 2023. De dominio público.

7.3.4. Conductores ecológicos

Los cables de media tensión ecológicos son conductores eléctricos creados para minimizar el impacto medioambiental y fomentar la sostenibilidad en sistemas de distribución eléctrica. Estos cables se diseñan considerando aspectos como eficiencia energética, reducción de emisiones, empleo de

materiales reciclados o sostenibles y optimización de recursos. (Dielco, Inc., 2023).

Figura 13.

Fijaciones mecánicas de conductores con recubrimiento



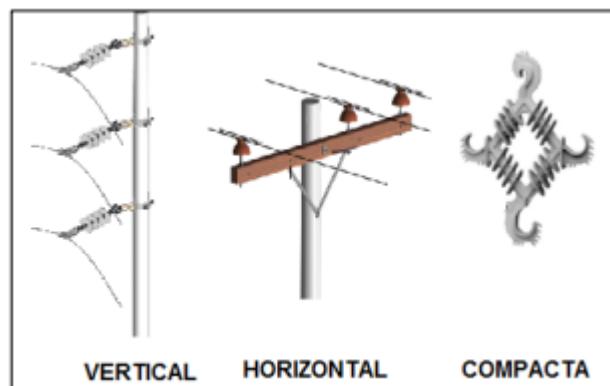
Nota: Estructura de fijación en red de distribución eléctrica con conductores ecológicos. Obtenido de Dielco (2023). *Artículos, red ecológica.* (<https://www.dielco.co/l%C3%ADneas-de-negocio-dielco/transmision-electrica/red-ecol%C3%B3gica-dielco>), consultado el 22 de agosto de 2023. De dominio público.

Normalmente el recubrimiento de los cables ecológicos fabricado de polietileno reticulado conocido también con las siglas XLPE. Gaitán (2012). “Las líneas ecológicas (distribución aislada) tienen como objetivo minimizar las interrupciones de energía eléctrica debido a contactos con árboles o caída de ramas en las líneas”. (Gaitán, 2012, p.23.).

La configuración de redes de distribución aéreas compactas con cables ecológicos pueden estar instaladas en elementos de fijación mecánica de polímeros en posición de triángulo equilátero, horizontal y vertical, por el espacio de separación entre líneas es más recomendable utilizar los elementos de fijación en forma de triángulo equilátero. (Gaitán, 2012). En la figura 12 se muestra los elementos de fijación mecánica como separadores en la red eléctrica.

Figura 14.

Diseño de construcción de líneas aéreas con cables ecológicos



Nota: Tipo de redes eléctricas con cables ecológicos según diferentes posiciones en su estructura. Obtenido de J. Gaitán (2012). *Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8KV con cable AAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire.* (p.24.). Universidad de San Carlos Guatemala.

7.3.4.1. Características técnicas de conductores ecológicos

Aquí se presentan algunas características sobresalientes de estos cables:

Los cables del tipo AAC y AAAC son cables compuestos principalmente de aluminio con capacidad para soportar 15 KV en líneas de distribución eléctrica de estructura aérea. (Gaitán, 2012).

El recubrimiento del conductor es una capa de material semiconductor que se coloca sobre el conductor eléctrico para prevenir un aumento excesivo en el gradiente eléctrico en áreas donde el conductor tiene una forma irregular y evitar posibles espacios vacíos entre el conductor y el material aislante circundante. “Para que esta capa sea eficaz, debe adherirse perfectamente al aislamiento y mantener un contacto cercano con él en todas las condiciones de funcionamiento. Además, debe cumplir con los estándares definidos en la Norma ICEA S 66-524 / S 68-516.” (Gaitán, 2012, p.25.).

Estos cables generalmente incorporan aislantes que emiten bajos niveles de gases al exponerse al calor, reduciendo así la liberación de gases climáticos en situaciones anormales o en caso de incendio. Los cables ecológicos pueden incorporar características que disminuyen la resistencia eléctrica y, por consiguiente, las pérdidas de energía durante la transmisión. Esto contribuye a optimizar la eficiencia de la red eléctrica. (Cedillo et al., 2009).

Algunos cables ecológicos pueden estar confeccionados a partir de materiales reciclados, como aluminio reciclado, disminuyendo la demanda de recursos naturales. Asimismo, la inclusión de materiales sostenibles en su producción es un punto relevante.

Algunos cables ecológicos se diseñan con recubrimientos especiales que mejoran su resistencia a la corrosión, extendiendo su vida útil y reduciendo la exigencia de mantenimiento. (Cedillo et al., 2009).

Tabla 1.*Especificaciones técnicas de diseño para conductor ecológico tipo AAC*

Sección nominal	Formación	Diámetro aproximado		Masa aproximada	Resistencia óhmica		Corriente admisible	
		Conductor	Cable		20°C DC	80°C AC	V=0	V=0.6 m/s
mm ²	Nº X mm	mm	mm	kg/km	ohm/km	ohm/km	A	A
16	7 x 1,7	5,1	12,5	138	2,09	2,54	66	97
25	7 x 2,15	6,5	13,9	177	1,31	1,59	87	128
35	7 x 2,52	7,6	10,11	216	0,72	1,158	106	242
50	19 x 1,85	9,3	16,7	275	0,654	0,795	134	194
70	19 x 2,15	10,8	18,2	345	0,484	0,589	161	232
95	19 x 2,52	12,6	20,0	433	0,352	0,428	197	282
120	37 x 2,15	15,1	22,5	527	0,249	0,303	246	348
150	37 x 2,52	15,8	23,2	615	0,227	0,276	261	369
185	37 x 2,52	17,6	25,0	730	0,181	0,221	301	423
240	37 x 2,85	20,0	27,4	904	0,142	0,173	353	492
240	37 x 2,35	20,3	27,7	907	0,138	0,168	359	500

Nota: Características técnicas para un conductor AAC ecológico. Obtenido de J. Gaitán (2012). Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8KV con cable AAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire. (p.26.). Universidad de San Carlos Guatemala.

Tabla 2.*Especificaciones físicas de conductor ecológico tipo AAC*

Tensión (kV)	Calibre AWG/kCM	Área nominal de la sección transversal mm ²	Número de Hilos	Espesor nominal de aislamiento mm	Diámetro exterior mm	Masa total kg/100m	Ampacidad A
15	1/0	53,48	7	3	15,7	26	200
15	3/0	85,01	7	3	19,3	40	270
15	266,8	135,20	19	3	22,7	58	345
15	336,4	170,50	19	3	24,6	70	395

Nota: Características física para un conductor AAC ecológico. Obtenido de J. Gaitán (2012). Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8KV con cable AAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire. (p.26.). Universidad de San Carlos Guatemala.

7.3.4.2. Aplicación de conductores ecológicos

Los cables y conductores eléctricos amigables con el medio ambiente representan una solución novedosa y sostenible ante las crecientes inquietudes medioambientales que surgen en nuestras actividades diarias. Estos conductores han sido específicamente diseñados para minimizar el impacto ambiental en comparación con las opciones tradicionales. A continuación, se mencionan algunas de las áreas clave en las que los conductores eléctricos ecológicos están desempeñando un papel crucial en la preservación del entorno y la promoción de la sostenibilidad en diversos sectores de la sociedad.

- “La principal aplicación del conductor ecológico es para líneas de distribución y de transmisión, especialmente en lugares donde las condiciones atmosféricas pueden producir corrosión” (Gaitán, 2012, p.27).
- “Es el conductor ideal para tramos medios y largos en líneas primarias urbanas” (Gaitán, 2012, p.27).
- “Se utiliza en líneas de subtransmisión cuando la economía de la estructura de soporte es favorable” (Gaitán, 2012, p.27).
- “Parques nacionales” (Gaitán, 2012, p.27).
- “En lugares en donde abundan los árboles con ramas secas” (Gaitán, 2012, p.27).
- “Calles estrechas” (Gaitán, 2012, p.27).
- “Redes eléctricas con más de un circuito” (Gaitán, 2012, p.27).

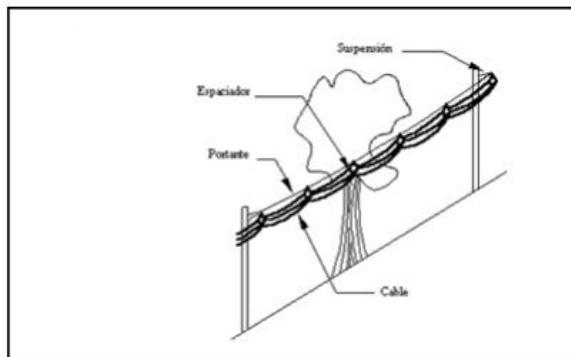
- “Líneas troncales (alimentadores)” (Gaitán, 2012, p.27).
- “Zonas en donde es necesario podar árboles con bastante frecuencia” (Gaitán, 2012, p.28.).
- “Lugares de alta contaminación” (Gaitán, 2012, p.28.).
- “Líneas de distribución cerca del mar” (Gaitán, 2012, p.28.).

7.3.5. Redes aéreas de distribución compactas con cable cubierto

Las redes de distribución compactas se refieren a sistemas de transmisión de energía eléctrica que emplean cables protegidos y asegurados con distanciadores en forma de rombos, sostenidos por un cable de acero galvanizado de alta resistencia. El tipo de cable utilizado en esta estructura es de aluminio compactado, sin aislamiento, pero con protección contra la humedad y una capa semiconductora añadida. Estos cables se encuentran disponibles en fabricaciones comerciales con voltajes nominales desde 46, 35, 25 y 15 kV. (Ayala, 2009).

Figura 15.

Ejemplificación gráfica de un tramo de red eléctrica compacta con cable ecológico



Nota: Tramo de red eléctrica compacta de distribución eléctrica con cables cubiertos o ecológicos.

Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión.* (p.11.).

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

El principal objetivo de revestir los cables es reducir la corriente a niveles extremadamente bajos, en la escala de microamperios o miliamperios, en caso de que se produzcan conexiones eléctricas no deseadas entre fases o entre la fase y el neutro debido a factores como suciedad, la ionización de líquidos como el agua o la interferencia de ramas de árboles. Esto tiene como finalidad proteger los componentes, como recontactadores, y los dispositivos de seguridad, como fusibles y seccionalizadores, previniendo su deterioro y garantizando la calidad y la fiabilidad del suministro eléctrico. (Ayala, 2009).

En subestaciones rurales, el sistema de red compacta se presenta como la opción óptima para extender los circuitos sin recurrir a cables enterrados o postes sobrecargados con redes convencionales sin protección. Asimismo, en áreas donde no es factible instalar cables subterráneos debido a los costos o la topografía del terreno, resulta más apropiado emplear el sistema de red aérea compacta. (Lepe, 2015).

7.3.5.1. Ventajas de las redes aéreas compactas con cable cubierto

Las redes compactas con cable cubierto (ecológico) presentan ciertas ventajas de las cuales se resaltan algunas a continuación:

- Eficiencia en costos operativos: el empleo de redes compactas conlleva una reducción de los gastos operativos al disminuir la necesidad de intervenciones de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. (Ayala, 2009).
- Prioridad en la seguridad: se pone un énfasis especial en la seguridad del personal operativo al utilizar redes compactas. A pesar de su diseño, es esencial seguir estrictos protocolos de seguridad, similares a los de las líneas convencionales sin protección, para proteger la integridad del personal durante las labores de mantenimiento. (Ayala, 2009).
- Mayor fiabilidad: se logra una mejora en la continuidad del servicio al reducir tanto la duración media de interrupciones (DMI) como la frecuencia media de interrupciones (FMI). Esto se traduce en una calidad de servicio superior debido a la notable disminución de las interrupciones no planificadas y los cortes programados. (Ayala, 2009).
- Ventaja medioambiental: la implementación de sistemas de redes compactas conlleva un impacto ambiental reducido, ya que exige menos espacio para su instalación y para las áreas de seguridad correspondientes. Asimismo, se disminuye la necesidad de realizar podas frecuentes y extensas de árboles, y estas redes se integran de manera más estilizada y en sintonía con el entorno natural. (Ayala, 2009).

