



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE CON  
DETECCIÓN DE FALLAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN, COMUNICADO A TRAVÉS DE  
RADIOFRECUENCIA AL CENTRO DE OPERACIÓN DE RED DE LA DISTRIBUIDORA**

**Lester Enrique Salazar Batres**

Asesorado por el Msc. Ing. Roberto José Orozco Molina

Guatemala, abril de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE CON  
DETECCIÓN DE FALLAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN, COMUNICADO A TRAVÉS DE  
RADIOFRECUENCIA AL CENTRO DE OPERACIÓN DE RED DE LA DISTRIBUIDORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LESTER ENRIQUE SALAZAR BATRES**

ASESORADO POR EL MSC. ING. ROBERTO JOSÉ OROZCO MOLINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE CON DETECCIÓN DE FALLAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN, COMUNICADO A TRAVÉS DE RADIOFRECUENCIA AL CENTRO DE OPERACIÓN DE RED DE LA DISTRIBUIDORA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 5 de noviembre de 2021.

**Lester Enrique Salazar Batres**



**EEPFI-PP-0077-2022**  
Guatemala, 12 de enero de 2022

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

**Estimado Ing. Rivera**

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE CON DETECCIÓN DE FALLAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN COMUNICADO A TRAVÉS DE RADIOFRECUENCIA AL CENTRO DE OPERACIÓN DE RED DE LA DISTRIBUIDORA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Modelos de gestión de redes eléctricas**, presentado por el estudiante **Lester Enrique Salazar Batres** carné número **200611541**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion De Mercados Electricos Regulados.

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

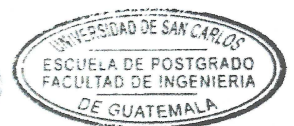
Atentamente,

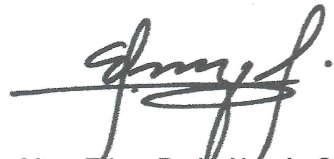
*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. Roberto José Orozco Molina  
Asesor(a)

**Roberto José Orozco Molina**  
Ingeniero Electrónico  
Colegiado No. 10,610

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



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







EEP-EIME-0077-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE CON DETECCIÓN DE FALLAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN COMUNICADO A TRAVES DE RADIOFRECUENCIA AL CENTRO DE OPERACIÓN DE RED DE LA DISTRIBUIDORA** , presentado por el estudiante universitario **Lester Enrique Salazar Batres**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



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

Guatemala, enero de 2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE CON DETECCIÓN DE FALLAS EN MEDIA Y BAJA TENSION, COMUNICADO A TRAVÉS DE RADIOFRECUENCIA AL CENTRO DE OPERACIÓN DE RED DE LA DISTRIBUIDORA**, presentado por: **Lester Enrique Salazar Batres**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaac



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por todas sus bendiciones, por ser mi guía y por darme las fuerzas necesarias para culminar esta etapa de mi vida.
- Mis padres** Oscar Pérez y Rosa Batres de Pérez, por su ejemplo de lucha que siempre me inspiró a seguir adelante y su apoyo incondicional en todo momento.
- Mi prometida** Mariana Mejía, por ser una importante influencia en mi carrera y en mi vida, que ha estado apoyándome incondicionalmente, brindándome su comprensión, cariño y amor.
- Mis hijos** Juan Enrique y Lesli Salazar, por ser la razón por la cual me esfuerzo cada día.
- Mis hermanos** Oscar, Julio, Cindi y Liset Pérez, por el apoyo y cariño que siempre he recibido de parte de ustedes.
- Mis abuelos** Alfredo Batres (q. e. p. d.) y Eleuteria Estrada (q. e. p. d.), porque estoy seguro que me ven desde el cielo y que también celebran.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Casa de estudios superiores que me dio la oportunidad de formar parte de ella.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por los conocimientos adquiridos a través de los años en la carrera de ingeniería eléctrica.
<b>Mi asesor de tesis</b>	Maestro Ing. Roberto José Orozco Molina, por sus consejos apoyo y seguimiento en esta etapa.
<b>Mis amigos</b>	Por brindarme su amistan, apoyo y consejos durante todos estos años.



## ÍNDICE GENERAL

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



7.1.1.	Reseña histórica del mercado eléctrico guatemalteco.....	20
7.1.2.	Modelo de distribución .....	21
7.1.3.	Empresas de distribución de energía eléctrica en Guatemala.....	21
7.1.4.	Índices de calidad de servicio del sistema de distribución para las interrupciones .....	23
7.2.	Elementos de una red de distribución .....	26
7.2.1.	Transformadores de distribución .....	26
7.2.2.	Aisladores.....	29
7.2.3.	Conductores.....	32
7.2.4.	Elementos de protección .....	34
7.2.5.	Otros elementos de una red de distribución .....	35
7.3.	Módulos y protocolos de comunicación.....	37
7.3.1.	Adafruit AirLift – Placa de arranque de coprocesador WiFi ESP32 .....	37
7.3.2.	Adafruit HUZZAH32 – ESP32 Feather Board.....	39
7.3.3.	Carcasa bridada resistente a la intemperie con prensaestopas PG-7 .....	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	43
9.	METODOLOGÍA .....	47
9.1.	Características del estudio .....	47
9.2.	Unidades de análisis .....	48
9.3.	Variables .....	48
9.4.	Fases del estudio .....	50
9.4.1.	Fase 1: exploración de la literatura .....	50
9.4.2.	Fase 2: recolección de información.....	51

9.4.3.	Fase 3: análisis de información .....	51
9.4.4.	Fase 4: diseño de dispositivo de comunicación.....	52
9.4.5.	Fase 5: valoración económica .....	53
9.5.	Resultados esperados.....	53
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	55
10.1.	Muestreo.....	55
10.2.	Técnicas de recolección de datos .....	57
10.3.	Análisis de contenido.....	57
11.	CRONOGRAMA.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	61
13.	REFERENCIAS.....	63
14.	APÉNDICES.....	69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de solución .....	18
2.	Transformadores de distribución tipo poste .....	28
3.	Aisladores tipo poste de composite y de porcelana .....	31
4.	Aisladores tipo suspensión de composite .....	31
5.	Cortacircuito de porcelana con tubo porta fusible .....	35
6.	Adafruit AirLift WiFi ESP32 .....	38
7.	Adafruit HUZZAH32 – ESP32 Feather Board .....	40
8.	Carcasa bridada resistente a la intemperie con prensaestopas PG-7 ...	41
9.	Cronograma de actividades .....	59

### TABLAS

I.	Empresas distribuidoras de Guatemala .....	22
II.	Indicadores de calidad .....	23
III.	Fórmulas de indicadores de calidad.....	24
IV.	Tolerancias para las interrupciones índices globales.....	25
V.	Tolerancias para las interrupciones índices individuales .....	25
VI.	Conductores eléctricos en baja tensión 120/240 V .....	32
VII.	Características principales de conductores eléctricos.....	33
VIII.	Tipos de las variables.....	49
IX.	Descripción de las variables.....	49
X.	Detalle de información que se procesará en la fase 3 .....	52

XI.	Valores k y niveles de confianza.....	56
XII.	Detalle de factibilidad del estudio .....	62

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>I</b>	Corriente
<b>kV</b>	Kilo voltio
<b>kVA</b>	Kilo voltio amperio
<b>kW</b>	Kilo vatio
<b>%</b>	Porcentaje
$\Sigma$	Sumatoria
<b>V</b>	Voltio
<b>VA</b>	Voltio Amperio



## GLOSARIO

<b>ACSR</b>	<i>Aluminium conductor steel reinforced</i>
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
<b>COR</b>	Centro de operación de red
<b>ECOE</b>	Empresa de Comercialización de Energía Eléctrica
<b>EGEE</b>	Empresa de Generación de Energía Eléctrica
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima
<b>ETCEE</b>	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica
<b>Deocsa</b>	Distribuidora de Energía Eléctrica de Occidente, Sociedad Anónima
<b>Deorsa</b>	Distribuidora de Energía Eléctrica de Oriente, Sociedad Anónima
<b>FIU</b>	Frecuencia de Interrupciones por Usuario.
<b>FLIKER</b>	Variación rápida y cíclica de la tensión
<b>FMIK</b>	Frecuencia Media de Interrupción por Kilovatio



<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electrificación
<b>NTDOID</b>	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución
<b>NTSD</b>	Normas Técnicas de Servicio de Distribución
<b>TIU</b>	Tiempo de Interrupción por Usuario
<b>TTIK</b>	Tiempo total de interrupción por kilovatio instalado

## RESUMEN

Esta investigación busca dar respuesta a una de las deficiencias en la distribución de energía eléctrica. Una de las debilidades es un sistema obsoleto de notificación de fallas en la red de distribución del fluido. Además, los problemas de baja o media importancia sobre la cantidad de carga se detectan solo cuando los usuarios llaman por teléfono, o cuando se presentan a reportarlo a las oficinas de atención al cliente.

Con ello surge la necesidad de mejorar esta problemática, para poder enfrentar el reto de disminuir los tiempos de atención de las fallas. Haremos un recorrido por los elementos que intervienen en una red de distribución, para dar a conocer sus características técnicas y las posibles fallas que puedan presentar, así como la manera más eficiente de poder resolverlas. Con ello se tendrá información de elementos como los transformadores de distribución, aisladores y conductores, entre otros, que darán sustento a las mejoras de servicio.

Con lo anterior expuesto, se podrá realizar un análisis del impacto que tienen las fallas en estos elementos en cuanto al tiempo que se llevan para la resolución. Se hará un análisis cuantitativo con la base de datos de la distribuidora acerca de los tiempos de resolución de fallas, y se obtendrá como resultados esperados la disminución de los tiempos, al implementar el diseño que se analiza en la presente investigación.



## 1. INTRODUCCIÓN

El mercado eléctrico guatemalteco, según lo refiere la historia, ha sufrido varios cambios desde sus inicios, especialmente al imitar mercados eléctricos de otros países de la región como Sudamérica y Centroamérica. Uno de los cambios más importantes fue su privatización, de la cual surgieron tres actividades principales como la generación, el transporte y la distribución.

La distribución es de especial interés en el presente trabajo de investigación, actividad que está regida por dos reglamentos emitidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Estas son las normas técnicas del servicio de distribución (NTSD) y las normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución (NTDROID); estas dos normas en conjunto dictan las directrices de distancias de seguridad, características técnicas mínimas de los elementos de las redes de distribución, entre otros.

Este diseño de investigación tiene como objetivo reducir los tiempos de atención de fallas por parte de las distribuidoras de energía eléctrica. Implementan dos dispositivos que se comunican con el centro de operaciones de la distribuidora, para informar en tiempo real de una falla en la red. Actualmente la única manera que tienen las distribuidoras para conocer estas averías es que el cliente realice una llamada telefónica para informar, o que se presente a una oficina comercial a poner una queja por falta de energía eléctrica.

Con esto se pretende mejorar y reducir los tiempos de atención de fallas en el indicador TTIK (tiempo total de interrupción por kilovatio instalado),

medida que beneficiará al usuario final. Haciendo un resumen capitular de la presente investigación, en el primero se dará una información general del problema; su contenido medular son estudios previos relacionados al tema central, con una descripción detallada del problema, así como lo que se busca a través de desarrollar el presente diseño de investigación. En el mismo capítulo se define el marco teórico, el cual contiene todas las bases bibliográficas necesarias de los elementos objeto de estudio, así como los que forman parte importante del diseño que se está desarrollando.

En el segundo capítulo se habla de las características del estudio; detallaremos las variables, así como las fases de las cuales se compone el presente diseño de estudio, continuaremos con las técnicas de análisis a utilizar, así como el proceso de recolección de información.

En el tercer capítulo nos enfocaremos en la presentación de resultados obtenidos durante el desarrollo del estudio. Tenemos como objetivo principal establecer los tiempos reales de la resolución de fallas, pero en especial el tiempo promedio de notificación de una falla al distribuidor.

En el cuarto capítulo lo dedicaremos a desarrollar un dispositivo de comunicación para enlace entre el centro de operación de red, así como el impacto técnico y económico de su implementación en campo.