Figura 16.

Red eléctrica aérea compacta con cable ecológico en área verde



Nota: Red eléctrica aérea compacta con cable ecológico en área verde. Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión.* (p.51.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

- Capacidad de transmisión de energía: este sistema de instalación facilita la colocación de varios circuitos sin necesidad de modificar las alturas de los soportes usuales. Al permitir la instalación de hasta cuatro circuitos por poste, se reduce la inversión inicial y se aumenta la capacidad de transmitir energía eléctrica. (Ayala, 2009).

Figura 17.

Red de cuatro circuitos eléctricos aéreos compactos con cable ecológico



Nota: Estructura de red eléctrica para cuatro circuitos diferentes con cable cubierto o ecológico. Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión.* (p.55.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

- Reducción de incidencias causadas por contacto con ramas: esta configuración permite que las ramas de los árboles, incluso las de menor tamaño, entren en contacto con los conductores sin causar fallas en el sistema eléctrico (Ayala, 2009).
- Reducción en las interrupciones causadas por rayos: gracias a la inclusión del conductor de soporte, se consigue disminuir las interrupciones en el suministro eléctrico que son ocasionadas por fenómenos atmosféricos como las descargas eléctricas, ya que el conductor de soporte actúa como un mecanismo de reducción de impacto para este tipo de eventos (Ayala, 2009).
- Reducción del campo electromagnético: cuando la magnitud de los campos eléctricos y magnéticos es equivalente, se cancelan mutuamente, lo que resulta en un campo electromagnético con magnitud cero. Esto

depende en gran medida de la proximidad de los conductores (Ayala, 2009).

7.3.5.2. Desventajas de las redes aéreas compactas con cable cubierto

Las redes compactas con cable cubierto (ecológico) presentan ciertas desventajas de las cuales se resaltan algunas a continuación:

- “La instalación de los espaciadores en barrancas, ríos o lagos se dificulta por lo cual se hace necesario la utilización de sillas”. (Ayala, 2009, p.59.).
- El proceso de sustituir o cambiar una de las líneas en situaciones necesarias se vuelve más complejo y lleva más tiempo en comparación con las líneas eléctricas convencionales sin protección. Esto se debe a que implica la remoción de cada uno de los elementos de soporte presentes en el tramo de línea que se va a reemplazar, generalmente alrededor de 5 soportes entre cada par de postes. (Ayala, 2009).
- Para su construcción inicial el valor económico es significativamente mayor comparado con una red de distribución con conductores desnudos. (Ayala, 2009).

7.3.5.3. Estructura y accesorios de una red aérea compacta

A diferencia del enfoque convencional, este método presenta diferencias sustanciales en lo que respecta al diseño y los costos en comparación con las redes de distribución aéreas que emplean cables sin protección. Por lo tanto,

representa una nueva estrategia para la distribución de energía eléctrica en áreas con densa vegetación y distancias considerablemente largas entre el punto de consumo y la subestación de distribución (Gaitán, 2012). En este contexto, es posible identificar las siguientes características técnicas y de diseño que definen a una red de cable ecológico compacto:

- “Uso de herrajes de soporte especialmente diseñados”. (Gaitán, 2012, p.35.).
- “Utilización de cable de acero de soporte llamado mensajero”. (Gaitán, 2012, p.35.).
- “Reducción drástica del área que ocupan los conductores ya instalados”. (Gaitán, 2012, p.35.).
- “Posibilidad de instalación en zonas de vegetación densa con longitudes largas”. (Gaitán, 2012, p.35.).
- “Reduce del desrame previo a la instalación”. (Gaitán, 2012, p.35.).
- “Reducción del mantenimiento preventivo”. (Gaitán, 2012, p.35.).

7.3.5.3.1. Espaciador polimérico

Un componente en forma de rombo, fabricado con material polimérico, que se utiliza para sujetar y separar los cables protegidos a lo largo del espacio, garantizando al mismo tiempo el aislamiento eléctrico en la red. (Ayala, 2009).

Figura 18.

Espaciador polímero en red eléctrica de distribución con cables ecológicos



Nota: Espaciador polímero instalado en red compacta con conductores ecológicos en media tensión. Obtenido de J. Gaitán (2012). *Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8KV con cable AAAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire.* (p.52.). Universidad de San Carlos Guatemala.

Los espaciadores polímeros para redes de media tensión de cables con recubrimiento aislante tiene las siguientes características:

- “Tensión de servicio: 8.7/15 kV” (Ayala, 2009, p.14).
- “Resistencia a la intemperie” (Ayala, 2009).
- “Altísima resistencia al impacto” (Ayala, 2009, p.14).
- “Material: Polietileno alta densidad” (Ayala, 2009, p.14).
- “Color gris” (Ayala, 2009, p.14).
- “Diámetro de cables, 9 a 32 mm” (Ayala, 2009, p.14).
- “Línea de fuga, 280 mm” (Ayala, 2009, p.14).
- “Peso, 450 grs” (Ayala, 2009, p.14).
- “Diámetro de rosca, 25 - 35 mm” (Ayala, 2009, p.14).
- “Baja radio interferencia” (Ayala, 2009, p.14).

La utilización de un distanciador en las redes compactas ecológicas tiene además un efecto positivo en la reducción de la pérdida de energía a lo largo del cableado eléctrico, dado que reduce la separación entre las fases de 3 pies a 18 cm. Esta disminución en la distancia entre las fases conduce a una reducción en la resistencia eléctrica de la línea y, en consecuencia, en su impedancia (Gaitán, 2012).

7.3.5.3.2. Aislador tipo pin de perno fijo para 15kv

Están compuestos de polietileno de alta densidad, pesan aproximadamente 2 libras, tienen un color gris, presentan una resistencia significativa a las tensiones mecánicas y, en términos de su diseño y construcción, son prácticamente idénticos a los espaciadores. Además, muestran una notable resistencia contra impactos y actos de vandalismo con armas de fuego. Los fabricantes diseñan este tipo de aisladores para estar en las condiciones más críticas, se ha verificado que incluso si son perforados por impactos de armas de fuego, estos aisladores continúan funcionando sin problemas. (Gaitán, 2012).

Gracias a su diseño y forma, estos componentes son capaces de limpiarse automáticamente por la lluvia, y, además, muestran un rendimiento sobresaliente en entornos contaminados debido a su extensa superficie de aislamiento. (Gaitán, 2012).

A continuación mencionan algunas especificaciones técnicas del aislador tipo pin:

- “Tensión de servicio: 8,7/15 kV” (Ayala, 2009, p.14).

- “Resistencia al esfuerzo e intemperie” (Gaitán, 2012, p.14).
- “Altísima resistencia al impacto” (Ayala, 2009, p.15).
- “Construido de polietileno de alta densidad” (Ayala, 2009, p.15).
- “Diámetro máximo de cables a apoyar 32 mm” (Ayala, 2009, p.15).
- “Línea de fuga 415 mm” (Ayala, 2009, p.15).
- “Peso 534 gramos” (Ayala, 2009, p.15).
- “Diámetro de rosca: 25-35 mm” (Ayala, 2009, p.15).
- “Escaso radio de interferencia” (Ayala, 2009, p.15).

Figura 19.

Aislador tipo perno fijo



Nota: fotografía de aislador tipo perno fijo. Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión.* (p.14.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Los aisladores de polietileno evitan la ionización de los fluidos alrededor de conductores eléctricos, es una característica que evade esa reacción conocida como efecto corona, Gaitán (2012) lo describe como “El efecto corona es una manifestación de pérdidas que involucra al campo eléctrico en la superficie de los conductores cuando se excede a la rigidez dieléctrica del aire”. (p.44).

7.3.5.3.3. Anillo de silicona

Los conductores eléctricos están sobrepuertos en los aisladores fijos cuya finalidad es evitar el contacto del conductor eléctrico con la estructura y aislarlo ya que cuando un conductor eléctrico está energizado y se encuentra cerca de una estructura metálica en presencia de un campo eléctrico, puede generar un arco eléctrico. Para prevenir este inconveniente, se instala un aislador hecho de material polimérico con el fin de mitigar y aislar dicho arco eléctrico.

En las redes de distribución convencionales se suele hacer una fijación entre el conductor eléctrico con alambre de acero galvanizado o inoxidable ayuda a prevenir la corrosión y garantiza la durabilidad de las conexiones en el sistema eléctrico de media tensión. Para redes eléctricas de conductores cubiertos se utilizan anillos de silicona Ayala (2009) describe un anillo de silicona como “Elemento de material elastomérico (silicona) cuya función es la de fijación de los cables protegidos a los espaciadores o a los aisladores”. (p.12.).

Figura 20.

Amarre de conductor ecológico con anillo de silicona



Nota: Conductor ecológico fijado o amarrado en aislador con anillo de silicona. Obtenido de J. Gaitán (2012). *Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8KV con cable AAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire.* (p.44.). Universidad de San Carlos Guatemala.

Especificaciones técnicas de un anillo de silicona para amarre de conductor ecológico con aislador de capacidad de 13.2kv:

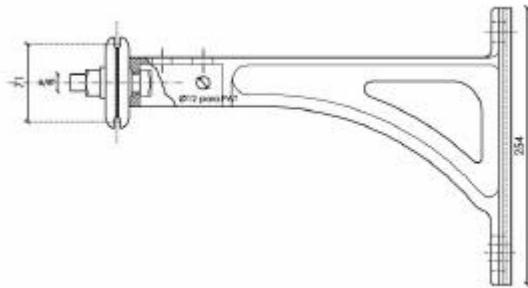
- “Resistencia a la intemperie” (Ayala, 2009, p.13).
- “Material: Goma silicona” (Ayala, 2009, p.13).
- “Color gris” (Ayala, 2009, p.13).
- “Tamaño único para cables de 12 a 32 mm de diámetro” (Ayala, 2009, p.13).
- “Peso 25 grs” (Ayala, 2009, p.13).

7.3.5.3.4. Apoyo tipo L

“El brazo o apoyo tipo L está construido en fundición nodular galvanizada, consta de un cuerpo principal en forma de percha, destinado a soportar el cable de acero portante y a los espaciadores, por medio de un estribo metálico en forma de U” (Lepe, 2015, p.44).

Figura 21.

Estructura de apoyo tipo L



Nota: Esquema de estructura de apoyo tipo L. Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión*. (p.17.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Sus características técnicas son las siguientes:

- “Tensión de servicio: 15-25 KV” (Ayala, 2009, p.18).
- “Material: acero galvanizado” (Ayala, 2009, p.18).
- “Alta resistencia a la corrosión” (Ayala, 2009, p.18).
- “Longitud: 350 mm” (Ayala, 2009, p.18).
- “Peso: 3.50 Kg” (Ayala, 2009, p.18).
- “Carga mecánica nominal en el extremo” (Ayala, 2009, p.18).
- “ $P= 5000 \text{ N}$ ” (Ayala, 2009, p.18).

- “H= 8000 N” (Ayala, 2009, p.18).
- “L= 1000 N” (Ayala, 2009, p.18).

7.3.5.3.5. Brazo anti-balanceo

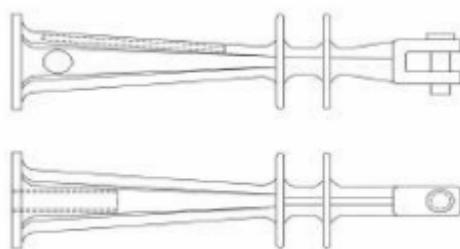
“Accesorio de material polimérico cuya función es la de reducir las vibraciones mecánicas de las redes compactas, además de realizar pequeños ángulos de suspensión” (Lepe, 2015, p.46.).

Principales características:

- “Tensión de servicio 15-25 kv” (Lepe, 2015, p.47).
- “Resistencia a la intemperie” (Lepe, 2015, p.47).
- “Resistencia al impulso atmosférico” (Lepe, 2015, p.47).
- “Altísima resistencia al impacto” (Lepe, 2015, p.47).
- “Material: polietileno de alta densidad” (Lepe, 2015, p.47).
- “Color gris” (Lepe, 2015, p.47).
- “Longitud y peso 305 mm 0,260 kg” (Lepe, 2015, p.47).

Figura 22.

Estructura de brazo antibalanceo



Nota: Esquema de estructura de brazo antibalanceo. Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión.* (p.15.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Figura 23.

Instalación de brazo anti-balanceo con espaciador romboidal



Nota: Montaje mecánico de brazos antibalanceo con espaciado en forma de rombo. Obtenido de M. Ayala (2009). *Redes de distribución aéreas compactas en media tensión.* (p.15.). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

7.4. Estabilidad y confiabilidad en la red eléctrica de distribución

La fiabilidad en la entrega de energía eléctrica está estrechamente vinculada al correcto funcionamiento de las redes de distribución, ya que la mayoría de las interrupciones sustanciales en el servicio ocurren en esta fase. Por tanto, es esencial tener en cuenta este aspecto al diseñar una red de distribución de energía de media tensión (Gaitán, 2012).

La incorporación de cables ecológicos en la construcción de estas redes desempeña un papel fundamental en la mejora de la confiabilidad y la continuidad del servicio, especialmente en áreas rurales donde la vegetación tiende a ser más densa que en entornos urbanos. Esto adquiere especial relevancia dado que, al eliminar del análisis de confiabilidad de las líneas de distribución aéreas las interrupciones causadas por el contacto con árboles, se produce una disminución sustancial en las interrupciones permanentes (Gaitán, 2012).

7.5. Regulación de energía eléctrica en Guatemala

La regulación en la distribución de energía eléctrica es un proceso fundamental para asegurar que la generación y distribución de electricidad se realicen de manera eficiente, segura y equitativa. Los organismos reguladores, como la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) en Guatemala, desempeñan un rol vital en este contexto. Estos entes establecen las normativas y directrices que rigen la operación de las empresas de distribución eléctrica, determinan las tarifas eléctricas que los consumidores abonan por el servicio y supervisan la calidad del suministro eléctrico.

El propósito de la regulación en la “distribución de energía eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 20). Es asegurar un servicio confiable, accesible y sostenible para los usuarios finales, así como fomentar el desarrollo económico y social a través de un suministro eléctrico estable y de alta calidad.

7.5.1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

La CNEE es la entidad reguladora encargada de supervisar y regular el sector eléctrico en Guatemala. Entre sus responsabilidades se incluye la emisión de concesiones para la distribución de energía eléctrica, la fijación de tarifas eléctricas y la supervisión de la calidad del servicio. (CNEE, Inc, 2023).

La CNEE concede autorizaciones que establecen condiciones para que las compañías de distribución de energía puedan operar de manera efectiva y segura en diversas zonas del país. También establece las tarifas eléctricas que estas empresas pueden aplicar a los consumidores, teniendo en cuenta los costos asociados a la generación y distribución, así como la equidad entre consumidores y empresas. Este proceso implica una revisión y consulta

detallada. Además, supervisa la calidad del servicio eléctrico para garantizar la continuidad, la estabilidad de la tensión y la calidad de la energía suministrada por las empresas de distribución, en cumplimiento con los estándares previamente establecidos (CNEE, Inc., 2023).

7.5.2. Ente operador del sistema y del mercado eléctrico en Guatemala

Un ente operador de red eléctrica es una entidad o empresa encargada de operar y gestionar una red eléctrica. En Guatemala el ente operador es el administrador del mercado mayorista (AMM) Sánchez (2012) describe “El Administrador del Mercado Mayorista (AMM) es una entidad privada, sin fines de lucro, creada por el artículo 44 de la ley General de Electricidad” (p. 1).

El AMM tiene las siguientes funciones:

- “La coordinación de la operación de centrales generadoras” (artículo 44 ley general de electricidad, 1996, p. 12).
- “Coordinar las interconexiones internacionales” (artículo 44 ley general de electricidad, 1996, p. 12).
- “Coordinación de las líneas de transporte al mínimo costo para el conjunto de operaciones en el mercado mayorista” (artículo 44 ley general de electricidad, 1996, p. 12).
- “Garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el país” (artículo 44 ley general de electricidad, 1996, p. 12).

La misión del Administrador del Mercado Mayorista implica la supervisión de las transacciones entre los involucrados en el Mercado Mayorista de Electricidad, con el propósito de fomentar la competencia en un mercado abierto.

Esto se logra estableciendo reglas transparentes que incentiven la inversión en la infraestructura eléctrica y garantizando la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica en Guatemala (AMM, Inc., 1997).

7.5.3. Normas técnicas del diseño y operación de instalaciones de distribución -NTDOID-

Además de las cuestiones económicas y de calidad, la CNEE emite normativas y regulaciones técnicas que las empresas de distribución eléctrica deben seguir para garantizar la seguridad y la confiabilidad del sistema eléctrico. (CNEE, Inc., 2023).

La norma técnica del diseño y operación de instalaciones de distribución (NTDOID) establece los estándares y requisitos técnicos para el diseño y operación de las instalaciones de distribución eléctrica en el país. Esta norma es fundamental para garantizar la calidad, seguridad y confiabilidad del suministro eléctrico en la red de distribución. (resolución CNEE núm. 47-99).

La NTDOID también incluye disposiciones relacionadas con la protección del medio ambiente, promoviendo prácticas de manejo adecuadas para minimizar el impacto ambiental de las instalaciones de “distribución eléctrica” (Edison et al., 2015 p. 20). Esto es relevante en un contexto de creciente conciencia ambiental y sostenibilidad. (CNEE, Inc., 2003).

Al proporcionar pautas claras respaldadas por fundamentos técnicos, esta normativa contribuye a mejorar la eficacia en el diseño y funcionamiento de las redes eléctricas de distribución. Se centra en una planificación adecuada de la capacidad de la red y en la aplicación de medidas destinadas a minimizar las pérdidas de energía, con el objetivo de garantizar la seguridad tanto de las

instalaciones como del personal. Esto se logra mediante la definición de procedimientos de protección y la promoción de prácticas de mantenimiento preventivo. Además, la norma establece criterios para la calidad de la energía proporcionada a los usuarios finales, asegurando una tensión estable y la reducción de armónicos.

7.5.4. Normas técnicas del servicio de distribución -NTSD-

La Norma Técnica del Servicio de Distribución (NTSD) es un conjunto de regulaciones técnicas que establece los estándares y requisitos técnicos que deben cumplir las empresas de distribución eléctrica en Guatemala. Esta norma es promulgada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (Resolución CNEE No. 09-99).

La NTSD se enfoca principalmente en asegurar que las compañías de distribución eléctrica ofrezcan a los usuarios finales un servicio confiable y seguro. Esta norma establece criterios técnicos relacionados con la excelencia del servicio, la continuidad del suministro eléctrico, la seguridad de las instalaciones eléctricas y otros aspectos esenciales para el funcionamiento efectivo de la red de distribución (CNEE, Inc., 2003).

7.5.5. Indicadores de calidad de servicio eléctrico

Un indicador de calidad de servicio eléctrico es una métrica o medida utilizada para evaluar y cuantificar la calidad del suministro de energía eléctrica que se proporciona a los consumidores. Estos indicadores son esenciales para medir diversos aspectos del servicio eléctrico y determinar si cumple con los estándares y expectativas establecidos por las autoridades reguladoras y las empresas de distribución eléctrica.

En la NTSD se establece estándares relacionados con la continuidad del suministro eléctrico. Esto implica la reducción de las interrupciones no programadas y la rápida restauración del servicio en caso de cortes de energía. Establece estándares técnicos que aseguran la calidad, la confiabilidad y la seguridad del servicio eléctrico que reciben los consumidores en el país. Además, promueve la mejora continua de las prácticas y tecnologías en el sector de distribución eléctrica. (CNEE, Inc., 2003).

La Norma Técnica del Servicio de Distribución establece una serie de indicadores de calidad que las empresas de distribución eléctrica en Guatemala deben monitorear y reportar como parte de su compromiso de brindar un servicio eléctrico confiable y de alta calidad a los consumidores. Estos indicadores de calidad son importantes para evaluar y mejorar la calidad del suministro eléctrico y garantizar la satisfacción de los usuarios. A continuación, se mencionan algunos de los indicadores de calidad más relevantes según la NTSD.

La Norma Técnica del Servicio de Distribución establece una serie de parámetros de calidad que las compañías de distribución eléctrica en Guatemala deben supervisar y comunicar como parte de su responsabilidad de proporcionar un servicio eléctrico confiable y de primera calidad a los consumidores. Estos parámetros de calidad desempeñan un papel fundamental en la evaluación y mejora del suministro eléctrico, asegurando la satisfacción de los usuarios.

7.5.5.1. Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)

La “frecuencia de interrupción por KVA nominal instalado” (Avila, 2007, p. 62). (FMIK) es una métrica que se utiliza para calcular la frecuencia promedio con

la que ocurren interrupciones en el suministro eléctrico en relación con la capacidad instalada en una red de distribución. Se expresa en términos de interrupciones por año por cada KVA (kilovoltio-amperio) de capacidad nominal instalada.

El FMIK proporciona una medida cuantitativa de la confiabilidad de la red eléctrica. Cuanto menor sea el valor del FMIK, menor será la frecuencia de interrupciones en relación con la capacidad instalada, lo que indica un servicio más confiable y una mayor continuidad en el suministro eléctrico. (Agustín, 2005).

El monitoreo y el cálculo del FMIK son herramientas importantes para las empresas de distribución eléctrica, ya que les permiten evaluar el desempeño de su red y tomar medidas para mejorar la calidad del servicio. Esto puede incluir la inversión en equipos más confiables, mantenimiento preventivo y acciones correctivas en áreas con FMIK alto.

7.5.5.2. Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)

El "Tiempo Total de Interrupción por KVA nominal instalado" (Avila, 2007, p. 62). (TTIK) es otro indicador clave de calidad del servicio eléctrico regulado por la NTSD en Guatemala. Se utiliza para evaluar la confiabilidad y la continuidad del suministro eléctrico en una red de distribución.

El TTIK es un indicador que mide la duración total de las interrupciones en el suministro eléctrico en relación con la capacidad nominal instalada en una red de distribución. Se expresa en términos de minutos de interrupción por año por cada KVA (kilovoltio-amperio) de capacidad nominal instalada, cuanto menor sea el valor del TTIK, menor será la duración promedio de las interrupciones, lo que

indica un servicio con una menor pérdida de tiempo para los usuarios finales. (Agustín, 2005).

Un TTIK bajo significa que las interrupciones son menos frecuentes y de menor duración, lo que contribuye a una mayor continuidad en el suministro eléctrico. La CNEE considera eventos de interrupción que puedan ser ajenos a las responsabilidades que tienen las empresas distribuidoras a estos casos la CNEE los cataloga como casos de fuerza mayor ya que la interrupción eléctrica no depende del servicio ofrecida por la empresa distribuidora un ejemplo de caso de fuerza mayor puede ser un choque vehicular en el que uno o varios postes son dañados, la interrupción eléctrica en este caso no es atribuible a la distribuidora. (CNEE, Inc., 2003).

7.5.5.3. Límites de calidad de servicio técnico

Los límites de calidad de servicio técnico eléctrico son estándares y parámetros establecidos para evaluar y mantener la calidad del suministro eléctrico. Estos límites son cruciales para garantizar que los usuarios finales reciban un servicio eléctrico confiable y satisfactorio, y son una parte integral de la regulación y supervisión del sector eléctrico en muchos países. (Agustín, 2005).