El quinto capítulo realizaremos la discusión de los resultados obtenidos hasta este punto de la investigación. Por último, pero no menos importante, en el sexto capítulo realizaremos un análisis técnico económico de la implementación del dispositivo desarrollado en el cuarto capítulo anterior, para evaluar su factibilidad.

## 2. ANTECEDENTES

En la presente investigación se pretende lograr una optimización de la notificación de fallas a los administradores de las redes de distribución de energía. El estudio de Palacios y Samper (2016) habla de tecnologías de medición que se comunican con el proveedor de servicio para tener en tiempo real el consumo que lleva. La investigación también menciona:

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía (ESS) y la Respuesta a la Demanda (DR) son tecnologías que pueden proporcionar beneficios económicos al Operador de la Red de Distribución (DNO) y a los clientes residenciales; consideramos un escenario de Redes Inteligentes de Distribución, en el que los productores pueden programar su demanda flexible y almacenar la energía suministrada desde la red de distribución y paneles fotovoltaicos propios, con la ayuda de Sistemas de Gestión de Energía Residencial (HEMS) que maximiza sus beneficios en respuesta a una tarifa eléctrica horaria dinámica de 24 horas. En este trabajo se propone optimizar una tarifa dinámica de precios para las 24 horas del día siguiente, con el fin de maximizar el beneficio social diario del DNO y consumidores (reducir al mínimo los costos de operación del DNO y maximizar la utilidad de los consumidores). Los problemas de optimización de los productores y del DNO se resuelven en forma distribuida utilizando técnicas de optimización matemática y heurística. (Palacios y Samper, 2016, p. 1)

También exploraremos dentro de los antecedentes algunos diseños de redes inteligentes que recopilan y transmiten datos en distintas aplicaciones; por

ejemplo, en domótica, meteorología y sismología, entre otros, lo cual servirá de base para diseñar un sistema de red de distribución inteligente; hacemos mención de un trabajo que:

Propone un sistema para la recolección de datos meteorológicos usando una Red de Sensores Inalámbricos (RSI), capaz de transmitir los datos en tiempo real. El sistema logra automatizar los procesos de obtención de datos de manera continua y a largo plazo, por medio de un módulo de abastecimiento de energía solar que permite autonomía para su funcionamiento. (Cuenca, Jaramillo y Torres, 2017, p. 329)

Esto demuestra que es posible encontrar un sin número de aplicaciones para sistemas de monitoreo a través de radiofrecuencia. Según Cuenca, Jaramillo y Torres (2017), “este sistema fue concebido como una alternativa de bajo costo comparado con estaciones meteorológicas convencionales que posean estas prestaciones y está basado en componentes de hardware y software libre” (p. 329).

Un diseño de mucho interés para la presente investigación es el presentado por Pérez y Valdéz (2013), quienes lo describen así:

Diseño e implementación de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) con comunicación inalámbrica, aplicable al monitoreo remoto de parámetros ambientales con una estación de sensores. El sistema está basado en un microcontrolador PIC y una microcomputadora a los que se les ha incorporado un módulo de transmisión/recepción del tipo XBee, basados en la tecnología ZigBee, que permite la comunicación inalámbrica bidireccional entre ellos. La adquisición, digitalización, procesamiento, transmisión, así como el almacenamiento y la

presentación de la información, se realiza con el empleo de dos programas diseñados específicamente para esta aplicación. (p. 63)

Este diseño resultaría ser muy ambicioso y en el presente estudio se pretende implementar, ya que los datos que se necesitan censar son tan simples como un 1 o un 0; es decir, si el transformador de distribución está o no funcionando. Adicionalmente también tendríamos componentes más complejos que podrían provocar un requerimiento adicional de mantenimiento y revisión; sin embargo, los principios que utilizan muestran un panorama de lo que en la presente investigación se realizará, claramente adaptándolo a nuestras necesidades.

Mendoza, Fuentes, Benítez, y Reina (2020) dicen que:

Las redes de sensores inalámbricos disponen de un campo muy amplio de aplicaciones y aún muchos desafíos pendientes, especialmente aquellos relacionados con la evolución de la electrónica digital, ancho de banda, reducción de costos de implementación y cobertura de red. (p.1)

Otro diseño que usaremos como referencia presenta los mismos principios de comunicación que el diseño de Pérez y Valdés (2013); sin embargo, difiere en cuanto a la aplicación para lo cual es utilizado, ya que el primero es para sensores con aplicaciones de sismología o meteorología:

Este diseño propone una configuración de red inalámbrica multisalto orientado a instalaciones domóticas inteligentes, basados en microcontroladores de 32 bits y módulos de comunicación inalámbrica de bajo costo, que permita tener cobertura completa entre los dispositivos del sistema domótico con una reducida pérdida de datos, mejora en la



capacidad de procesamiento, adaptabilidad y escalabilidad en los nodos.  
(Mendoza, et al. 2020, p.1)

El diseño mencionado anteriormente se enfoca en otra aplicación, específicamente la domótica, la cual, según la Asociación Española de Domótica e Inmótica (CEDOM) (s.f.), se define como “el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema” (párr.1).

Otro estudio interesante es el de Sánchez y De la Llana (2013), llamado Las redes inteligentes en el futuro del sistema eléctrico, no cabe duda que con el avance del tiempo las tecnologías irán mejorando cada día más en su estudio. Proponen desde el consumo energético eficiente, utilización de tecnologías renovables, las mejoras que los distribuidores deben realizar y en su resumen dicen lo siguiente:

La energía eléctrica es un elemento fundamental imprescindible para soportar los retos del futuro relacionados con el medio ambiente y las nuevas tecnologías. La generación distribuida de energías renovables y la mejora en la eficiencia del consumo obligan a la necesidad de desarrollar la inteligencia en las redes de distribución, en media y baja tensión. El estado actual de las tecnologías de información y de telecomunicaciones hace posible que las redes inteligentes sean ya una realidad, aunque el papel del regulador público será clave para determinar el grado de desarrollo de la inteligencia de estas redes.  
(Sánchez y De la Llana, 2013, p. 1)

Los estudios citados anteriormente son los precursores de lo que en el presente trabajo se quiere realizar; sin embargo, en ninguno se ha abarcado utilizarlos para hacer más eficiente la notificación de fallas de una distribuidora de energía eléctrica, que es nuestro caso.



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

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

Desde hace varias décadas y actualmente, la única manera que tienen las distribuidoras y empresas municipales de distribución de energía eléctrica para conocer una falla de pequeña o mediana magnitud es que el cliente realice una llamada telefónica a su distribuidor o que este se presente a una oficina comercial a reportar el problema. Este tradicional sistema de reporte de fallas funciona, pero no es eficiente, ya que provoca pérdidas tanto para el usuario final como para la distribuidora.

#### **3.2. Descripción de problema**

Existe un sistema obsoleto de notificación de fallas en la red de distribución de energía eléctrica. Es importante que con el avance de las tecnologías hay que modernizar los sistemas de detección de fallas del modelo actual (que ha existido desde siempre), ya que con base en el reporte telefónico que el cliente realice sobre la falta de servicio que presta la distribuidora, o que se presente personalmente a realizar el reclamo a alguna sede de la empresa, existe un tiempo en que los usuarios se quedan sin energía eléctrica, el cual no es registrado y por lo tanto existe ineficacia en la solución.

Con este diseño se pretende implementar un sistema de comunicación, que consiste en un dispositivo electrónico que detecte la falta de tensión en líneas de media y baja tensión, y que a la vez se informe al centro de operación de red de la distribuidora. Además, se debe canalizar a través de un software

para indicar el punto exacto de la falla, así como la hora exacta en la que se produjo la falla y en la que se solventó. De esta manera, se examinarán datos más exactos en cuanto al cumplimiento de indicadores TTIK Y FMIK de la distribuidora respecto del cliente, lo cual se encuentra reglamentado en las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD); y como resultado se obtendrá un dispositivo de comunicación que mida corrientes por fase.

El objetivo se logrará a través de un dispositivo instalado en un transformador de distribución sobrecargado, el cual enviará una alarma para tomar acciones a corto y mediano plazo, dando como resultado una sectorización o aumento de capacidad para evitar que el equipo se dañe, con lo cual se reducen costos de mantenimiento para la distribuidora.

En consecuencia, hacemos énfasis que la confiabilidad en los sistemas eléctricos de distribución marca un impacto. Es por ello que la modernización y la sistematización de experiencias hacen más eficientes los mantenimientos, ya que efectuar los mantenimientos de la red de distribución de energía eléctrica implica muchas veces desenergizar a gran parte de los usuarios. Si bien esto es técnicamente imposible de eliminar, se necesita reducirlos al máximo sobre todo en estos tiempos que vivimos, en los que muchas veces un servicio de energía eléctrica confiable y de calidad es vital para el comercio, la industria e inclusive para los servicios que prestan cuidado a la salud.

### **3.3. Formulación del problema**

- Pregunta central

¿Cómo incrementar la eficiencia de las notificaciones de falla en la red del sistema de distribución de energía eléctrica?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Cuáles son los medios que actualmente utilizan las distribuidoras de servicio de energía eléctrica, para determinar cuántos clientes están afectados por una falla en la red?
  - ¿Es posible aplicar nuevas tecnologías para diseñar un dispositivo que mejore el actual proceso de notificación de fallas a las distribuidoras de servicio eléctrico?
  - En cuanto a los valores TTIK (tiempo total de interrupción por kilovatio instalado) y FMIK (frecuencia media de interrupción por kilovatio instalado), ¿cómo se verá reflejada la implementación de un sistema de monitoreo, en tiempo real, de las fallas en la red de distribución de energía eléctrica?

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

El problema objeto de análisis comprende a los clientes de las dieciséis distribuidoras de servicio eléctrico, servidos en red de baja tensión de la república de Guatemala. Para la presente investigación se utilizarán datos correspondientes a una de las distribuidoras del área occidente, específicamente del departamento de Chimaltenango.



## **4. JUSTIFICACION**

El presente trabajo de graduación, de la Maestría de gestión de mercados eléctricos regulados, está apegado a la línea de investigación de Gestión de sistemas de generación, transmisión, comercialización y distribución de energía eléctrica, así como en generación distribuida y redes inteligentes del programa de Maestría en gestión de Mercados Eléctricos Regulados. Esto se debe a que los estudios que se realizarán, en conjunto con los análisis de resultados, van enfocados a hacer más eficiente y confiable uno de los eslabones dentro del mercado eléctrico guatemalteco, que impacta a más clientes y usuarios finales; siendo este la distribución de energía eléctrica.

Dentro del marco regulatorio guatemalteco existen varios parámetros de calidad, así como normativas para la construcción y operación de redes de distribución de energía eléctrica, mismas que fueron emitidas y publicadas hace más de 20 años. Estas normativas marcan parámetros de calidad relativamente aceptables, pero no se toman en cuenta las nuevas tecnologías, así como los avances actuales en materia de telecomunicaciones, las cuales pueden aplicarse a las redes de distribución de energía eléctrica para hacerlas más eficientes y confiables.

En esta investigación se pretende analizar y demostrar que es técnica y económicamente viable la instalación de dispositivos, los cuales monitorearán en tiempo real el comportamiento individual de cada transformador de distribución. Esto permitirá saber si la red se encuentra sobrecargada, desbalanceada o en falla, y evitará que el cliente o usuario final tenga que



efectuar una llamada telefónica o presentar la queja personalmente a una oficina comercial, por los extremos anteriormente expuestos.

Esta información que se obtendrá del monitoreo de estos parámetros indicará cuál es la acción más eficiente a tomar, evitando con esto gastos innecesarios y pérdidas debido a transformadores sobrecargados, ya que no es lo mismo trazar una curva de comportamiento continuo de la carga de un transformador, que evaluar su comportamiento con mediciones instantáneas que hace el técnico al llegar al punto de la falla, que es como actualmente se trabaja.

Derivado de este análisis, se pretende una reducción considerable de la conflictividad social que actualmente afecta a varias regiones del interior de Guatemala, porque se espera tener un servicio más eficiente y confiable. A nivel económico, también se espera un ahorro significativo en cuanto al mantenimiento de la red de distribución, ya que se contará con los puntos exactos de fallas, así como un historial del por qué falla un transformador de distribución.