En Guatemala, la NTSD establece límites o estándares específicos para el FMIK y TTIK que las empresas de distribución eléctrica deben cumplir. Los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Límites permisibles de indicadores de calidad de interrupción eléctrica en Guatemala

ETAPA DE TRANSICION	FMIK		TTIK	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A DISTRIBUCION	3	4	10	15
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A CAUSAS EXTERNAS A LA DISTRIBUCION		5		20

Nota: Indicadores de calidad de servicio eléctrico tolerables de confiabilidad. Obtenido de Sergio Velásquez (2003). *Normas técnicas del servicio de distribución -NTSD-*. (p.32.). Comisión nacional de energía eléctrica, Guatemala.

Las empresas de distribución eléctrica deben cumplir con estos límites y las autoridades reguladoras como la CNEE, supervisan y evalúan regularmente el cumplimiento de estas normas. (Agustín, 2005).

7.6. Fallas en redes eléctricas de distribución

Las fallas en las redes eléctricas de distribución son eventos no deseados que interrumpen el suministro de energía eléctrica a los usuarios finales. Estas fallas pueden variar en naturaleza y gravedad, y pueden ser causadas por una variedad de factores. (Camacho, 2017).

Los dispositivos de protección tienen la responsabilidad de detectar cuando ocurre un fallo y tomar la decisión adecuada de aislar la parte del sistema que presenta el problema. Para lograr una restauración rápida del sistema y prevenir posibles daños tanto a los consumidores como a la empresa proveedora de energía, es fundamental que se realice una evaluación rápida, precisa y

segura de los eventos que desencadenaron una secuencia específica de alarmas. (Chapman, s.f.).

7.6.1. Tipos de fallas en redes de distribución eléctrica

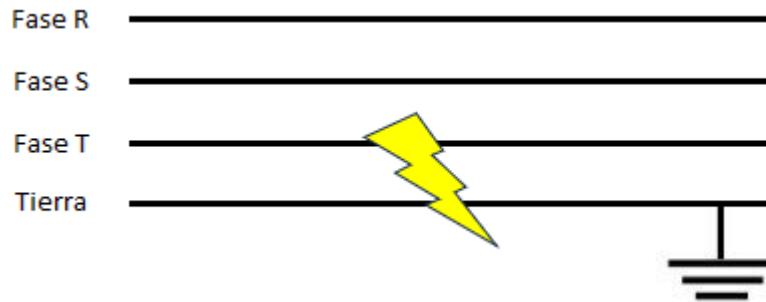
Las redes eléctricas de distribución pueden enfrentar diferentes tipos de problemas. Uno de ellos es el cortocircuito, que sucede cuando se crea un camino de electricidad rápido y peligroso entre los cables. Otro problema común es la sobrecarga, que ocurre cuando se usa más electricidad de la que la red puede manejar. Las fallas en equipos eléctricos, como transformadores o interruptores, también pueden causar problemas. Además, los eventos climáticos, como tormentas o vientos fuertes, pueden dañar los cables y causar cortes de energía. Incluso accidentes de tráfico o actos de vandalismo pueden afectar la red eléctrica.

Las fallas se puedes analizar según su característica y comportamiento físico, por lo general estas fallas son analizadas en los centros de operaciones de red eléctrica a través de la interpretación en los parámetros que se adquieren por medio de telemetría en un sistema de adquisición de datos mejor conocido como SCADA.

- Fallas monofásicas: se da con la presencia de un evento inusual en la operación del sistema eléctrico en la que una de las fases del circuito eléctrico entra en contacto con la tierra o un elemento conductor, lo que puede causar una interrupción en el suministro.

Figura 24.

Líneas eléctricas con falla monofásica

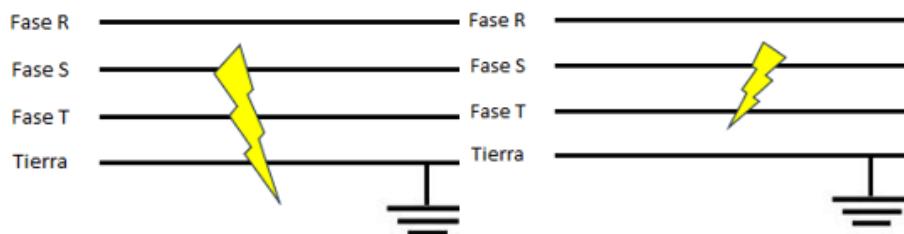


Nota. Esquema de circuito experimentando falla monofásica. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Fallas bifásicas: se refiere a una situación inusual en la que dos de las tres fases de corriente alterna generalmente fases opuestas entran en contacto entre sí o con la tierra. Esta conexión inusual puede dar lugar a condiciones peligrosas en el sistema eléctrico, como corrientes excesivas y daños en equipos. Las fallas bifásicas pueden ser causadas por una variedad de factores, como fallos en los aislantes, cortocircuitos o condiciones de sobrecarga.

Figura 25.

Líneas eléctricas con falla bifásica

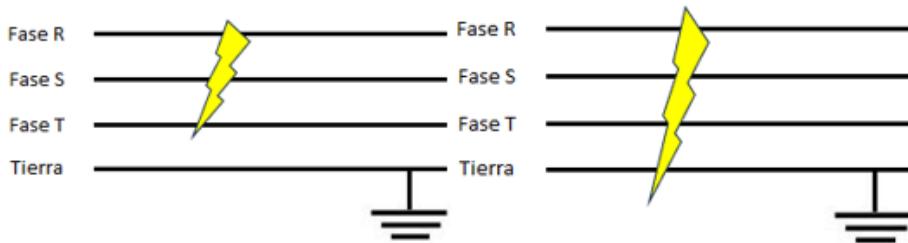


Nota. Esquema de circuito experimentando falla bifásica. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Fallas trifásicas: son situaciones inusuales en las que las tres fases de corriente alterna, que generalmente están equilibradas y desfasadas entre sí, entran en contacto entre sí o con la tierra al mismo tiempo. Estas condiciones pueden resultar en un desequilibrio severo de las corrientes y tensiones eléctricas en el sistema, lo que puede causar daños graves a los equipos eléctricos y representar un riesgo significativo para la seguridad.

Figura 26.

Líneas eléctricas con falla trifásica



Nota. Esquema de circuito experimentando falla trifásica. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word

7.6.1.1. Fallas transitorias

Las fallas transitorias en las redes eléctricas de distribución son interrupciones temporales y de corta duración en el suministro de energía eléctrica. A diferencia de las fallas permanentes, las fallas transitorias no causan daños graves en la infraestructura eléctrica ni requieren una intervención prolongada para su corrección.

Pueden ser causadas por diversas razones, como sobrecargas temporales, arranques de motores eléctricos, variaciones de tensión momentáneas o eventos climáticos breves. En muchos casos, el sistema

eléctrico puede recuperarse automáticamente de una falla transitoria sin necesidad de intervención humana.

7.6.1.1.1. Causas de las fallas transitorias

Estas interrupciones suelen ser el resultado de eventos o condiciones momentáneas, como sobrecargas temporales debido al arranque de motores de alto consumo, cortocircuitos de corta duración causados por contactos momentáneos, fluctuaciones momentáneas en la tensión debido a variaciones en la carga, eventos atmosféricos como rayos cercanos a las líneas eléctricas, condiciones climáticas adversas, maniobras en la red eléctrica, interferencia electromagnética o variaciones en la frecuencia de la red eléctrica.

7.6.1.2. Fallas permanentes

Las fallas permanentes en las redes de distribución eléctrica se refieren a interrupciones en el suministro eléctrico que persisten en el tiempo y requieren intervención activa para su corrección. A diferencia de las fallas transitorias, que son de corta duración y suelen resolverse automáticamente, las fallas permanentes son problemas más graves que afectan el suministro de electricidad durante un período prolongado.

La corrección de una falla permanente requiere la identificación de la causa subyacente y la intervención activa del personal técnico para restablecer el suministro eléctrico. Suelen estar relacionadas con daños graves en la infraestructura eléctrica, como la rotura de postes, cortocircuitos importantes o daños en equipos críticos.

7.6.1.2.1. Causas de las fallas permanentes

Las fallas permanentes en las redes de distribución eléctrica tienen causas diversas y, a menudo, más graves en comparación con las fallas transitorias. Estas interrupciones prolongadas pueden deberse a cortocircuitos graves, que resultan de daños significativos en los conductores eléctricos, transformadores u otros equipos críticos. Pueden ser causadas por fallos en equipos esenciales, como transformadores de potencia o interruptores principales, que requieren reparaciones o reemplazos sustanciales y también por actos deliberados de sabotaje o vandalismo en la infraestructura eléctrica.

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Debido a que la presente se enmarca como una investigación cuantitativa de enfoque descriptivo y mixto, es decir no experimental, no se cuenta con una hipótesis.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SIMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. Sistema eléctrico en Guatemala
- 1.2. Sistema de distribución eléctrica
- 1.3. Redes eléctricas de distribución
 - 1.3.1. Topología de redes de distribución eléctrica
 - 1.3.1.1. Red radial
 - 1.3.1.2. Red en lazo o malla
 - 1.3.1.3. Red lazo-radial o mixto
 - 1.3.2. Redes aéreas de distribución convencionales
 - 1.3.2.1. Conductor ACSR
 - 1.3.2.2. Conductor AAC
 - 1.3.2.3. Conductor AAAC
 - 1.3.3. Estructura y accesorios de una red de distribución eléctrica con conductores convencionales
 - 1.3.3.1. Aisladores
 - 1.3.3.2. Abrazaderas y herrajes

- 1.3.4. Conductores ecológicos
 - 1.3.4.1. Características técnicas de conductores ecológicos
 - 1.3.4.2. Aplicación de conductores ecológicos
- 1.3.5. Redes aéreas de distribución compactas con cable cubierto
 - 1.3.5.1. Ventajas de las redes aéreas compactas con cable cubierto
 - 1.3.5.2. Desventajas de las redes aéreas compactas con cable cubierto
 - 1.3.5.3. Estructura y accesorios de una red aérea compacta
 - 1.3.5.3.1. Espaciador polimérico
 - 1.3.5.3.2. Aislador tipo pin de perno fijo para 15kv
 - 1.3.5.3.3. Anillo de silicona
 - 1.3.5.3.4. Apoyo tipo L
 - 1.3.5.3.5. Brazo anti-balanceo
- 1.4. Estabilidad y confiabilidad en la red eléctrica de distribución
- 1.5. Regulación de energía eléctrica en Guatemala
 - 1.5.1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)
 - 1.5.2. Ente operador del sistema y del mercado eléctrico en Guatemala
 - 1.5.3. Normas técnicas del diseño y operación de instalaciones de distribución -NTDOID-
 - 1.5.4. Normas técnicas del servicio de distribución -NTSD-
 - 1.5.5. Indicadores de calidad de servicio eléctrico
 - 1.5.5.1. Frecuencia media de interrupción por KVA nominal instalado (FMIK)

- 1.5.5.2. Tiempo total de interrupción por KVA nominal instalado (TTIK)
 - 1.5.5.3. Límites de calidad de servicio técnico
- 1.6. Fallas en redes eléctricas de distribución
 - 1.6.1. Tipos de fallas en redes de distribución eléctrica
 - 1.6.1.1. Fallas transitorias
 - 1.6.1.1.1. Causas de las fallas transitorias
 - 1.6.1.2. Fallas permanentes
 - 1.6.1.2.1. Causas de las fallas permanentes