En cuanto al usuario final, tendrá un servicio de energía eléctrica más eficiente y confiable, porque se espera una reducción de pérdidas en productos perecederos refrigerados, entre otros beneficios que serán detallados en la elaboración del informe de la investigación.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar un sistema eficiente de notificación de fallas en la red de distribución de energía eléctrica.

### **5.2. Específicos**

- Determinar los procedimientos actuales de notificación de fallas y evaluar su efectividad.
- Realizar un diseño funcional para notificaciones de las fallas en la red de distribución de energía eléctrica en tiempo real.
- Medir una proyección de los tiempos de notificación y atención de fallas al implementar este sistema; así mismo efectuar una valoración económica de los resultados.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

La necesidad de tener un diseño con un sistema de distribución inteligente radica en la importancia de reducir los tiempos que duran las fallas en el sistema de distribución de energía eléctrica. Esto se hizo más evidente en los últimos años con la situación actual que aqueja a la humanidad. El tema de la pandemia por covid-19 ha evidenciado lo indispensable que es contar con un servicio de energía eléctrica continuo, confiable y de alta calidad; sin embargo, como ocurre en todo, está sujeto a fallas que hasta cierto punto son inevitables.

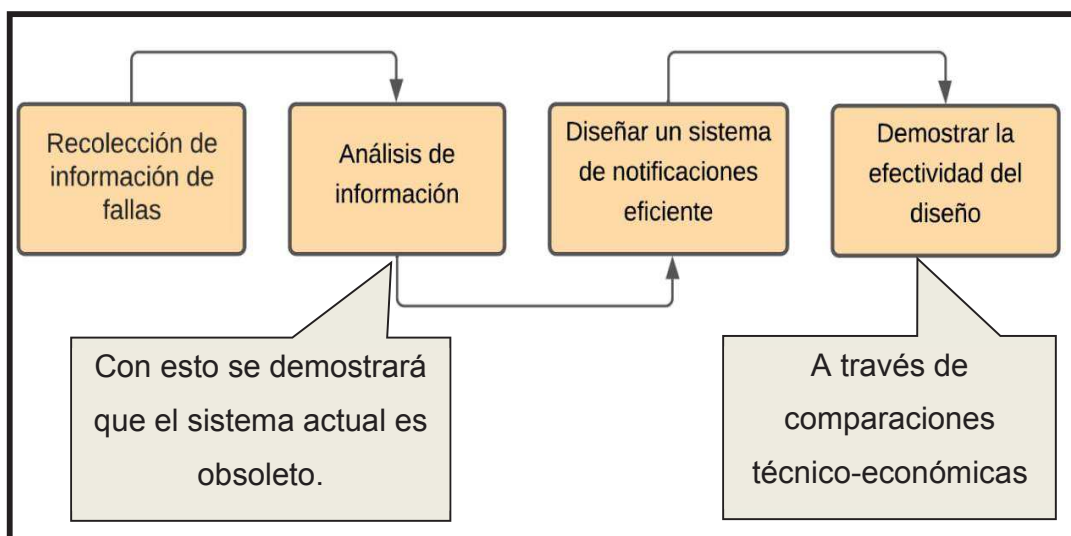
Tal y como se mencionó en el párrafo anterior, el servicio de energía eléctrica es de suma importancia para la humanidad en varios aspectos de nuestro diario vivir; por ejemplo, en la industria, las telecomunicaciones, el comercio, la salud, la educación y actualmente con el nuevo fenómeno que se está dando: el teletrabajo.

Hemos mencionado que la falta de servicio eléctrico produce cuantiosas pérdidas año con año, debido a la escasez de producción en la industria que, aunque se tengan sistemas de respaldo como equipos de electro generación, se sabe a nivel general que es mucho más costosa la operación con este tipo de plantas. En el comercio se producen pérdidas por productos que necesitan refrigeración. Además, actualmente en el sistema de salud hay muchas personas enfermas de covid-19 que requieren asistencia de respiración por medio de aparatos diseñados para tal efecto.

El esquema de solución iniciará con la revisión de la bibliografía necesaria sobre los equipos que componen una red de distribución de energía

eléctrica; así como de los posibles elementos a utilizar, para rediseñar la estrategia que las empresas distribuidoras del servicio de energía eléctrica utilizan en la detención de fallas ocurridas en la red. Esto para poder atenderlas con mayor rapidez y eficacia, logrando con ello reducir al máximo los tiempos que duran los cortes de energía eléctrica en la red de distribución.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.

## **7. MARCO TEÓRICO**

En el presente apartado analizaremos las bases fundamentales de funcionamiento de los elementos que interactúan en un sistema de distribución, así como el funcionamiento administrativo de los sistemas de distribución en Guatemala, la interacción con el marco regulatorio y con los usuarios finales.

### **7.1. Mercado eléctrico guatemalteco**

El mercado eléctrico ha pasado por una serie de cambios, que de alguna manera imitaron lo sucedido en los mercados eléctricos de otros países de la región, especialmente en Sudamérica y Centroamérica. Uno de los aspectos importantes relacionados con estos cambios, como lo menciona Vargas (2015), es la privatización del mercado eléctrico, ya que se carecía de una cobertura razonable, porque su estructura organizativa era burocrática y a su vez no permitía garantizar la seguridad, la calidad y la sostenibilidad de la demanda.

En este caso, su proceso de privatización se da como una salida alternativa al desabastecimiento y a la incapacidad del Estado de poder entregar energía y potencia en condiciones razonables de precio y calidad a los ciudadanos, derivado de la burocracia y procesos administrativos obsoletos. (Vargas, 2015, p. 3)

Después de la privatización en el subsector eléctrico guatemalteco, se establecieron tres actividades principales relacionadas con la energía eléctrica, los cuales son la generación, el transporte y la distribución. En este trabajo de

investigación se enfatizará la labor realizada por la distribución, ya que es lo que compete al mismo.

### **7.1.1. Reseña histórica del mercado eléctrico guatemalteco**

El mercado eléctrico en Guatemala, según el INDE (2021), cuenta con unos 136 años de historia, desde el año 1885, cuando el presidente Justo Rufino Barrios convoca a empresarios nacionales e internacionales para que inviertan en infraestructura y generación de energía eléctrica. Con esta iniciativa, se logró que en el año 1886 comenzara operaciones la primera hidroeléctrica del país, que se ubicó en la finca El Zapote de la ciudad de Guatemala. Cabe mencionar que esto ocurrió cuatro años después de que Thomas Alba Edison instalara la primera empresa de generación de electricidad en la ciudad de Nueva York. En el transcurso de los años se dieron varios hechos históricos de mediana y poca importancia, dentro de ellos, la compraventa, concesiones e introducción de nuevas tecnologías, entre otros.

En el año 1996 se implementan medidas para mejorar el funcionamiento del sector eléctrico en Guatemala, dentro de las cuales está el decreto 93-96 que creó la Ley General de Electricidad, donde se establece las funciones en el sector eléctrico. El INDE creó la empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE), la Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE), la Empresa de Comercialización de Energía Eléctrica (ECOE), las Empresas de Distribución de Energía Eléctrica de Oriente y Occidente y el Ente Corporativo. (INDE, 2021, párr 24)

Según el INDE (2021), en el año de 1999 fueron desincorporadas del INDE las Empresas de Distribución de Energía Eléctrica de Oriente y Occidente y el Ente Corporativo, debido a su poca rentabilidad. Estos hechos históricos

son de suma importancia para comprender el comportamiento actual del mercado eléctrico guatemalteco.

### **7.1.2. Modelo de distribución**

Como se mencionó anteriormente, en Guatemala se reconocen tres actividades principales dentro del mercado eléctrico, las cuales son: generación, transporte y distribución. En el presente estudio se hablará únicamente de la distribución, que está regida por dos normativas que son las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD) y las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDOID). En el país se encuentran registradas en la CNEE (2021) dos empresas principales de distribución, así como empresas eléctricas municipales. Las dos principales empresas son EEGSA, la cual cubre el área metropolitana, comprendida por el departamento de Guatemala, Sacatepéquez y parte de Escuintla; y Energuate, la cual cubre en oriente con DEORSA y occidente, con DEOCSA.

### **7.1.3. Empresas de distribución de energía eléctrica en Guatemala**

En su sitio oficial web, la CNEE (2021) tiene registradas en Guatemala dos empresas de distribución de energía eléctrica con capital completamente privado: Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. y Energuate (DEORSA-DEOCSA), así como dieciséis empresas de distribución municipal con capital mixto, las cuales están descritas en la tabla 1 de este documento. Dichas empresas, tanto privadas como municipales, son las encargadas de la distribución de energía en el territorio guatemalteco, mismas que están regidas como se mencionó anteriormente por las Normas Técnicas del Servicio de Distribución (NTSD) y las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las



Instalaciones de Distribución (NTDOID). La primera normativa se enfoca en los derechos y obligaciones de los usuarios y los prestatarios del servicio de distribución (en lo cual nos enfocaremos en el siguiente sub capítulo), y la segunda, en las NTDOID.

Tiene por objeto establecer las disposiciones, criterios y requerimientos mínimos, para asegurar que las mejoras y expansiones de las instalaciones de distribución de energía eléctrica se diseñen y operen garantizando la seguridad de las personas y bienes y la calidad del servicio. (CNEE, 1999, p. 1).

Es decir, todo lo relacionado con los equipos y elementos que se utilizan para operar, expandir y proteger las instalaciones de distribución de energía, las cuales deben ser cumplidas por todas las empresas listadas anteriormente.

Tabla I. **Empresas distribuidoras de Guatemala**

<b>Distribuidora</b>	<b>Área de cobertura</b>
Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.	Departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y parte de Escuintla.
Energuate Deorsa–Deocsa	Tiene presencia en todo el país, a excepción de Guatemala y Sacatepéquez
Empresa Eléctrica Municipal de Gualán, Zacapa	Gualán, Zacapa
Empresa Eléctrica Municipal de Guastatoya, El Progreso	Guastatoya, El Progreso
Empresa Eléctrica Municipal de Huehuetenango	Huehuetenango, Huehuetenango
Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán, Quiché	Ixcán, Quiché
Empresa Eléctrica Municipal de Jalapa	Jalapa, Jalapa
Empresa Eléctrica Municipal de Joyabaj, Quiché	Joyabaj, Quiché
Empresa Eléctrica de Patulul, Suchitepéquez	Patulul, Suchitepéquez
Empresa Eléctrica Municipal de Puerto Barrios, Izabal	Puerto Barrios, Izabal
Empresa Hidroeléctrica Municipal de Retalhuleu	Retalhuleu, Retalhuleu
Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango	Quetzaltenango, Quetzaltenango
Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos	San Marcos, San Marcos
Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Pinula, Jalapa	San Pedro Pinula, Jalapa

Continuación de tabla I.

Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos	San Pedro Sacatepéquez, San Marcos
Empresa Eléctrica Municipal de Santa Eulalia, Huehuetenango	Santa Eulalia, Huehuetenango
Empresa Eléctrica Municipal de Tacaná, San Marcos	Tacaná, San Marcos
Empresa Eléctrica Municipal de Zacapa	Zacapa, Zacapa

Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.

#### 7.1.4. Índices de calidad de servicio del sistema de distribución para las interrupciones

Dentro de la normativa que regula la distribución de energía en Guatemala se tipifican varios indicadores, que miden la calidad del servicio de energía que cada uno de los clientes recibe en su hogar, negocio o industria, mismos que se encuentran descritos de la siguiente manera:

Tabla II. Indicadores de calidad

Indicador según	Indicador
Calidad del Producto Suministrado por el Distribuidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulación de Tensión,               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Desbalance de Tensión en Servicios Trifásicos,</li> <li>○ Distorsión Armónica, y</li> </ul> </li> <li>• Flicker.</li> </ul>
Incidencia del Usuario en la Calidad del Producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distorsión Armónica,</li> <li>• Flicker,</li> <li>• Factor de Potencia.</li> </ul>
Calidad del Servicio Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupciones.</li> </ul>
Calidad del Servicio Comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad del Servicio Comercial del Distribuidor, y</li> <li>• Calidad de la Atención al Usuario</li> </ul>

Fuente: CNEE (1999). Normas Técnicas del Servicio de Distribucion (NTSD).

Para el presente caso de investigación son de interés especialmente los indicadores que tienen que ver con las interrupciones. Estos indicadores miden la cantidad de veces que un usuario percibe un corte de energía eléctrica, así como el tiempo total que pasa sin servicio de energía eléctrica en un determinado periodo de medición CNEE (1999). Estos indicadores se dividen en índices globales, los cuales son la Frecuencia Media de Interrupción por kVA (FMIK) y Tiempo Total de Interrupción por kVA (TTIK), y los índices individuales, los cuales son la Frecuencia de Interrupciones por Usuario (FIU) y Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU) y están compuestos por las siguientes variables:

Tabla III. **Fórmulas de indicadores de calidad**

Indicador	Fórmula	Descripción	Variables
<b>FMIK</b>	$FMIK = \frac{\sum_j Qkfsj}{Qki}$	Representa la cantidad de veces que el kVA promedio de distribución sufrió una interrupción de servicio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sum_j</math>: Sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre.</li> <li>• Qkfsj: Cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j.</li> <li>• Qki: Cantidad de kVA instalados.</li> </ul>
<b>TTIK</b>	$TTIK = \frac{\sum_j Qkfsj * Tfsj}{Qki}$	Representa el tiempo total, en horas, en que cada kVA promedio estuvo fuera de servicio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sum_j</math>: Sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre.</li> <li>• Qkfsj: Cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j.</li> <li>• Qki: Cantidad de kVA instalados.</li> </ul>
<b>FIU</b>	$FIU = \sum Ij$	Frecuencia de Interrupciones por Usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ij: Número de Interrupción j, para cada Usuario</li> </ul>
<b>TIU</b>	$TIU = \sum Tfsuj$	Tiempo de Interrupción por Usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tfsuj: es el tiempo, en horas, de la interrupción j, para cada Usuario.</li> </ul>

Fuente: CNEE (1999). Normas Técnicas del Servicio de Distribucion (NTSD).

Tabla IV. Tolerancias para las interrupciones índices globales

A PARTIR DEL INICIO DE LA ETAPA DE REGIMEN (Para Usuarios conectados en Baja Tensión)	FMIK		TTIK	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A DISTRIBUCION	2.5	3.5	8	10
INTERRUPCIONES ATRIBUIBLES A CAUSAS EXTERNAS A LA DISTRIBUCION	4		12	

Fuente: CNEE (1999). Normas Técnicas del Servicio de Distribucion (NTSD).

Tabla V. Tolerancias para las interrupciones índices individuales

A PARTIR DEL INICIO DE LA ETAPA DE REGIMEN (Para Usuarios Conectados en Media y Alta Tensión)	FIU		TIU	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
USUARIOS EN BAJA TENSION	-	-	-	-
USUARIOS EN MEDIA y ALTA TENSION	6	8	12	14
A PARTIR DEL MES TRECE DE LA ETAPA DE REGIMEN (Para Todos los Usuarios)	FIU		TIU	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
USUARIOS EN BAJA TENSION	6	8	12	14
USUARIOS EN MEDIA TENSION	4	6	8	10
USUARIOS EN ALTA TENSION	3		6	

Fuente: CNEE (1999). Normas Técnicas del Servicio de Distribucion (NTSD).

Estos cuatro indicadores son los que se tienen como objetivo mejorar con el diseño que se analiza dentro del presente estudio, a través de una mejora de la forma en que se notifican los cortes del servicio a la distribuidora.

## **7.2. Elementos de una red de distribución**

Una red de distribución de energía eléctrica tiene como finalidad hacer accesible a los clientes finales dicho servicio, para lo cual es necesario utilizar diferentes elementos como lo son: transformadores, aisladores y conductores, entre otros, los cuales se analizarán brevemente en la presente sección. Analizaremos desde sus características básicas de construcción y necesidades de mantenimiento, hasta sus características de operación.

### **7.2.1. Transformadores de distribución**

Uno de los elementos de mayor importancia en una red de distribución de energía eléctrica es el transformador de distribución, el cual es descrito por Holguín y Villacob (2017) de la siguiente manera: “El transformador de distribución monofásico es un dispositivo eléctrico que convierte corriente alterna con un nivel de tensión a otro nivel de tensión según la aplicación que lo está requiriendo” (p.18), por lo cual haremos una pequeña reseña de los mismos, como se mencionaba en el párrafo anterior. Los sistemas de distribución de energía eléctrica tienen como fin llevar un nivel de tensión adecuado a los consumidores finales, que para la presente investigación será normalmente:

La tensión nominal primaria que se aplicará en los terminales de los devanados de los transformadores monofásicos, bajo condiciones de régimen estando el cambiador de derivaciones en la toma principal (3),

será de 13 200 V o 34 500 V según el caso. La tensión nominal secundaria de los transformadores monofásicos será de 120/240 voltios en vacío. (Holguín y Villacob, 2017, p. 18).

Otro aspecto importante a tomar en cuenta con respecto a los transformadores de distribución es la frecuencia con la cual operan. En Guatemala utilizamos una frecuencia de 60 Hz; según Fernández (2019), “la frecuencia del sistema de corriente alterna que se genera está normalizada en 50 Hz en Europa y la mayor parte de Asia, África y Oceanía, y 60Hz en la mayor parte de América” (p.14). Así mismo, es importante el análisis de los sistemas existentes de distribución de energía eléctrica, ya que en Guatemala la mayoría de las redes de distribución son aéreas y en esta modalidad el conductor usualmente está desnudo, va soportado a través de aisladores instalados en crucetas, en postes de madera o de concreto. Ramírez (2004) cita que esta red de distribución de energía eléctrica se pone como uno de los elementos principales de una red de distribución de energía eléctrica al transformador de distribución.

Figura 2. Transformadores de distribución tipo poste



Fuente: [Fotografía de Lester Salazar]. (Chimaltenango. 2021). Colección particular. Guatemala.

Los transformadores tipo poste están diseñados para ser montados en estructuras tipo poste, los cuales están compuestos de manera general de un núcleo y bobinas montadas de manera segura en una cuba llena de aceite dieléctrico, “más unos pasan tapas de alta y baja tensión que permiten la conexión de las terminales de las bobinas con la red de media y baja tensión” (Holguín y Villacob, 2017, p.18). Los transformadores tipo poste pueden ser auto protegidos, los cuales son utilizados para alimentar viviendas y pequeños comercios, y dentro de sus principales características están un interruptor termo magnético interno. Además, tienen integrado un pararrayos adecuado al nivel de tensión del primario; estos tienen también la particularidad que pueden ser conectados a red de media tensión monofásica, ya que una de las terminales es

conectada directamente a tierra y a la del aparta rayos. Otra definición para estos transformadores es:

Los transformadores tipo poste son del tipo auto enfriados y casi siempre sumergido en aceite. Están continuamente operando, ya sea que se tome o no corriente de carga de los devanados secundarios; las pérdidas en el hierro corresponderán a ser menores en relación a las pérdidas en el cobre a plena carga de las que serían necesarias en transformadores de potencia. Es decir, estos transformadores son diseñados para que tengan una buena eficiencia, que cubra todo el día y no solo a plena carga. (Correa y Giraldo, 2014, p. 19)

Con esto tendríamos la definición de transformadores; nos faltaría destacar la importancia para esta investigación, la cual radica en que estos dispositivos, en conjunto con uno o varios módulos de comunicación, serán los actores principales en el diseño de nuestros sistemas de distribución inteligente con comunicación. En ese sentido, se estarán censando cada cierto periodo de tiempo parámetros de funcionamiento del mismo, desde si está operando o no, hasta valores de carga por fase para determinar si se encuentra operando dentro de sus valores nominales o no.

### **7.2.2. Aisladores**

Los aisladores son un elemento importante dentro de una red de distribución de energía eléctrica, debido a que una gran parte de los conductores de una red de distribución son conductores desnudos; actualmente se utilizan diferentes clases de materiales para su fabricación, dependiendo de la aplicación, ambiente de operación y nivel de tensión, entre otros. Según Palacios (2019), los aisladores en líneas de distribución sirven para sujetar los



conductores sólidamente a las estructuras de sujeción (cruceos y postes), de manera que estos no se muevan en sentido longitudinal o transversal. Además, los aisladores tienen como función evitar la derivación de corriente de línea a tierra.

Como se mencionó en el párrafo anterior, los aisladores son fabricados de distintos materiales; dentro de ellos se encuentran aisladores de vidrio, los cuales solo se mencionarán mas no se describirán, ya que estos están en desuso actualmente. También hay aisladores de porcelana, los cuales están fabricados de materiales cerámicos; este tipo de aisladores son utilizados normalmente para líneas de media y baja tensión. Están también los aisladores poliméricos, los cuales Zambrano (2014) describe así:

Los aisladores poliméricos presentan buenas propiedades como aislante eléctrico y mejor comportamiento en zonas de contaminación respecto a los aisladores cerámicos al comienzo de su vida útil, entre otras características, pero por su naturaleza orgánica y la exposición al ambiente de servicio, el material envejece con el tiempo, perdiendo sus propiedades dieléctricas y mecánicas. Este proceso no ha sido completamente establecido por la capacidad regenerativa de la silicona, lo que se hace difícil evaluar su expectativa de vida útil, disminuyendo la confiabilidad a largo plazo del sistema. (p. 2)

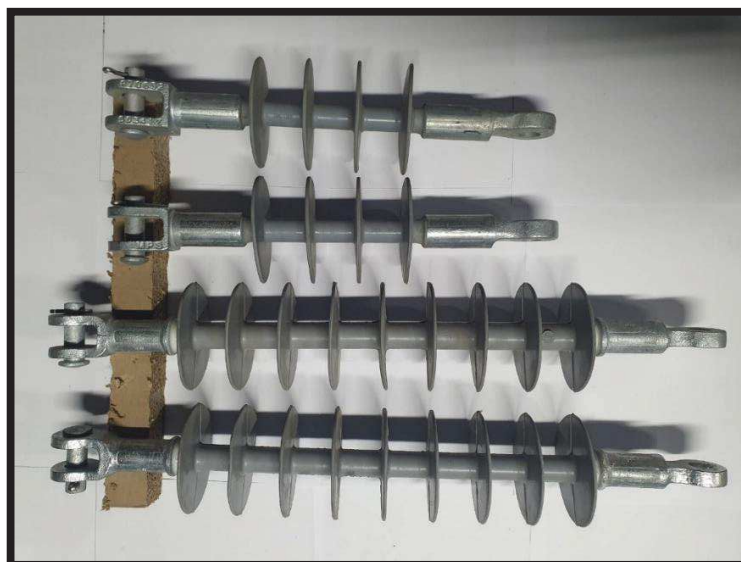
La importancia que se le da a los aisladores en esta investigación se debe a que en las redes de distribución de electricidad las fallas, por aisladores dañados, representan un alto porcentaje de las fallas que ocasionan cortes en el suministro de energía.

Figura 3. **Aisladores tipo poste de composite y de porcelana**



Fuente: [Fotografía de Lester Salazar]. (Chimaltenango. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 4. **Aisladores tipo suspensión de composite**



Fuente: [Fotografía de Lester Salazar]. (Chimaltenango. 2021). Colección particular. Guatemala.

### 7.2.3. Conductores

Los conductores de energía eléctrica son otro elemento de suma importancia en una red de distribución, ya que son fabricados de distintos materiales y con distintas características, según la aplicación y nivel de tensión. Velázquez (2018) menciona que para niveles de media tensión 13,8 kv y 34,5 kv se utiliza normalmente conductores ACSR (aluminium conductor steel reinforced) en calibres 1/0, para derivaciones y sub-derivaciones y 4/0 para líneas troncales. Para niveles de baja tensión 120/240 V se utiliza conductor de aluminio forrado en calibres 4/0, 1/0, 2 y 6, aunque también podemos encontrar un porcentaje relativamente significativo de sectores con conductor ACSR en calibre 2. En las siguientes tablas encontraremos más detalles de los conductores mencionados en el presente párrafo.