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 2.1. Índice de fallas transitorias en red eléctrica de media tensión con conductores convencionales
 - 2.1.1. Porcentaje de incidencias originadas por condiciones climáticas reportadas ante la CNEE
 - 2.1.2. Identificación de regiones con mayor recurrencia de fallas transitorias
 - 2.1.3. Identificación de zonas boscosas en Guatemala o zona critica por vegetación
 - 2.1.4. Comparación de indicadores de calidad entre zonas no boscosas y zonas boscosas
 - 2.1.5. Costo de energía no suministrada (Q/kWh)
- 2.2. Confiabilidad y resiliencia eléctrica con un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en zona costera occidental de Guatemala

- 2.2.1. Indicadores de calidad de servicio en región costera occidental con red de media tensión convencional de distribuidora A
 - 2.2.2. Indicadores de calidad de servicio en región costera occidental con red aérea con cable cubierto en media tensión de distribuidora B
 - 2.2.3. Comparación de indicadores de calidad de servicio entre distribuidora A y distribuidora B
- 2.3. Análisis de impacto ambiental
 - 2.3.1. Metodología
 - 2.3.2. Componentes ambientales
 - 2.3.3. Evaluación de resultados
 - 2.4. Análisis financiero
 - 2.4.1. Costo de inversión
 - 2.4.2. Comparación entre el costo de inversión y el costo de energía no suministrada
 - 2.4.3. Diferencias económicas entre costos de mantenimiento

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Índice de fallas transitorias en red eléctrica de media tensión con conductores convencionales
- 3.2. Confiabilidad y resiliencia eléctrica con un sistema de red aérea compacta con cable cubierto
- 3.3. Análisis de impacto ambiental
- 3.4. Análisis financiero
- 3.5. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipo de estudio

El presente estudio se enmarca como una investigación cuantitativa de enfoque descriptivo y mixto. Su objetivo principal es evaluar los beneficios y efectos técnicos y económicos de las operaciones de líneas de media tensión en redes de distribución eléctrica, centrándose en la viabilidad de reducir las fallas transitorias al sustituir conductores convencionales por sistemas de red aérea compacta con cables cubiertos, además busca analizar la protección de zonas boscosas en una red eléctrica. En este enfoque, se empleará el método cuantitativo para medir variables claves relacionadas con la calidad y confiabilidad de la red eléctrica, como tiempos de interrupción y frecuencia de interrupción.

Asimismo, se adopta el enfoque descriptivo para documentar y analizar la situación actual de la red, incluyendo la influencia de factores como las condiciones climáticas y la vegetación en las interrupciones del servicio eléctrico. Esta combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos se considera mixta y tiene como objetivo proporcionar una visión integral de los eventos y condiciones que impactan la red eléctrica, sin anticipar resultados o establecer relaciones causales. En última instancia, se busca ofrecer datos sólidos para respaldar la toma de decisiones en la implementación de mejoras en la red eléctrica, considerando tanto su calidad como su impacto ambiental, y evaluando económicamente la propuesta de sustitución de conductores convencionales.

10.2. Variables

Como parte de la información indispensable para el estudio, se encuentran las siguientes variables

Tabla 4.

Variables del estudio

Variable	Definición teórica	Definición operativa
TTIK	Tiempo total, en horas en que cada KVA promedio estuvo fuera de servicio	Se calculará con base al registro reportado de tiempo de inicio y fin de cada interrupción de un circuito (hrs).
FMIK	Cantidad de veces que el KVA promedio de distribución sufrió una interrupción de servicio	Se calculará con base al registro reportado del número total cada interrupción en un circuito (sin unidades).
Potencia en KVA	Potencia total que fluye a través de un circuito	Se obtendrá la potencia de cada circuito a evaluar de la base de datos de la comisión nacional de energía eléctrica (KVA)
CENS	Costo de energía no suministrada	Se Calculará con base a la duración de cada interrupción y el número de clientes afectados (Q/kWh)

Nota: Descripción de las variables de estudio. Elaboración propia, realizado en Excel

10.3. Fases del estudio

A continuación, se presenta cada una de las fases para poder desarrollar el estudio

10.3.1. Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico

Esta fase se enfoca en la revisión de literatura y toda bibliografía pertinente para la explicación sobre conductores de media tensión en sistemas de distribución eléctrica convencionales y conductores con apantallamiento semiaislados, desde conceptos técnicos hasta el entendimiento de la normativa técnica del servicio de distribución (NTSD) establecidas por la comisión nacional de energía eléctrica en Guatemala (CNEE) y su importancia.

10.3.2. Recolección de datos

Dado a que el ente regulador del sector eléctrico en Guatemala es la comisión nacional de energía eléctrica, se le solicitará información sobre los reportes presentados por las distribuidoras de energía eléctrica en Guatemala, al igual que los datos de incidencia generadas por las distribuidoras a partir de interrupciones causada por alguna condición climática, tales como fuertes vientos, caída de ramas en contacto con la red, fuertes lluvias. Estas bases de datos se validarán y revisarán que las mismas estén actualizadas.

Para lograr una interpretación de datos coherente en la investigación la recolección de datos se organizarán por etapas las cuales son la siguiente:

Etapa 1. Obtención de datos registrado en la comisión nacional de energía eléctrica (CNEE).

En esta etapa se analizarán los datos proporcionados por la CNEE para obtener el índice de fallas de la red eléctrica, se pretende estimar en que circuitos se reportaron fallas con causal condiciones climáticas para determinar el porcentaje que tienen los circuitos que presentan estas fallas. Se realizará el siguiente procedimiento:

- Solicitar información registrada de los años 2021, 2022 y 2023 en la CNEE de distribuidoras de energía eléctrica de Guatemala.
- La información se abrirá como base de datos en el programa Excel para analizar los datos de fallas con causal condiciones climáticas y causal corrosión.
- Se filtrará la columna causa con condiciones climáticas.
- Se contabilizará la cantidad y porcentaje de circuitos que presentan fallas con causal condiciones climáticas.
- Se filtrará la columna causa con corrosión.
- Se contabilizará la cantidad y porcentaje de circuitos que presentan fallas con causal corrosión y condiciones climáticas.

Lo descrito anteriormente se analizará registrando la información en las siguientes tablas:

Figura 27.

Falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2021

Causa	Sub causa	Circuito
Condiciones climáticas		

Nota: Circuitos con fallas reportadas del año 2021 con causal condiciones climáticas reportadas ante la CNEE. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 5.*Falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2022*

Causa	Sub causa	Circuito
Condiciones climáticas		

Nota: Circuitos con fallas reportadas del año 2022 con causal condiciones climáticas reportadas ante la CNEE. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 6.*Falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2023*

Causa	Sub causa	Circuito
Condiciones climáticas		

Nota: Circuitos con fallas reportadas del año 2023 con causal condiciones climáticas reportadas ante la CNEE. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 7.*Falla de circuitos con causal corrosión del año 2021*

Causa	Sub causa	Circuito
Corrosión		

Nota: Circuitos con fallas reportadas del año 2021 con causal corrosión reportadas ante la CNEE. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 8.*Falla de circuitos con causal corrosión del año 2022*

Causa	Sub causa	Círculo
Corrosión		

Nota: Circuitos con fallas reportadas del año 2022 con causal corrosión reportadas ante la CNEE.

Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 9.*Falla de circuitos con causal corrosión del año 2023*

Causa	Sub causa	Círculo
Corrosión		

Nota: Circuitos con fallas reportadas del año 2023 con causal corrosión reportadas ante la CNEE.

Elaboración propia, realizado con Excel.

Etapa 2. Metodología para el cálculo de indicadores de calidad de servicio eléctrico

Con los resultados de la etapa 1 se realizará el cálculo de indicadores de calidad, específicamente de los circuitos que presenten un porcentaje mayor de falla donde la sub causa de falla sea vegetación en contacto con la red eléctrica y el de los circuitos cuya sub causa sean ajenas a condiciones climáticas tales como causal corrosión.

La CNEE detalla el cálculo de los indicadores de calidad en las normas técnicas del servicio de distribución (NTSD). A continuación, se describen las ecuaciones para el cálculo de indicadores de calidad de servicio eléctrico.

Ecuación 1.

$$TTIK = \sum j Qkfsj * Tfsj / Qki$$

Donde:

TTIK: Calculo tiempo total de Interrupción por kVA afectado (hrs)

$\sum j$: Sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

Qkfsj: Cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j. (KVA)

Qki: Cantidad de kVA instalados (KVA)

Tfsj: Tiempo, en horas que ha permanecido fuera de servicio los kVA en la interrupción j. (hrs)

Ecuación 2.

$$FMIK = \sum j Qkfsj / Qki$$

Donde:

FMIK: Cálculo de frecuencia media de Interrupción por kVA

$\sum j$: Sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

Qkfsj: Cantidad de KVA fuera de servicio en la interrupción j.

Qki: Cantidad de KVA instalados

La comisión nacional de energía eléctrica estipula que el control de calidad de servicio técnico se llevara a cabo en periodos semestrales continuos según el artículo 53 -NTSD- (CNEE,2003).

Para ello se realizará el siguiente procedimiento:

- Se analizará el circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa anterior.
- Se analizará el circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión de la etapa anterior.
- Según los circuitos a analizar se elaborarán tablas con información necesaria para el cálculo de indicadores de calidad.
- Se ordenarán los datos en tablas con los caracteres siguientes, duración de interrupción de circuito, potencia instalada, potencia afectada.
- Se aplicará las ecuaciones 1 y 2 respectivamente. (ver tabla 13 y 14).
- Los valores de indicadores de calidad se

Tabla 10.

Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) 2021

Circuito	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)
----------	---------------------------------	--------------------------	---------------------------

*Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.*

Tabla 11.

parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) 2022

Circuito	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)

*Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.*

Tabla 12.

parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) 2023

Circuito	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)

*Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.*

Tabla 13.

parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) 2021

Circuito	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)
----------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------------

*Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.*

Tabla 14.

Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) 2022

Circuito	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)
----------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------------

*Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.*

Tabla 15.

Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) 2023

Circuito	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)
----------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.

Al tener todos los parámetros de los circuitos a analizar se aplica en las ecuaciones 1 y 2. Estos valores se muestran en las tablas 13 y 14

Tabla 16.

Indicadores de calidad de la red eléctrica considerando fallas ocasionadas por condiciones climáticas

Condiciones climáticas		
AÑO	FMIK	TTIK
2021		
2022		
2023		

Nota: Comportamiento de los indicadores de calidad en la red eléctrica teniendo fallas ocasionadas por condiciones climáticas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 17.

Indicadores de calidad de la red eléctrica considerando fallas ocasionadas por corrosión

AÑO	Corrosión	
	FMIK	TTIK
2021		
2022		
2023		

Nota: Comportamiento de los indicadores de calidad en la red eléctrica teniendo fallas ocasionadas por corrosión. Elaboración propia, realizado con Excel.

Etapa 3. Metodología para el cálculo de indicadores de calidad de servicio eléctrico y comparación entre distribuidoras

Con el fin de medir la confiabilidad y resiliencia de la red eléctrica entre un sistema de red aérea de media tensión con conductores convencionales y uno compacto con cable cubierto se estimarán los indicadores de calidad de servicio con las ecuaciones 1 y 2 respectivamente pertenecientes a los años 2021, 2022 y 2023 en la región costera occidental con red de media tensión convencional de una distribuidora A y así mismo los indicadores pertenecientes a los mismos años descritos en la región costera occidental con red aérea compacta de una distribuidora B ya cual ya cuenta con un sistema de red aérea compacta con cable cubierto.

El proceso para estimar este índice de calidad es exactamente igual que la etapa anterior. Para ello se describen los siguientes pasos:

- Se recaba la información proporcionada por la CNEE de dos distribuidoras distintas y se analiza en Excel filtrando información observada en la tabla

- Se aplican las ecuaciones 1 y 2
- Se analiza los indicadores de calidad obtenidos y se hace una comparación del índice de calidad entre distribuidoras

Tabla 18.

parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional 2021

Circuitos	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)
-----------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.