Tabla VI. **Conductores eléctricos en baja tensión 120/240 V**

FAMILIA	TIPO	Características		
		Sección de la fase(mm <sup>2</sup> )	Sección del neutro(mm <sup>2</sup> )	Intensidad máxima Admisible
Tríplex # 2	Trenzado Fases:#2 AAC – Neutro: #2 AAAC	33,62	33,62	150
Cuadruplex 1/0	Trenzado Fases: 1/0 AAC – Neutro: 1/0 AAAC	53,51	53,51	205
Tríplex 4/0	Trenzado Fases: 4/0 AAC – Neutro: 4/0 AAAC	107,2	107,2	300
Cuadruplex 4/0	Trenzado Fases: 4/0 AAC – Neutro: 4/0 AAAC	107,2	107,2	275
Cuadruplex 336,4	Trenzado: Fases: 336,4 AAC – Neutro: 4/0 AAAC	170,45	107,2	370
Tríplex 1/0	Trenzado: Fases: 1/0 AAC – Neutro: 1/0 AAAC	-	-	-

Fuente: Velázquez (2018). Elaboración de propuesta de norma de construcción de acometidas eléctricas residenciales, comerciales y servicios en media tensión 13.8 kv de empresa eléctrica municipal de San Marcos. Consultado el 15 de mayo de 2021. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0261\\_ME.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0261_ME.pdf).

La tabla anterior describe los conductores que normalmente son utilizados para realizar la distribución en baja tensión; en el área objeto de estudio normalmente será 120 V / 240 V en distintos calibres, según la corriente que se manejará. Con respecto a la familia hace referencia acerca de si son dos, tres o cuatro hilos y, específicamente hablando del cuádruplex, es utilizado para sistemas trifásicos de baja tensión.

Tabla VII. **Características principales de conductores eléctricos**

CONDUCTOR		477 MCM	266 MCM	4/0 AWG	1/0AWG
Código		<i>Hawk</i>	<i>Partridge</i>	<i>Penguin</i>	<i>Raven</i>
Calibre					
AWG		-	-	4/0	1/0
(MCM)		477	266	212	105
Denominación					
Sección Transversal	Aluminio (mm <sup>2</sup> )	241,5	135,2	107,2	53,5
	Acero(mm <sup>2</sup> )	39,3	22	17,9	8,9
	Total(mm <sup>2</sup> )	280,9	157,2	125,1	62,5
Diámetro Nominal	Alma Conductora(mm)	8,01	6	4,77	3,37
	Total(mm)	21,8	16,3	14,3	10,1
Composición	No alambres de aluminio	26	26	6	6
	Diámetro alambres de aluminio (mm)	3,44	2,57	4,77	3,37
	No alambres de acero	7	7	1	1
	Diámetro alambres de acero (mm)	2,67	2	4,77	3,37

Fuente: Velásquez (2018). Elaboración de propuesta de norma de construcción de acometidas eléctricas residenciales, comerciales y servicios en media tensión 13.8 kv de empresa eléctrica municipal de San Marcos. Consultado el 15 de mayo de 2021. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0261\\_ME.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0261_ME.pdf).

#### **7.2.4. Elementos de protección**

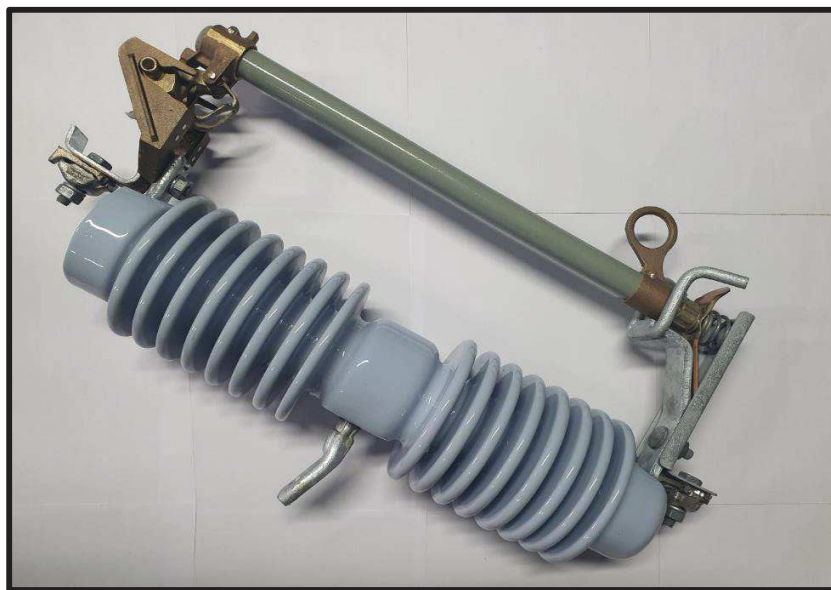
En redes de distribución de electricidad se utilizan diferentes elementos de protección, con el objetivo de aislar una falla y evitar que la cantidad de clientes afectados ante una contingencia se la menor posible. Dentro de ellos podemos mencionar los reconectadores, seccionadores y relevadores; sin embargo, nos enfocaremos únicamente en las protecciones más sencillas que se encuentran en la red de distribución de energía eléctrica, es decir, los fusibles. La razón por la que solo haremos mención de este tipo de protección es porque es un elemento que jugará un papel de suma importancia en el diseño de la red del sistema de distribución inteligente que se quiere diseñar. Según Guzmán (2012):

Los fusibles son los dispositivos más simples y económicos del sistema de protección, además son muy confiables porque pueden cumplir con sus funciones por más de 20 años sin la necesidad de mantenimiento. Su función principal es la de servir como un enlace débil entre dos secciones de la red eléctrica, pero para que funcionen apropiadamente deben de censar la condición que tratarán de proteger, interrumpir la falla rápidamente y coordinar con todos los demás dispositivos de la red. cuando la corriente que atraviesa el dispositivo es mayor a la mínima corriente de fusión, para la cual fue diseñado, el elemento principal del fusible se funde, separando así la falla de la red. Al ser de bajo costo solo se reemplaza por uno con las mismas características. (p. 34)

Continuamos citando a Guzmán (2012), quien menciona “que existen dos tipos básicos de fusibles, los de expulsión, los cuales se rigen por el principio de expulsión, donde una parte funciona como enlace, la cual se funde cuando se presenta una corriente de cortocircuito” (p. 35); el otro es un

contenedor que confina el arco de potencial que se genera cuando el enlace se rompe. También tenemos los fusibles de enlace, los cuales tienen como principal componente que se funden cuando la corriente que los atraviesa es mayor que la que pueden soportar. Los fusibles se utilizan en conjunto con tubos portafusibles y bases cortacircuitos; estos últimos pueden ser de polímero o porcelana, al igual que los aisladores que vimos anteriormente, normalmente diseñados para niveles de tensión de 13.8 kv y 34.5 kv.

Figura 5. **Cortacircuito de porcelana con tubo porta fusible**



Fuente: [Fotografía de Lester Salazar]. (Chimaltenango. 2021). Colección particular. Guatemala.

### **7.2.5. Otros elementos de una red de distribución**

En los subcapítulos anteriores se describen elementos específicos de una red de distribución eléctrica; sin embargo, existe un gran número de elementos que son importantes en una red de distribución de energía eléctrica,

pero no se mencionan a detalle porque no son de relevancia para el actual estudio, por lo que en este apartado se mencionarán brevemente.

Entre esos elementos se encuentran los postes de soporte para redes de distribución, que son de mucha importancia y pueden ser fabricados con distintos materiales como concreto centrifugado, madera o aleaciones metálicas. Cada uno presenta ciertas características, las cuales resultan ser más o menos convenientes dependiendo la aplicación para la que se utilice en la red. Los postes se utilizan solos o en conjunto con otros postes para formar estructuras de soporte para líneas de distribución; la CNEE (1999) menciona que los postes son “una estructura y es la unidad principal de soporte; generalmente se aplica al poste o torre adaptado para ser usado como medio de suspensión de líneas aéreas de energía eléctrica” (p. 6).

Los pararrayos son otro elemento importante dentro de una red de distribución de electricidad; su función principal es direccionar a tierra y apartar de los elementos de la red de distribución la corriente que proviene de las descargas electro atmosférico. Valverde (2010) menciona:

Que el pararrayos debe contar con una resistencia extremadamente alta durante condiciones de operación normales, y una resistencia relativamente baja durante condiciones de sobretensión en la línea. Esto es, una relación no lineal de tensión vs. corriente, o dicho de otra manera una resistencia no lineal”. (p. 15)

Otros elementos de importancia en redes de distribución de energía eléctrica lo conforman los cruceros, ya que son elementos que sirven para soportar aisladores; bases de cortacircuitos, todo lo referente a tornillería y

pernos necesarios para la sujeción de los elementos mencionados anteriormente, entre otros.

### **7.3. Módulos y protocolos de comunicación**

Debido a la dependencia que tiene la humanidad del servicio de energía eléctrica, se hace necesario reducir tanto en tiempo como en frecuencia las inevitables interrupciones de suministro eléctrico; una de las maneras que podemos utilizar es aprovechando el avance en las tecnologías de comunicación inalámbrica, según Pérez y Valdés (2013):

El desarrollo de sistemas de censados inalámbricos es relativamente reciente. Ello ha sido posible gracias a los avances obtenidos en la microelectrónica, la computación y las telecomunicaciones. La miniaturización de los componentes electrónicos ha permitido diseñar circuitos que sean capaces de procesar información tanto digital como analógica y, además, transmitirla en ondas de radiofrecuencia con módulos pequeños. (p. 63)

#### **7.3.1. Adafruit AirLift–Placa de arranque de coprocesador WiFi ESP32**

Este es uno de los dispositivos que se propone en este estudio para la elaboración del diseño, algo que se pueda comunicar al centro de operación de red. A continuación, se citarán las características del dispositivo extraídas directamente de la página del fabricante Adafruit.

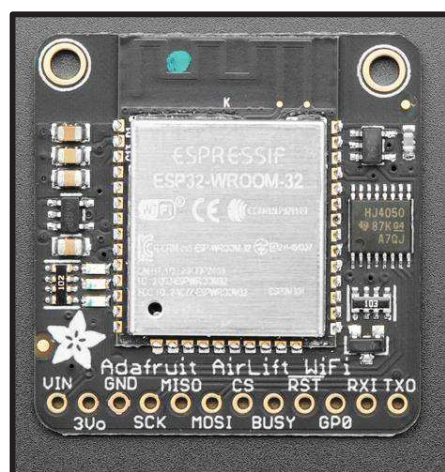
Adafruit AirLift, una placa de arranque que le permite usar el potente ESP32 como coprocesador WiFi. Este chip puede manejar todo el



trabajo pesado de conectarse a una red WiFi y transferir datos desde un sitio, incluso si está utilizando el último cifrado TLS/SSL (tiene certificados raíz pre-grabados). Es chip separado y significa que su código es más simple, no tiene que almacenar en caché los datos del socket o compilar y depurar una biblioteca SSL. Envía comandos básicos pero potentes, basados en sockets a través de SPI de 8 MHz para una transferencia de datos de alta velocidad. Puedes usar Arduino de 3V o 5V, cualquier chip del ATmega328 o más, aunque el '328 no podrá hacer tareas muy complejas ni almacenar en búfer una gran cantidad de datos. (Adafruit, 2021, párr 1 y 2)

Este dispositivo es bastante sencillo y de bajo costo, que es exactamente lo que busca el diseño que se quiere implementar, porque utiliza como base de comunicación una red WiFi.

Figura 6. **Adafruit AirLift WiFi ESP32**



Fuente: Adafruit. (2021). *Adafruit AirLift – Placa de arranque de coprocesador WiFi ESP32*.

Consultado el 25 de septiembre de 2021 Recuperado de:

<https://www.adafruit.com/product/4201>.

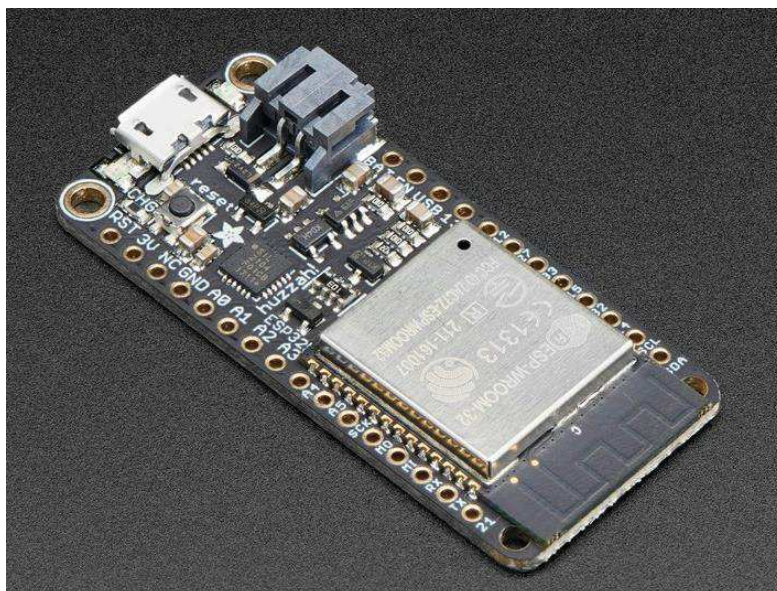
### **7.3.2. Adafruit HUZZAH32–ESP32 Feather Board**

La segunda propuesta que se tiene es el Adafruit HUZZAH32–ESP32 Feather Board, del mismo fabricante que el anterior. Es también bastante sencillo, aunque un poco más caro que el anterior, debido a que incorpora conectividad Bluetooth, pero a nivel general sigue siendo de bajo costo.

Este dispositivo es fabricado con el módulo oficial WROOM32. Empaquetamos todo lo que te gusta de Feathers: convertidor usb a serie incorporado, reinicio automático del cargador de arranque, cargador de iones de litio/polímero y casi todos los GPIO sacados para que puedas usarlo con cualquiera de nuestros Feather Wings. Contiene un chip ESP32 de doble núcleo, 4 MB de SPI Flash, antena sintonizada y todos los pasivos que necesita para aprovechar este nuevo y poderoso procesador. El ESP32 tiene soporte WiFi y Bluetooth Classic/LE. Eso significa que es perfecto para casi cualquier proyecto inalámbrico o conectado a internet. (Adafruit, 2021, párr. 2)

Como se mencionó en el primer párrafo, este dispositivo es un poco complejo y en nuestro diseño se puede utilizar para cuando existan dos centros de transformación en una distancia no mayor a diez metros.

Figura 7. **Adafruit HUZZAH32–ESP32 Feather Board**



Fuente: Adafruit (2021). *Adafruit HUZZAH32 – ESP32 Feather Board*. Consultado el 26 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.adafruit.com/product/3405>.

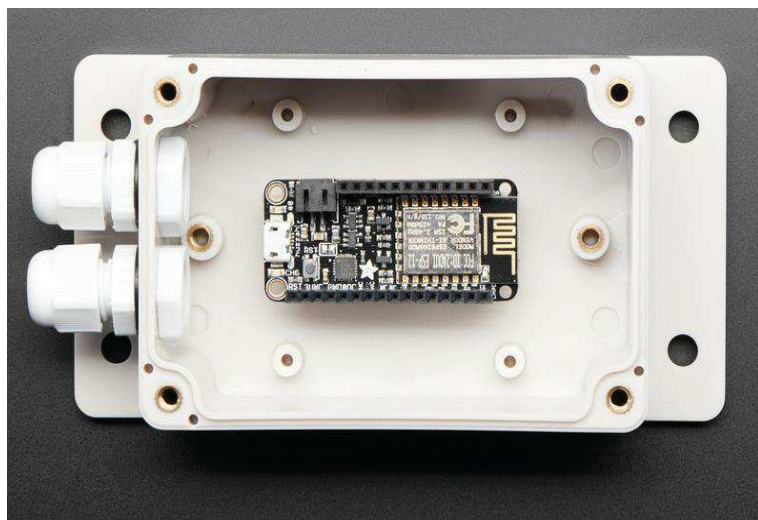
### **7.3.3. Carcasa bridada resistente a la intemperie con prensaestopas PG-7**

Los dos dispositivos vistos anteriormente, aunque son sencillos, es necesario protegerlos porque serán ubicados a la intemperie, por lo que dedicaremos un pequeño apartado para referenciar esta acción. El fabricante Adafruit (2021), que produce los dispositivos descritos anteriormente, menciona las siguientes características:

La carcasa bridada resistente a la intemperie con prensaestopas PG-7 es un recinto resistente a la intemperie con bridas. Posee un cuerpo de plástico ABS mecanizable, cuatro orificios de montaje y los tornillos de

fácil apertura, que se pueden desmontar tantas veces como se desee, sin preocuparse porque se agrieten o pelen. (adafruit, 2021, párr. 2)

Figura 8. **Carcasa bridada resistente a la intemperie con prensaestopas PG-7**



Fuente: Adafruit (2021). *Adafruit Huzzah32 – ESP32 Feather Board*. Consultado el 26 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.adafruit.com/product/3931>



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### 1. ELEMENTOS DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN

1.1. Antecedentes

1.2. Mercado eléctrico guatemalteco

1.2.1. Reseña histórica del mercado eléctrico guatemalteco

1.2.2. Modelo de distribución

1.2.3. Empresas de distribución de energía eléctrica en Guatemala

1.2.4. Índices de calidad de servicio del sistema de distribución para las interrupciones

1.3. Elementos de una red de distribución

1.3.1. Transformadores de distribución

1.3.2. Aisladores

1.3.3. Conductores

1.3.4. Elementos de protección

1.3.5. Otros elementos de una red de distribución

1.4. Módulos y protocolos de comunicación

- 1.4.1. Adafruit AirLift – Placa de arranque de coprocesador WiFi ESP32.
- 1.4.2. Adafruit HUZZAH32 – ESP32 Feather Board
- 1.4.3. Carcasa bridada resistente a la intemperie con prensaestopas PG-7

## 2. MARCO METODOLÓGICO

- 2.1. Características del estudio
- 2.2. Unidades de análisis
- 2.3. Variables
- 2.4. Fases del estudio
  - 2.4.1. Fase 1: exploración de la literatura
  - 2.4.2. Fase 2: recolección de la información
  - 2.4.3. Fase 3: análisis de información
  - 2.4.4. Fase 4: diseño de dispositivo a implementar
  - 2.4.5. Fase 5: fase final de la investigación

## 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 4. DESARROLLO DE MÓDULO DE COMUNICACIÓN

- 4.1. Selección de módulos de comunicación
- 4.2. Selección de operador para comunicación
- 4.3. Diseño final y pruebas de funcionamiento

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 6. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO

- 6.1. Costo del estudio
- 6.2. Beneficios para clientes de la implementación
- 6.3. Beneficios para la distribuidora

#### 6.4. Análisis financiero de costo beneficio

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS





## **9. METODOLOGÍA**

El diseño de investigación de un sistema de distribución de energía eléctrica inteligente es un diseño no experimental, debido a que el investigador no tiene control de las variables a investigar, siendo una de ellas, la cantidad de fallas ocurridas en una red; otra de las variables será el tiempo que un cliente tarda en notificar a su proveedor sobre la interrupción del servicio. Podemos mencionar también la variable del tiempo que la empresa distribuidora tarda en restablecer el servicio, lo cual va a depender de la disponibilidad de personal, así como la cantidad de fallas que se tengan en el área. Dentro de la recolección, análisis y correlación de estas variables podremos concluir la viabilidad del diseño e implementación del estudio que se está realizando.

Cabe mencionar que no se podrá realizar un estudio experimental porque se necesitaría manipulación de la red de distribución, para lo cual es necesario obtener permisos, autorizaciones y notificación a usuarios, entre otros. Todo esto representa tiempo de planificación y ejecución, gastos económicos y otros factores.

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

El enfoque del estudio del presente tema es cuantitativo, porque se enfoca en datos relacionados con la cantidad de fallas ocurridas en la red de distribución de energía eléctrica, tanto en media como en baja tensión; también sobre la cantidad de tiempo que dura la falla; cómo se puede mejorar el tiempo de atención de fallas, desarrollando el diseño propuesto en el presente estudio. Esta investigación también tiene la finalidad de mejorar y hacer más eficiente

los tiempos de respuesta en reparaciones de la distribuidora, así como reducir pérdidas tanto para el usuario final como para la distribuidora.

El alcance del estudio es descriptivo, teniendo como finalidad establecer tiempo de notificaciones de fallas, con el objetivo de mejorarlas y hacerlas más eficientes; es decir, el diseño plantea una mejora significativa en cuanto a la respuesta y atención por parte de la distribuidora.

El diseño adoptado será no experimental, pues la información de las fallas que se tienen en el sistema de distribución objeto de análisis, así como los tiempos en que se atienden las mismas, se analizará en su estado original y sin ninguna manipulación.

## **9.2. Unidades de análisis**

La población en estudio será la totalidad de fallas de una de las distribuidoras del país. Dentro de las variables que se analizan está el tiempo de notificación de la falla por parte del cliente, la cantidad de fallas por un periodo de tiempo, cuántas de estas fallas se deben a transformadores dañados por sobre carga, el tiempo que tarda la distribuidora para la resolución de la falla y el TTIK promedio actual para los usuarios de la distribuidora.

## **9.3. Variables**

A continuación, en la tabla VIII, se describen los tipos de variables.

Tabla VIII. Tipos de las variables

Criterio / Variable	Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de medición
	Continua	Discreta			
Tiempo de notificación de falla por el cliente	X			X	Nominal
Cantidad de falla por un periodo de tiempo	X			X	Razón
Cantidad de transformadores dañados por sobrecarga		X		X	Razón
Tiempo para resolución de la falla	X			X	Nominal
TTIK promedio actual para usuarios de la distribuidora	X		X		Razón

Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla IX. Descripción de las variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Tiempo de notificación de falla por el cliente	Tiempo en que un cliente tarda en notificar a la distribuidora de una falla en el servicio.	Esta variable será medida en horas y la medición es a través de los registros históricos de las distribuidoras, los cuales serán consultados y analizados.
Cantidad de fallas por periodo de tiempo	Cantidad de fallas que un cliente o un grupo de clientes parte del análisis ven en un periodo de tiempo.	Esta variable será medida con la frecuencia de fallas, las cuales serán consultadas a través de los registros históricos de las distribuidoras.
Cantidad de transformadores dañados por sobrecarga	Transformador que tiene daño por sobrecarga.	El instrumento de medición para esta variable serán los registros históricos de falla de las distribuidoras.

Continuación de la tabla IX.

Tiempo para resolución de la falla	Se refiere al tiempo en que la distribuidora tarda en resolver una avería en la red de distribución y restablecer el servicio.	Esta variable será medida en horas y la medición es a través de los registros históricos de las distribuidoras, los cuales serán consultados y analizados.
TTIK promedio actual para usuarios de la distribuidora	Tiempo total de interrupción por kilovatio hora promedio	Se consultará en los registros de la distribuidora del tiempo en horas de interrupción por kilovatio hora promedio, dentro de los usuarios de la distribuidora.

Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.

#### **9.4. Fases del estudio**

A continuación, se describe el proceso por medio del cual se efectuará el estudio. Se considerarán las distintas fases, así como las actividades que se realizarán en cada una de ellas, las técnicas a implementar y el seguimiento correspondiente hasta la elaboración del informe final.

##### **9.4.1. Fase 1: exploración de la literatura**

En esta fase se procesará la información necesaria para tener fundamentos basados en bibliografía seria y reconocida. Esta información se utilizará para describir, dar características operativas y detalles de funcionamiento de elementos de las redes de distribución de energía eléctrica, tales como: transformadores, aisladores de media y baja tensión, y protecciones, entre otros. También es necesario fundamentar todo lo relacionado con la normativa de distribución de energía eléctrica para Guatemala.