Los datos de la tabla 18 muestra los parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de una distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional del año 2021, se replica el mismo análisis para los años 2022 y 2023.

Tabla 19.

Parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto 2021

Circuitos	Duración de interrupción (Tfsj)	potencia instalada (Qki)	potencia afectada (Qkfsj)
-----------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Nota: Parámetros para calcular indicadores de calidad con datos reportados ante la CNEE.
Elaboración propia, realizado con Excel.

Los datos de la tabla 19 muestra los parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de una distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto del año 2021, se replica el mismo análisis para los años 2022 y 2023.

Tabla 20.

Indicadores de calidad de distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional

DISTRIBUIDORA A		
AÑO	FMIK	TTIK
2021		
2022		
2023		

Nota: Histórico de indicadores de calidad de servicio eléctrico. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 21.

Indicadores de calidad de distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto

DISTRIBUIDORA B		
AÑO	FMIK	TTIK
2021		
2022		
2023		

Nota: Histórico de indicadores de calidad de servicio eléctrico. Elaboración propia, realizado con Excel.

Etapa 4. Análisis de impacto ambiental

Se analizarán los posibles impactos que el proyecto podría tener en diferentes aspectos ambientales, como el hábitat natural, la calidad del aire y el agua, la biodiversidad, salud humana. Existen varios métodos para una evaluación de impacto ambiental, tal como la matriz de Leopold la cual organiza

y analiza diferentes aspectos del proyecto, sus efectos en el medio ambiente y las medidas de mitigación.

En esta investigación se utilizará la metodología cualitativa de matriz de Leopold para determinar un valor de importancia para cada impacto ambiental evaluado, calificados en; altos, medios y bajos siguiendo el esquema metodológico.

Etapa 5. Análisis financiero

Este análisis busca hacer la comparación entre el costo total del cambio de conductores de media tensión convencionales por redes con cable cubierto y el costo de energía no suministrada de los años 2021, 2022 y 2023.

Tabla 22.

Parámetros económicos

Variable	2021	2022	2023
CENS			
Costo total del proyecto			

Nota: Parámetros económicos sobre el uso de conductores con recubrimiento. Elaboración propia, realizado con Excel.

Costo de la Energía No Suministrada, [Q / kWh]. El Costo de Energía No Suministrada es diez veces el valor del Cargo Unitario por energía de la Tarifa simple para Usuarios según NTSD (CNEE, 2003)

Compara el costo total del CENS con el costo de implementar mejoras en la infraestructura eléctrica para reducir las interrupciones de falas transitorias determinara la viabilidad económica de las inversiones.

10.3.3. Análisis y resultados

Al contar con los resultados evaluados en los años 2021, 2022 y 2023 se determinará si las interrupciones ocasionadas principalmente por condiciones climáticas han permanecido o ha aumentado a lo largo de los años descritos, de igual forma en base a los resultados estadísticos se determinará el porcentaje del circuito de media tensión que presente una mayor frecuencia de interrupción. Se evaluará el impacto ambiental que se tendría con el uso de conductores y el costo que este represente en su viabilidad económica.

Los resultados que se presentaran son los siguientes:

- Índice de fallas transitorias en una red eléctrica de media tensión con conductores convencionales.
- Confiabilidad y resiliencia eléctrica con un sistema de red aérea compacta con cable cubierto.
- Análisis de impacto ambiental.
- Análisis financiero.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Este análisis se realizará en varias etapas, comenzando con la identificación de las áreas geográficas donde se registran las mayores incidencias de fallas transitorias en el sistema eléctrico. Posteriormente, se medirá el índice de calidad de servicio en estas zonas, en comparación con áreas donde no se presentan o se registran fallas transitorias mínimas. Para llevar a cabo este análisis de manera efectiva, se aplicarán técnicas de recolección y procesamiento de datos avanzadas, que permitirán obtener información precisa y relevante.

Los datos obtenidos de la investigación serán recolectados y analizado en Excel y se presentarán con las siguientes herramientas:

- Tabla falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2021
- Tabla falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2022
- Tabla falla de circuitos con causal condiciones climáticas del año 2023
- Tabla falla de circuitos con causal corrosión del año 2021
- Tabla falla de circuitos con causal corrosión del año 2022
- Tabla falla de circuitos con causal corrosión del año 2023
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) del año 2021
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) del año 2022

- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal condiciones climáticas obtenido de la etapa 1) del año 2023
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) del año 2021
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) del año 2022
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico del circuito (nombre del circuito que presente un mayor porcentaje de falla con causal corrosión obtenido de la etapa 1) del año 2023

Posteriormente se analizarán y presentarán los resultados por medio de las siguientes herramientas estadísticas.

- Tabla indicadores de calidad de la red eléctrica considerando fallas ocasionadas por condiciones climáticas
- Tabla indicadores de calidad de la red eléctrica considerando fallas ocasionadas por corrosión
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional 2021
- Tabla parámetros medibles de calidad de servicio eléctrico de distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto 2021
- Tabla indicadores de calidad de distribuidora utilizando sistema de red aérea convencional
- Tabla indicadores de calidad de distribuidora utilizando sistema de red aérea con cable cubierto
- Tabla parámetros económicos

12. CRONOGRAMA

En el siguiente cuadro se presenta un cronograma actividades que se desean llevar a cabo según los objetivos trazados en el inicio del estudio.

Tabla 23.

Cronograma de actividades

No.	Nombre de tarea	Duración	Enero				Febrero				marzo				Abril				Mayo				junio			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Fase 1 Recolección de la información	20 días																								
2	Recopilación de bibliografías	20 días																								
3	Gestión de solicitud de información a la CNEE y distribuidoras	10 días																								
4	Fase 2 Análisis de la información	15 días																								
5	Tabulación de la información	15 días																								
6	Clasificación de la información	10 días																								
7	Fase 3 Estudios eléctricos	65 días																								
8	Estudios económicos	25 días																								
9	Cálculo de materiales	10 días																								
10	comparación económica entre redes eléctricas según el costo de energía no suministrada	20 días																								
11	Elaboración de propuesta de implementación	20 días																								
12	Fase 4 Análisis de resultados e informe final	55 días																								
13	Depuración final de datos	10 días																								
14	Análisis e interpretación de datos finales	15 días																								
15	Redacción de informe final	30 días																								

Nota: Cronología de desarrollo de actividades de investigación. Elaboración propia, realizado en Excel

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el desarrollo del estudio se prevé algunos gastos los cuales serán costeados con recursos propios del estudiante de maestría. El principal recurso humano en este estudio es destacado por el investigador (estudiante) con apoyo de los asesores de la escuela de posgrado de ingeniería.

Los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación se describen a continuación:

Tabla 24.

Detalle de los costos de recursos para realizar el proyecto de investigación

Recurso	Cantidad	Costo (Q)
Honorarios de asesor	1	Q1,000
Dos resmas de hojas	1	Q100
Elaboración e impresión de trabajo de graduación	1	Q1,200
Energía eléctrica	1	Q200
Teléfono	1	Q99
Internet	1	Q219
Imprevistos	1	Q1,000
Total		Q3,818

Nota: Detalle de los costos de factibilidad del estudio de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Después de evaluar los costos de los recursos necesarios, incluyendo materiales, equipo, tiempo y cualquier otro gasto relacionado, ha demostrado que los costos totales están dentro de los límites de mi capacidad financiera. Esta evaluación sólida y positiva de la viabilidad económica respalda la continuación de este estudio, y estoy comprometido a llevarlo a cabo con el rigor y la dedicación necesarios para alcanzar los objetivos propuestos.

REFERENCIAS

- Agustín, R. (2005). Estudio de los índices de confiabilidad para redes eléctricas de distribución radial 13.8KV. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos Guatemala]. Archivo digital.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0115_ME.pdf
- Ayala Pérez, M. (2009). Redes de distribución aéreas compactas en media tensión. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México [tesis de pregrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México] Archivo digital
<file:///C:/Users/DELL/Documents/Maestria%20USAC/Tercer%20trimestre/Seminario%202/Marco%20teorico/FACULTAD%20DE%20ING.%20ELECTRICA%20REDES%20DE%20DISTRIBUCION%20AEREAS%20COMPACTAS%20EN%20MEDIA%20TENSION%20ayala%20perez.pdf>
- Aucapiña y zhindón. (2023) Análisis técnico y económico para la utilización de conductores semiaislados en redes aéreas de media tensión en los sistemas de distribución. Universidad de Cuenca.
- Baygorrea Q. (2019) Implementación de conductores ecológicos en líneas primarias para la mejora de los indicadores de calidad de suministro en la Amazonia peruana. Universidad nacional del Callao.
- Camacho, R. (2017). Localización de fallas en red de distribución eléctrica por sensado comprimido (compressive sensing). Recuperado de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13585/3/UPS-KT00262.pdf>

Cedillo et al. (2016) Sistema de red aérea compacta con cable cubierto (SRACC), en la distribución de energía eléctrica. Instituto Politécnico Nacional Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. México D.F. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21473/otg....pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chapman, R. (s.f). Detección y diagnóstico de las fallas en los sistemas de subtransmisión y distribución eléctrica basadas en redes de Petri. Recuperado de <http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3534/ChapmanGarcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dielco (2023). ¿Qué es un cable ACSR? Recuperado de <https://www.dielco.co/articulos/qu%C3%A9-es-un-cable-acsr>

Electricnetworks (2015). Red de distribución de energía eléctrica. Recuperado de <http://electricnetworks.blogspot.com/2015/07/red-de-distribucion-de-energia-electrica.html>

Espín y Sánchez. (2009) Utilización de cable protegido para redes aéreas de media tensión. Escuela politécnica nacional Quito. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1594/1/CD-2270.pdf>

General Cable (2015). Cables para transmisión y distribución de energía. Recuperado de <http://www.gomarabajo.com/fichas/CABLE/BAJA->

TENSION/3-CABLE-SUBTERRANEO-CU/GENERAL-CABLE/CABLE-SUBTERRANEO-CU.pdf

Gómez et al. (noviembre 2016) Documento ambiental, línea/cable 66kV el tablero Santa Águeda Provincia de las palmas de gran Canaria Red eléctrica de España. EUROCONTROL. Recuperado de https://www.ree.es/sites/default/files/04_SOSTENIBILIDAD/Documentos/ramitacion_ambiental/DA/DA_66-kVEI-TableroSta-Agueda.pdf

INCABLE (2023). Cables de aluminio desnudo AAAC. Recuperado de <https://incable.com/producto?id=3>

Juárez, J (1995). Sistemas de distribución de energía eléctrica. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48392416.pdf>

Lepe, L. (2015). Diseño de investigación de la factibilidad técnica y económica para la introducción de una red eléctrica de distribución compacta en el parque ecológico. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0902_EA.pdf

Machacado y Cruz (2019) Análisis comparativo de las redes compactas frente al sistema convencional. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga. Recuperado de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/3f294bf2-8f16-4461-9e53-30c8ccebc207/content>

Ministerio de Energía y Minas (2017). Subsector eléctrico en Guatemala. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/Subsector-E%C3%A9ctrico-en-Guatemala.pdf>

Narvaez y Prado (2012) Diseño de redes de distribución eléctrica de media y baja tensión para la normalización del barrio el piñoncito de campo de la cruz. Universidad de la costa Cuc. Barranquilla. Recuperado de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/632/1140826625%20-%2072298776.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pichardo (2018) Diseño de apoyo para línea eléctrica aérea compacta con doble tensión 800KV/400KV. Universidad de Sevilla. Recuperado de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproj/91744/fichero/TFG-1744-PICHARDO.pdf>

Ramírez, S. (s.f). Redes de distribución de energía. Recuperado de <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>

Resolución CNEE 47-99 (27 de octubre de 1999). Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución -NTDOI-. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/05%20NTDOI.pdf>