#### **9.4.2. Fase 2: recolección de información**

Dentro de la presente investigación se pretende mejorar el diseño actual que tienen las distribuidoras en sus redes de distribución de energía eléctrica, se enfocará en la atención al usuario final, para lo cual se necesita consultar los registros históricos de las distribuidoras; nos centraremos en una o dos distribuidoras, a las cuales se les solicitarán los permisos pertinentes, gestiones que son parte de esta fase del estudio. Como parte de la normativa vigente, las distribuidoras tienen la obligación de llevar un registro de fallas ocurridas en su red de distribución, por lo que dentro de la presente fase se proyecta recolectar los últimos seis meses de fallas ocurridas en la red de distribución de la empresa; se identificarán las variables establecidas en el subcapítulo anterior, para su posterior análisis.

#### **9.4.3. Fase 3: análisis de información**

En la segunda fase se obtendrá toda la información necesaria referente a fallas; cantidad de las mismas, tiempo de cada una, tiempo promedio y tiempo de resolución, entre otros datos de suma relevancia para la presente investigación. En la presente fase se realizarán análisis comparativos entre los tiempos actuales y tiempos proyectados, ante la implementación del sistema inteligente a desarrollar.

Dentro de esta fase de análisis también se corroborará la información obtenida de la distribuidora. Este proceso consiste en llamar de manera aleatoria a los clientes afectados y que reportaron las fallas, para corroborar que la información obtenida de la distribuidora sea correcta; cabe mencionar que no será una encuesta sino únicamente se corroborará la fecha y hora

exacta en que se quedaron sin energía, así como hora y fecha exacta en que se restableció el servicio.

La información recabada será organizada por cada circuito de la distribuidora, en la que se recolectará la información, la cual se organizará según la tabla número IX. Con esta acción se tendrá una idea más clara y será más fácil su procesamiento.

Tabla X. **Detalle de información que se procesará en la fase 3**

<b>Tipo de carga</b>	<b>Cantidad de fallas</b>	<b>Causa de las fallas</b>	<b>Tiempo total de la falla</b>	<b>Tiempo de falla a notificación</b>	<b>Tiempo de falla con notificación automática</b>
Urbana					
Rural					

Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.

#### **9.4.4. Fase 4: diseño de dispositivo de comunicación**

En el numeral 7.3, del capítulo del marco teórico, se analizaron dos posibles dispositivos electrónicos de comunicación a través de radiofrecuencia, y WiFi, entre otras características propias de cada uno de los dispositivos. En esta fase del estudio se efectuarán pruebas con los dispositivos descritos en el numeral 7.3, con el objetivo de analizar las distintas características de respuesta propias de cada uno de los dispositivos, incluso la utilización en conjunto de los mismos.

A pesar de ser un estudio no experimental, se tiene planificado efectuar el diseño de un dispositivo de comunicación y evaluar su funcionamiento, realizando pruebas en un ambiente controlado mas no en una red de

distribución; es por ello que este estudio no puede ser clasificado como un estudio experimental.

#### **9.4.5. Fase 5: valoración económica**

Dentro de esta fase está contemplado el análisis de la información obtenida en las fases anteriores, la comparación de tiempos de la notificación de fallas, cuando estas notificaciones tienen que ser puestas por el cliente que se vio afectado, contra el tiempo que lleva el equipo diseñado de la notificación a la distribuidora, y dentro del presente informe el tiempo que tarda en notificar al centro de operación de red de la falla detectada por el dispositivo. A la vez, establecerá el comportamiento del tiempo en la recuperación de la falla, al ser detectada con mayor rapidez y eficacia.

Adicionalmente esta fase contempla el análisis de las implicaciones económicas, tanto de la implementación del diseño como de los cambios que se den en la operación del sistema. Se hará una correlación sobre si es viable económicamente y el posible tiempo de la recuperación de la inversión, al desarrollar las mejoras en el sistema.

#### **9.5. Resultados esperados**

Luego de efectuar la recolección de datos y análisis de la información, se espera demostrar tres aspectos importantes, los cuales van de la mano con los objetivos específicos planteados al inicio del presente diseño de investigación.

El primero es demostrar que es obsoleto e ineficiente el actual método que la distribuidora usa para saber que tiene una falla de media o baja tensión; esto con base en los tiempos que se obtendrán a través de la recolección de la



información de fallas, de los cuales necesitamos separar el tiempo de notificación y el tiempo de atención y resolución.

El segundo resultado que se espera obtener es realizar el diseño de un dispositivo que, al estar conectado en puntos estratégicos de la red de distribución, pueda notificar la falla en tiempo real, con lo cual se lograría eliminar del tiempo total de las fallas el tiempo de notificación, lo que implicaría una reducción en el tiempo total de la falla.

Y, por último, realizar una comparación de tiempos y a la vez una comparación de costo beneficio de la implementación de estos dispositivos, para convertir la red en un sistema inteligente que notifique las fallas en tiempo real.

## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Se tendrá la información necesaria del escenario actual de fallas en la red de distribución eléctrica, todo lo referente a los horarios en que ocurren, el tiempo que los usuarios perciben el evento y cuánto de tiempo le lleva a un usuario hacer la notificación del evento, entre otros aspectos. Esta información, que será proporcionada por una de las distribuidoras de energía eléctrica del país, permitirá el acceso a su base de datos y recopilar la información antes mencionada. Se aplicarán las técnicas descritas a continuación:

### **10.1. Muestreo**

El muestreo es una de las técnicas a utilizar. Carrillo (2015) define la muestra como “parte de los elementos o subconjunto de una población que se selecciona para el estudio de esa característica o condición” (p.8). Los datos que se analizarán serán proporcionados por una de las distribuidoras del país, correspondiente a una subregión del área occidental de Guatemala, con un total de 84 856 clientes hasta octubre del 2021. Esto es posible al tener acceso a la información de fallas de todos ellos, ya que los datos de la distribuidora están clasificados, agrupados y tabulados, por lo cual es factible el análisis del total de clientes para este estudio.

Se tomará un error del 1 %, una confianza del 90 % y un porcentaje de usuarios del 90 %. Esto dejará un margen del 10 % de clientes, de los cuales no se pueda obtener datos por distintas razones, para que el estudio tenga un nivel de confianza adecuado.

Fórmula de muestreo:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + k^2 * p * q}$$

Descripción

n: tamaño muestra a determinar

p: variabilidad positiva = (0.90)

q: variabilidad negativa = (0.10)

N: tamaño de la población = (84 856)

e: es el error muestral que se considera = (0.01)

k: constante de nivel de confianza que indica la probabilidad de que los resultados del estudio sean ciertos o no.

Los valores de k que más se utilizan y sus respectivos niveles de confianza son:

Tabla XI. **Valores k y niveles de confianza**

Nivel de confianza	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	97.5 %	99 %
Valores de k	<b>1.15</b>	<b>1.28</b>	<b>1.44</b>	<b>1.65</b>	<b>1.96</b>	<b>2.24</b>	<b>2.58</b>

Fuente: EEP. (2012). *Se describe los valores k y niveles de confianza utilizada en el 2021.*

$$n = \frac{(2.58)^2 * (0.90) * (0.100) * (84,856)}{(0.01)^2 * (84.856 - 1) + ((2.58)^2 * (0.10) * (0.90))} = \frac{50.786}{0.84 + 0.59} = 35.514$$

Derivado de lo anterior, se deduce:

- Población usuarios de red de distribución: 84 856
- Muestra usuarios de red de distribución: 84 856
- Mínimo de usuarios de red de distribución aceptado: 35 514

## **10.2. Técnicas de recolección de datos**

La técnica que se utilizará es la recopilación documental y bibliográfica de informes, reportes oficiales de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y documentos públicos y privados, a los cuales se tendrá acceso con los permisos pertinentes.

Como instrumento para la recolección de datos se elaborarán fichas de trabajo bibliográfico y se generarán documentos electrónicos en hojas de cálculo, para ordenar la información de una manera lógica y con secuencia cronológica. Esto permitirá sintetizar la información, lo cual nos llevará a tener un mejor manejo de la misma, para el desarrollo de la investigación.

## **10.3. Análisis de contenido**

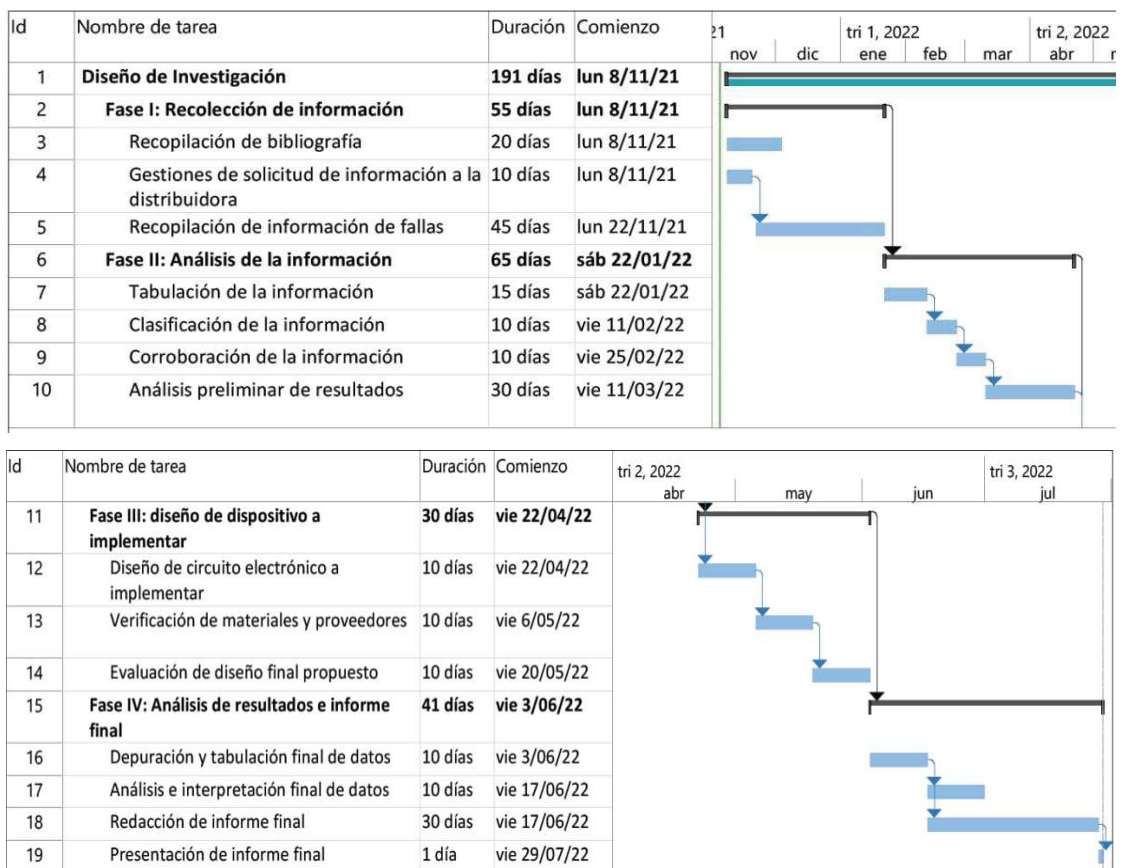
Se realizará un análisis de la información obtenida, la calidad y cantidad de lo que se logre recopilar, y se debe determinar, según el muestreo realizado, si la información obtenida es suficiente para proceder con el estudio. Dentro del análisis de contenido se procederá también a efectuar un análisis univariado a las variables objeto de estudio, utilizando para ello diferentes herramientas estadísticas. Necesitamos establecer la media de los tiempos totales de fallas, la media de los tiempos que tarda un cliente en notificar la falta de servicio, y

para esto nos apoyaremos en los histogramas correspondientes y así poder determinar el tipo de distribución para cada una de las variables.

El análisis de contenido contempla también el procesamiento de datos a través de los programas Microsoft Word y Microsoft Excel; esto facilitara el procesamiento de la información, los cálculos necesarios y la creación de gráficas complementarias que ayuden en el proceso de interpretación.

## 11. CRONOGRAMA

Figura 9. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Según la información recabada, vertida anteriormente y con la investigación realizada hasta el momento, se logró determinar que el estudio es factible, necesario y de avance tecnológico. Para completar el mismo y obtener los resultados deseados es fundamental tener una serie de recursos, los cuales serán detallados a continuación:

- Recurso humano

El estudiante de la maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados es el principal recurso humano, ya que es quien realizará la investigación, la recopilación de datos, análisis e interpretación de los mismos. Además, se tiene contemplado el aporte del ingeniero asesor, quien es un experto en el tema de la investigación.