Resolución CNEE No. 09-99 (7 de abril de 1999). Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Normas técnicas del servicio de distribución -NTSD-. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/05%20NTDOI.pdf>

Sistema de distribución (s.f) Recuperado de
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/784/A4%20SISTEMAS%20DE%20DISTRIBUCION.pdf?sequence=4>

Trasportes de energía (2014). Redes de distribución. Recuperado de
<https://distribucion.webnode.com.co/topologias-de-las-redes-de-distribucion/>

Gaitán, J. (2012). Análisis técnico de extensiones de línea de media tensión en 13.8KV con cable AAC ecológico y comparación económica con líneas construidas con cable ACSR aisladas en aire. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos Guatemala]. Archivo digital.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0796_EA.pdf

Sánchez, L. (2012). Implementación del curso de mercado eléctrico guatemalteco en el pensum de estudio del estudiante de la carrera de ingeniería eléctrica de la facultad de ingeniería. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0790_EA.pdf

Valle, J. (2013). Análisis de la confiabilidad en líneas de distribución con líneas compactas de conductor protegido respecto a una línea convencional. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0830_EA.pdf

ANEXOS

**HÉCTOR HUGO TZOC
MENCHÚ**

**Ingeniero Electricista/Máster en Negocios Energéticos/ Máster en
Administración de Empresas**

 6 Avenida 4-91 Zana
21, Colonia Guajitos,
Guatemala, 01021

 (502) 3008-2921
(502) 2479-2154

 hectorhtm2019@gmail.com



HABILIDADES

- Comunicativas
- Trabajo en Equipo
- Capacidad de Adaptación
- Resolución de Problemas
- Liderazgo
- Innovación
- Toma de decisiones

EDUCACIÓN

- Maestría en Negocios Energéticos/Universidad Galileo/2019. Graduado
- Maestría en Administración de Empresas (MBA)/ Universidad Mesoamericana/ 2016. Pensum Cerrado
- Ingeniería Eléctrica/Universidad de San Carlos de Guatemala/2011/Colegiado Activo 12,031

Ingeniero Electricista, Máster en Negocios Energéticos y Máster en Administración de Empresas, con experiencia en dirección, formulación y ejecución de proyectos de Energía Eléctrica aplicando criterios de óptimamente dimensionado y económicamente adaptado, operación y mantenimiento eficiente, basado en el Plan Estratégico de Inversiones.

Conocimiento y experiencia de gestiones y aprobaciones en las instituciones del Subsector Eléctrico de Guatemala aplicando la regulación vigente.

Experiencia en la conformación y liderazgo de equipos de trabajo orientado a resultados e innovación de procesos y procedimientos basado en metodologías estandarizadas a nivel internacional.

EXPERIENCIA LABORAL

JEFE DE DIVISIÓN DE PLANEACIÓN E INGENIERÍA
Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica -ETCEE-

INDE
nov. 2018 - sep. 2022

Administración y coordinación de 4 departamentos (Subestaciones Eléctricas, Líneas de Transmisión, Gestión de Proyectos y Financiero) para la elaboración de proyectos contenidos en el Plan de Inversiones Estratégicas para la ampliación y mejora de la red de transporte de energía eléctrica en niveles de tensión de 400, 230, 138 y 69 KV desde la idea del proyecto, elaboración de Términos de Referencia, licitación, contratación, ejecución, supervisión, hasta la puesta en operación. Los criterios utilizados para la formulación de los proyectos fueron de seguridad operativa y mantenimiento, así como red eficiente y económicamente adaptada.

Elaboración y Presentación de Planes de Inversión al Consejo Directivo del INDE para su aprobación.

Relacionamiento con la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Administrador del Mercado Mayorista -AMM-, Ministerio de Energía y Minas -MEM-, SEGEPLAN, MARN, CONAP, CRIE y EOR para la aprobación regulatoria de los proyectos.

Ejecución de todos los proyectos del Plan de Inversiones Estratégicas de la Empresa, en coordinación de la Gerencia de ETCEE y Gerencia General y aprobación del Consejo Directivo el cual asciende a Q. 1,200 M en los próximos 10 años.

<p>● Perito en Electricidad Industrial/ Centro Educativo Técnico Laboral KINAL/ 2001</p> <p>OTROS DATOS PERSONALES</p> <p>Fecha de Nacimiento: 26/05/1983</p> <p>CUI: 1766542400101</p> <p>Visa: Estados Unidos Vigente</p> <p>Estado Civil: Soltero</p> <p>Licencia de Conducir: Tipo C Vigente</p> <p>HABILIDADES INFORMÁTICAS</p> <p>Microsoft Office:</p> <ul style="list-style-type: none"> Word Excel Project Visio Power Point Internet Otros: AutoCad PSS/E Leap Google Earth 	<p>Logros Importantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Elaboración y Ejecución de proyectos de L/T y S/E de más de 100 MVA y 120 km de L/T en 230 kV y 69 kV que ascienden a más de Q,350 M que forman parte del Plan de Inversiones Estratégicas. b) Coordinación y aprobación de diseños de más de 15 PCU y 15 Contratos de Conexión a la red de ETCEE en tensiones de 230 y 69 KV de proyectos de agentes y participantes del Mercado Mayorista. c) Fijación de más de Q,100 M en Peaje para ETCEE por la incorporación de nuevos proyectos. d) Gestión, tratamiento y disposición final de PCB en cumplimiento de la normativa ambiental basado en convenios internacionales. e) Ejecución del 85% del presupuesto asignado anualmente. f) Elaboración, Revisión y Contratación de 2 estudios de Peaje 2021-2022, 2023 y 2024 a presentar a la CNEE para el nuevo valor de peaje para ETCEE. g) Inicio de Implementación del estándar PMI para la gestión y dirección de proyectos. <p>INDE feb. 2012 . . nov. 2018</p> <p>JEFE DE UNIDAD DE LICITACIONES (UTR) Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica -ETCEE-</p> <p>Administrador, coordinador y ejecutor del Plan Anual de Compras y Contrataciones de obras, suministros (activos) y servicios para la correcta operación de la red de transporte el cual asciende a Q,150 M anual. La responsabilidad comprende desde la elaboración del Plan Anual de Compras, elaboración de TDR, revisión técnica, financiera y legal de minutos de contratos, verificación y estandarización de las especificaciones técnicas, procesos internos de Reglamento de Compras del INDE, licitación en Guatecompras y Contratación. Las obras, suministros y servicios que se contratan son para la red de transporte en los niveles de tensión de 400, 230, 138 y 69 KV, servicios de todo tipo (mantenimientos eléctricos, civiles y de comunicaciones, entre otros), compra de materiales y equipos, así como obras de ampliación tanto en subestaciones como líneas de transmisión.</p> <p>Logros Importantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Ejecución del Plan de Compras con un 85% de efectividad. b) Programación y adquisición de Suministros Equipo Primario de Alta Tensión (activos) y servicios de forma estandarizada y especificaciones técnicas actualizadas. c) Contratación de más de Q,800 M en Suministros (activos), Servicios y Obras. d) Creación y conformación de la unidad y el equipo de trabajo, así como creación de todos los procedimientos a nivel interno de la Empresa para su funcionamiento, modelo exitoso que se replicó a nivel institucional.
--	--

IDIOMAS	
Ingles: Intermedio	Ministerio de Energía y Minas feb. 2010 - dic. 2011
OTRAS EXPERIENCIAS	
Universidad Galileo 2014-2015	PLANIFICADOR ENERGÉTICO Dirección General de Energía/ Desarrollo Energético Planificador Energético realizando actividades de Inscripción y autorizaciones de Agentes y Participantes del Mercado Mayorista tales como Transportistas, Grandes Usuarios, Generadores y Comercializadores, autorizaciones de uso de Bienes de Dominio Público para proyectos de Generación de Energía Eléctrica y Transmisión. Planificación Indicativa en conjunto con la Comisión Nacional de Energía Eléctrica para el crecimiento de la oferta y demanda de Generación de Energía Eléctrica, así como el Plan de Expansión de la Transmisión.
Escuela Técnica Licenciatura en Supervisión Eléctrica <u>Catedrático del Curso de Automatización Industrial</u>	Logros Importantes: a) Reducción de más de 4 meses el tiempo de gestión de inscripción de agentes y participantes del Mercado Mayorista. b) Inscripción de 23 grandes usuarios definitivos y 10 temporales. c) Control y ordenamiento de más de 850 Grandes Usuarios. d) Establecimiento de nuevos procedimientos internos para autorización de Bienes de Dominio Público.
Universidad de San Carlos de Guatemala 2022-2023	INGENIERO RESIDENTE DE PROYECTOS División Eléctrica Gestión, Dirección y Supervisión de Proyectos Industriales, Comerciales y Edificios coordinando con la Gerencia de División Eléctrica y áreas multidisciplinarias que intervienen en la construcción de estos, en cada una de las etapas de ejecución, tales como obras civiles, metal mecánico, circuitos cerrados de TV, comunicaciones, entre otros. La responsabilidad fue la dirección y gestión de proyectos de construcción de instalaciones eléctricas completas (iluminación, fuerza, A/C, Motores, Sistemas de Control y Fuerza, Elevadores, Transformadores de potencia, Sistemas de iluminación automáticos, redes de tierra, etc.) ajuste del diseño en campo para su adecuada implementación, coordinación de técnicos electricistas y encargados de área para la ejecución de cada proyecto, incluyendo la administración del personal y sus respectivos requerimientos de horas extras, viáticos etc.
Escuela de Estudios de Postgrado Facultad de Ingeniería ● Maestría en Gestión de la Planificación para el Desarrollo <u>Catedrático del Curso de Seguimiento y Evaluación</u> ● Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados <u>Catedrático del Curso de Planificación de Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica</u> <u>Catedrático del Curso de Generación Distribuida y Redes Eléctricas Inteligentes.</u>	Logros Importantes: a) Reducción del 10% de los costos de mano de obra, materiales y tiempo al implementar procedimientos de ejecución y supervisión. b) Reinversión en herramienta y equipo al reutilizar y reciclar materiales de desecho c) Aumento del 5% utilidades por proyecto. d) Construcción Price Smart, Edificio 19-10, Modernización hornos y molinos de Hispacensa, Construcción Oakland Mall, Remodelaciones SIMAN, entre otros.

OTROS CURSOS Y SEMINARIOS

Proyectum nov. 2021	DIRECCIÓN EXITOSA DE PROYECTOS BASADO EN PMI	ITLEARNING NEW HORIZONS sep. 2014	LINEAMIENTOS PARA LA DIRECCION PROFESIONAL DE PROYECTOS BASADOS EN PMBOOK
Cognos may. 2022	INTEGRACIÓN DE EQUIPOS DIRECTIVOS	ITLEARNING NEW HORIZONS sep. 2014	PROJECT MANAGEMENT PROFESSIONAL
iTLearning, Guatemala sep. 2014	PROJECT MANAGEMENT PROFESSIONAL / LINEAMIENTOS PARA LA DIRECCIÓN PROFESIONAL DE PROYECTOS BASADOS EN PMBOK	AMM jul. 2013	INTRODUCCIÓN AL MERCADO ELÉCTRICO
INDE ener. 2019	METODOLOGÍA DE LA GESTIÓN POR RESULTADOS EN EL ÁREA DE ELECTRIFICACIÓN EN GUATEMALA	FLUKE CONTROLES Y PROYECTOS, S.A. feb. 2013	PRINCIPIOS DE TERMOGRAFÍA Y UTILIZACIÓN DE CÁMARA TERMÓGRAFICA
Tech Advantage Business may. 2019	ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS	SEGURIDAD, MEDIO AMBIENTE Y TECNOLOGIA feb. 2013	MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE BAJA FRECUENCIA
ITRALL dic. 2018	TÉCNICAS DE TRABAJO EN EQUIPO	USAC may. 2012	FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR dic. 2016	DESARROLLO DE LIDERAZGO EN LA EMPRESA	JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY feb. 2012	THE AREA FOCUSED TRAINING COURSE IN ENHANCEMENT OF CAPACITY FOR GEOTHERMAL ENERGY DEVELOPMENT INN CENTRAL AND SOUTH AMERICA COUNTRIES (TOKYO JAPON)
AGG ene. 2019-2020	ALINEACIÓN DEL TALENTO HUMANO CON LAS ESTRATEGIAS DE NEGOCIO /INTEGRACIÓN DE EQUIPOS DE ALTO DESEMPEÑO/NEGOCIACIÓN ESTRATÉGICA/COACHING PARA LÍDERES	INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY oct. 2022 - oct. 2022	REGIONAL TRAINING COURSE ON FINANCIAL EVALUATION OF FUTURE ELECTRICITY PROJECTS USING FINPLAN MODEL (VIENNA AUSTRIA)
BAUR ENERGY TRANSMISSION oct. 2018	MONITOREO Y ANÁLISIS DE GASES DISUELtos Y PRUEBAS DE DIAGNOSTICO CON EQUIPOS VLF	CEPAL, NACIONES UNIDAS abr. 2011	TALLER NACIONAL DE PROSPECTIVA ENERGÉTICA Y UTILIZACIÓN DEL MODELO LEAP
UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR oct. 2022	LIDERAZGO ORGANIZACIONAL Y TRABAJO EN EQUIPO	ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA mar. 2010-2011	TARIFACIÓN E INCENTIVOS A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGIAS RENOVABLES/ PROGRAMA DE DESARROLLO EJECUTIVO EN PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA
PANAMERICAN BUSINES SCHOOL jun. 2018	NEGOCIACIONES EFECTIVAS	SIEMENS MÉXICO abr. 2019	PROCESOS, MATERIALES Y CRITERIOS DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA
TECNOLÓGICO DE MONTERREY mar. 2016	PROGRAMA DE COORDINACIÓN EFECTIVA DE PROYECTOS	INTECAP oct. 2017/2019	IDIOMA INGLES NIVEL BASICO/IDIOMA INGLES NIVEL INTERMEDIO
CAMARA DE LA INDUSTRIA DE GUATEMALA jun. 2015	DISEÑO DE PLANES ENFOCADOS A LA CULTURA DE CALIDAD EN EL ÁREA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
SIEMENS nov. 2014	INTRODUCCIÓN AL FLUJO DE POTENCIA Y SIMULACIÓN DINÁMICA (SOFTWARE PSSE)		

REFERENCIAS

LIC. ALEXANDER OVALLE
JEFE DE DIVISIÓN FINANCIERA ETCEE-INDE
📞 4624-9195

ING. MYNOR CHIVICHON
SUBGERENTE DEOCSA, ENERGuate
📞 4360-9385

ING. ROBERTO MARTICORENA
ESTUDIOS TÉCNICOS AMM
📞 5558-3180

ING. JOSE ALFREDO MARROQUIN
INGENIERO DE PLANIFICACIÓN EEGSA
📞 3366-8322

LICDA. ELISA CASTAÑEDA
GERENTE ASESORÍA JURIDICA INDE
📞 5515-3094

ING. GUILLERMO AGUILAR
Ex Subgerente ETCEE-INDE
📞 4111-7336



LA UNIVERSIDAD GALILEO

POR CUANTO

Hector Hugo Tzoc Menchú

HA CUMPLIDO CON LOS REQUISITOS LEGALES Y ACADEMICOS

*del Instituto
de Recursos Energéticos*

POR TANTO

LE EXTIENDE EL PRESENTE TITULO QUE LE ACREDITA COMO

*Magister Scientiae
en Negocio Energético*

cum laude

CON SUS CORRESPONDIENTES PRIVILEGIOS Y OBLIGACIONES

DADO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

EL 14 DE *septiembre* DE 2020



[Signature]
DIRECTOR



RECTOR

[Signature]
SECRETARIO GENERAL

INDE
DEPTO. DE CAPACITACIÓN Y DESARROLLO
REGISTRO BAJO EL Nú. 20460
FICHA Nú. 223-13 FECHA: 19/08/13

DR. JOSE EDUARDO SUGER COFIÑO, Ph.D.
Rector
Universidad Galileo

ING. LOURDES SOCARRAS MERIDA
Director IRE
Universidad Galileo



DR. JORGE RETOCABA
Secretario General
Universidad Galileo

Marina Etela González I
Receptor/Registrador de Títulos
y Diplomas Académicos



Razón de Pago		SAT	
Impuesto Sobre Títulos Universitarios y de Carreras Técnicas a nivel universitario			
RIT	28037441	Fecha de pago	09/02/2022
Nombre	HÉCTOR HUSSO, TECO MEHONI	Nº. del formato SAT-7100	710033004700078
Universidad	Universidad Galileo	Monto	\$190.00
Tipo de Título	Título de Maestría		
Nombre de Título	MAESTRÍAS EN CIENCIAS EN NEGOCIO ENERGÉTICO	Válido al encontrarse adherido al título que corresponda o impreso en el mismo.	

UNIVERSIDAD GALILEO
SECRETARIO GENERAL
QUEDA REGISTRADO
Número: 20200505023
Fecha: 05/10/2020

Rector Encargado



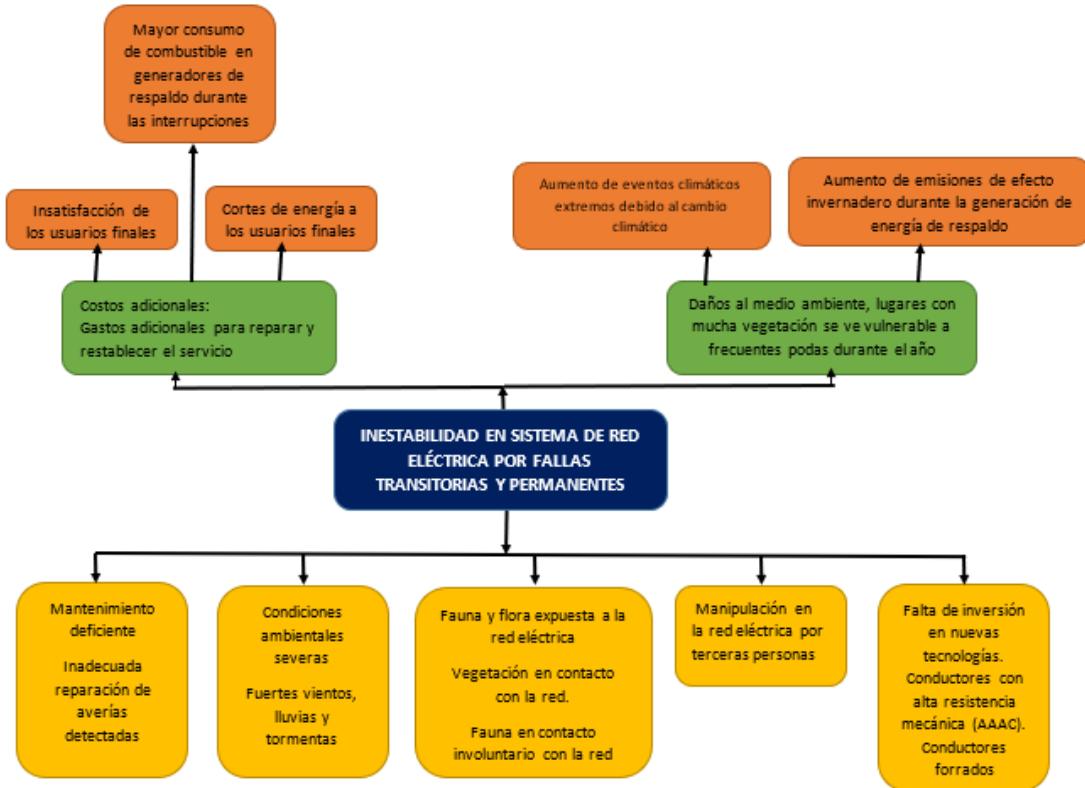
UNIVERSIDAD GALILEO
DEPARTAMENTO DE REGISTRO
QUEDA REGISTRADO
Número: 20200505023
Fecha: 05/10/2020

Rector Encargado



APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problema



Nota: se presenta las causas y efectos del problema central. Elaboración propia, realizado con Word.

Apéndice 2.

Tabla 1

Matriz de coherencia

Problema Principal	Preguntas de Investigación	Objetivo general	Justificación	Plan de acción
<p>Las redes eléctricas de distribución experimentan interrupciones frecuentes debido a fallas transitorias y permanentes causadas por condiciones ambientales y la presencia de vegetación. Estas interrupciones afectan la calidad y continuidad del suministro eléctrico, así como los equipos de los usuarios</p>	<p>Pregunta General ¿Cuál será la confiabilidad y viabilidad económica de la implementación de un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en zonas boscosas para mejorar la estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución, tomando en cuenta los aspectos de fallas transitorias causadas por la vegetación e impacto ambiental?</p> <p>Preguntas Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la frecuencia de las fallas transitorias causadas por la vegetación en contacto con la red eléctrica de media tensión que utiliza conductores convencionales en las redes de distribución eléctrica? ¿Cuáles son los beneficios en términos de confiabilidad que se puede lograr obtener en cuanto a estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución al utilizar un sistema de red área compacta con cable cubierto en áreas boscosas? ¿Cuál es el impacto ambiental de la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas? ¿Cuál es la viabilidad económica y financiera de la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas? 	<p>Objetivo general Evaluar la confiabilidad y viabilidad de implementar un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en zonas boscosas para mejorar la estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución, considerando los aspectos de fallas transitorias por vegetación, impacto ambiental y viabilidad económica</p> <p>Objetivos específicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar el Índice de fallas transitorias por vegetación en contacto con la red eléctrica de media tensión con conductores convencionales en redes de distribución eléctrica. 2. Analizar la confiabilidad de estabilidad y resiliencia de la red eléctrica de distribución al utilizar un sistema de red aérea compacta con cable cubierto en áreas boscosas. 3. Evaluar el impacto ambiental con la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas. 4. Estimar la viabilidad económica y financiera de la sustitución de conductores de media tensión convencionales por sistema de red área compacta con cable cubierto en zonas boscosas. 	<p>Esta investigación se centra en la gestión eficiente de la energía y la protección de las zonas boscosas mediante la reducción de las fallas transitorias en la red eléctrica. Se propone reemplazar los conductores convencionales por conductores de cable cubierto para mejorar la estabilidad del servicio eléctrico. Además, se destaca el impacto ambiental positivo al conservar y restaurar los bosques, contribuyendo a la disminución de los gases de efecto invernadero. Estos beneficios impactan tanto a los usuarios como a la empresa distribuidora de electricidad, dado que se reducen las fallas transitorias y se mejora la calidad del servicio.</p> <p>De acuerdo con los resultados obtenido con los informes reportados ante la CNEE se hará una comparación entre los indicadores de calidad con conductores convencionales y los indicadores de calidad con conductores con recubrimiento</p> <p>Evaluando la calidad del aire, agua y suelo en el área de estudio y las emisiones de gases de efecto invernadero</p> <p>Se va a hacer una proyección benéfico costo comparando el costo de inversión de la implementación de cables con recubrimiento y el costo de pérdidas que se tiene por fallas transitorias</p>	<p>Por medio de informes reportados a la comisión nacional de energía eléctrica (CNEE) determinar el Índice de fallas transitorias por vegetación en contacto con la red, así mismo mediante estos resultados identificar el área con mayores indecencias de fallas transitorias</p>

Nota: se presenta la descripción de la problemática, las preguntas, objetivos, justificación y el plan de acción de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.