- Movilidad

Es necesario contar con un vehículo en buenas condiciones, así como combustible y consumibles necesarios para hacer las visitas a la distribuidora, visitas al asesor y otras que se consideren necesarias.

- Recurso tecnológico

Los recursos tecnológicos para la investigación son principalmente un ordenador, así como los programas necesarios para la elaboración del informe (Microsoft Office 365), teléfono celular y cámara digital.



- Acceso a la información necesaria

El acceso a la información es otro recurso de suma importancia, la cual será aportada por la distribuidora que presta servicio en el área de la muestra objeto de estudio.

- Recurso financiero

El recurso financiero para efectuar la investigación, así como para la elaboración del informe, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Detalle de factibilidad del estudio**

<b>Recurso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Recurso humano en horas hombre	Es el costo del tiempo invertido para la realización de la investigación y elaboración del informe.	8 horas por semana durante 6 meses	Q 40.00	Q 8,640.00
Movilidad	Engloba todo lo necesario para movilizarse para realizar la investigación; visitas a la distribuidora, con asesor, entre otros .	300 km	Q 4.00	Q 1,200.00
Asesoría	Sesiones de asesoría, así como el tiempo de revisión de asesor.	8 sesiones	Q 300.00	Q 2,400.00
Teléfono e internet	Plan de llamadas de voz para estar en comunicación con asesor, así como con la distribuidora e internet	6 meses	Q 300.00	Q 1,800.00
Energía eléctrica	Energía eléctrica para el ordenador y cargar celular	6 meses	Q 25.00	Q 150.00
Consumibles	Papelería, fotocopias, lapiceros, impresiones y otros.	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
Imprevistos	Todos aquellos gastos que no están contemplados anteriormente	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
<b>Total</b>				<b>Q 17,190.00</b>

Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.

### 13. REFERENCIAS

1. Adafruit, A. (2 de agosto, 2021). Placa de arranque de coprocesador WiFi ESP32. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.adafruit.com/product/4201>.
2. Adafruit. A. (22 de agosto, 2021). ESP32 Feather Board. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.adafruit.com/product/3405>.
3. CNEE Resolucion No. 09-99. Normas Técnicas del Servicio de Distribucion (NTSD). Diario de Centroamérica. Guatemala. 7 de abril de 1999.
4. CNEE Resolucion No. 47-99. Normas Técnicas del Diseño y Operación del Sistema de Distribcion (NTDOID). Diario de Centroamérica. Guatemala. 27 de octubre de 1999.
5. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2021). *Distribuidoras de Electriciada en Guatemala*. Guatemala: Autor
6. Correa, L. y Giraldo, L. (mayo, 2010). Comunidades de práctica, una estrategia para la democratización del conocimiento en las organizaciones, una reflexión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(16), 141-150. Recuperado de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/50/36>.

7. Cuenca, M., Jaramillo, V. y Torres, R. (febrero, 2017). Monitoring System of Environmental Variables Using a Wireless Sensor Network and Platforms of Internet of Things. *Enfoque UTE*, 8(1), 329 - 343. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.139>
  
8. Fernández, M. (2019). *Estudio sobre la contribución de un vehículo eléctrico a la regulación de frecuencia de una microrred* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de [http://oa.upm.es/54353/1/TFG\\_MARTA\\_FERNANDEZ\\_FERNANDEZ.pdf](http://oa.upm.es/54353/1/TFG_MARTA_FERNANDEZ_FERNANDEZ.pdf).
  
9. Guzmán, G. (2012). *Manual para coordinación de fusibles en la red de media tensión* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36006785/pb2012\\_043-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1632275283&Signature=GYbqp1pL8~6IN9F4hBlo1lducWb1g5nRXISQXvVknofdv2CJy0M2vc3MPqdUY2lw~RCeYW2zGg3kku1GmMecNHjrU6DLVEWEOEc8p5F790BbEOvXm-7WjGIWU--8l8syl~Dv8AOSMPgMI5ZIR5](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36006785/pb2012_043-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1632275283&Signature=GYbqp1pL8~6IN9F4hBlo1lducWb1g5nRXISQXvVknofdv2CJy0M2vc3MPqdUY2lw~RCeYW2zGg3kku1GmMecNHjrU6DLVEWEOEc8p5F790BbEOvXm-7WjGIWU--8l8syl~Dv8AOSMPgMI5ZIR5).
  
10. Holguin, Y. y Villacob, K. (2017). *Seguimiento de los factores incidentes en la vida útil de transformadores de distribución tipo poste en la ciudad de Barranquilla* (Tesis de licenciatura). Universidad de la Costa, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/313/45535276-57308604.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

11. Instituto Nacional de Electrificación. (2021). Evolución de la electricidad en Guatemala. Guatemala: Autor
12. Mendoza, E., Fuentes, P., Benítez, I. y Reina, D. (Septiembre, 2020). Red de sensores inalámbricos multisalto para sistemas domóticos de bajo costo y área extendida. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4), 412-423. doi:<https://doi.org/10.4995/riai.2020.12301>.
13. Palacios, S. y Samper, J. (Enero, 2016). Tarifación Dinámica de Redes Inteligentes de Distribución usando Optimización Multi objetivo. *Revista Técnica "Energía"*, 12(1), 321-330. Recuperado de <http://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/57/55>.
14. Palacios, Y. (2019). *Análisis comparativo técnico económico de aisladores poliméricos y de porcelana para redes de media tensión* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú. Recuperado de [http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/367/1/Palacios\\_Janet-trabajo\\_Suficiencia\\_2019.pdf](http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/367/1/Palacios_Janet-trabajo_Suficiencia_2019.pdf).
15. Pérez, F. y Valdés, E. (Diciembre, 2013). Sistema de Adquisición de Datos con comunicación inalámbrica. *RIELAC*, 34(3), 63-73. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v34n3/eac07313.pdf>.
16. Ramírez, S. (2004). *Redes de Distribución de Energía*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de

[http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-23\\_12-50-29110587.pdf](http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-23_12-50-29110587.pdf).

17. Sánchez, M. y De la Llana, J. (Enero, 2013). Las redes inteligentes en el futuro del sistema eléctrico. *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, 3548, 59-70. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4528501>.
18. Valverde, A. (2010). *Determinación de la localización y la selección óptima de pararrayos para un sistema de distribución eléctrica de media tensión* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de [https://www.academia.edu/25663078/Determinaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_localizaci%C3%B3n\\_y\\_la\\_selecci%C3%B3n\\_%C3%B3ptima\\_de\\_pararrayos\\_para\\_un\\_sistema\\_de\\_distribuci%C3%B3n\\_el%C3%A9ctrica\\_de\\_media\\_tensi%C3%B3n](https://www.academia.edu/25663078/Determinaci%C3%B3n_de_la_localizaci%C3%B3n_y_la_selecci%C3%B3n_%C3%B3ptima_de_pararrayos_para_un_sistema_de_distribuci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica_de_media_tensi%C3%B3n).
19. Vargas, L. (Noviembre, 2015). Trayectoria tecnológica de los mercados eléctricos en Centroamérica. *Revista de Política Económica y Desarrollo Sostenible*, 1(1). 1-26. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/284764454\\_Trayectoria\\_tecnologica\\_de\\_los\\_mercados\\_electricos\\_en\\_Centroamerica](https://www.researchgate.net/publication/284764454_Trayectoria_tecnologica_de_los_mercados_electricos_en_Centroamerica).
20. Velásquez, M. (2018). *Elaboración de propuesta de norma de construcción de acometidas eléctricas residenciales, comerciales y servicios en media tensión 13.8 kv de empresa eléctrica municipal de San Marcos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos

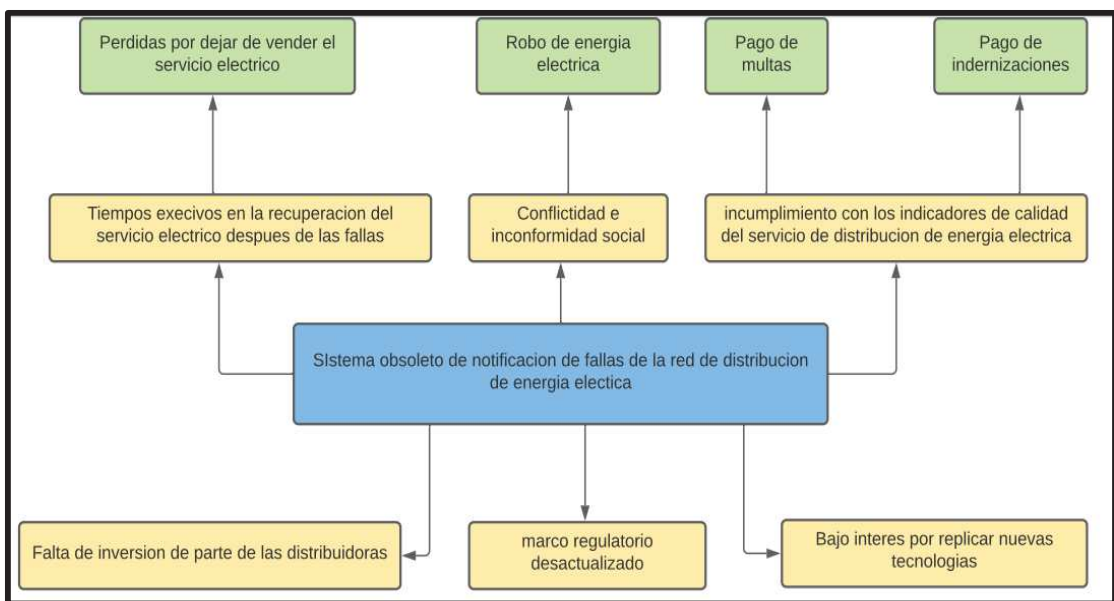
de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0261\\_ME.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0261_ME.pdf).

21. Zambrano, J. (2014). *Modelación del comportamiento de la superficie de aisladores de goma de silicona de 15 kv a partir de la medición de la corriente de fuga. XIII Encuentro Regional Iberoamericano de la Cigre (ERIAC XIII)*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/488871363/Revista-CIIE-2020>.



## 14. APÉNDICES

### Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.



## Apéndice 2. Matriz de coherencia

Planteamiento del problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivos	Fases de estudio
Sistema obsoleto de notificación de fallas de la red de distribución de energía eléctrica.	<b>Principal:</b> ¿Cómo incrementar la eficiencia de las notificaciones de falla en la red del sistema de distribución de energía eléctrica?	<b>General:</b> Diseñar un sistema eficiente de notificación de fallas en la red de distribución de energía eléctrica.	El estudio comprende 5 fases de estudio descritas a continuación:
	<b>Auxiliares</b> ¿Cuáles son los medios que actualmente utilizan las distribuidoras de servicio de energía eléctrica para determinar cuántos clientes están afectados por una falla en la red y que tan eficientes son estos medios?	<b>Objetivos específicos</b> Determinar los procedimientos actuales de notificación de fallas y evaluar su efectividad.	<b>Fase 1:</b> exploración de literatura <b>Fase 2:</b> recolección de información <b>Fase 3:</b> análisis de la información.
	¿Es posible aplicar nuevas tecnologías para diseñar un dispositivo que mejore el actual proceso de notificación de fallas hacia las distribuidoras de servicio eléctrico?	Realizar un diseño funcional para notificaciones de las fallas en la red de distribución de energía eléctrica en tiempo real.	<b>Fase 4:</b> diseño de dispositivo de comunicación.
	¿Cómo se verá reflejado en cuanto a los valores TTIK (tiempo total de interrupción por kilovatio instalado) y al FMIK (frecuencia media de interrupción por kilovatio instalado) la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de las fallas en la red de distribución de energía eléctrica?	Medir una proyección de los tiempos de notificación, y atención de fallas al implementar este sistema así mismo realizar una valoración económica de los resultados.	<b>Fase 5:</b> valoración económica.

Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Word.