



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROTECCIONES
ELÉCTRICAS RESIDENCIALES UTILIZANDO INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS
CON TECNOLOGÍA DE DOBLE FUNCIÓN (DUAL *FUNCTION*) PARA LA MEJORA EN LA
CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Jairon Estuardo Villatoro Hernández

Asesorado por el MSc. Ing. Donis Alexander Villatoro Hernández

Guatemala, enero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROTECCIONES
ELÉCTRICAS RESIDENCIALES UTILIZANDO INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS
CON TECNOLOGÍA DE DOBLE FUNCIÓN (DUAL *FUNCTION*) PARA LA MEJORA EN LA
CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAIRO ESTUARDO VILLATORO HERNÁNDEZ
ASESORADO POR EL MSC. ING. DONIS ALEXANDER VILLATORO
HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
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 LA IMPLEMENTACIÓN DE PROTECCIONES
ELÉCTRICAS RESIDENCIALES UTILIZANDO INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS
CON TECNOLOGÍA DE DOBLE FUNCIÓN (DUAL *FUNCTION*) PARA LA MEJORA EN LA
CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Estudios de Postgrado, con fecha 30 de mayo de 2020.

Jairon Estuardo Villatoro Hernández

Ref. EEPFI-1527-2020

Guatemala, 20 de noviembre de 2020

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

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES UTILIZANDO INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS CON TECNOLOGÍA DE DOBLE FUNCIÓN (DUAL FUNCTION) PARA LA MEJORA EN LA CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**, presentado por el estudiante **Jairon Estuardo Villatoro Hernández** carné número **201212603**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.

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

Atentamente,

Donis A. Villatoro Hernández
Ingeniero Electricista
Colegiado: 12,574

Mtro. Donis Alexander Villatoro Hernández
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"

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

Edgar Darío Álvarez Cotí
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-017-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES UTILIZANDO INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS CON TECNOLOGÍA DE DOBLE FUNCIÓN (DUAL FUNCTION) PARA LA MEJORA EN LA CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**, presentado por el estudiante universitario Jairon Estuardo Villatoro Hernández, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, noviembre de 2020

DTG. 008.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES UTILIZANDO INTERRUPTORES TERMO MAGNÉTICOS CON TECNOLOGÍA DE DOBLE FUNCIÓN (DUAL FUNCTION) PARA LA MEJORA EN LA CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**, presentado por el estudiante universitario: **Jairon Estuardo Villatoro Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, enero 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido realizar una más de mis metas.
- Mis padres** Rolando Villatoro y Marina Hernández, por el cariño y apoyo, mi eterno agradecimiento por su incondicional ayuda para hacer realidad este sueño.
- Mis hermanos** Walter, Rosario, Donis, Selvyn y Elder Villatoro Hernández, por su ejemplo, apoyo y compañía durante mi vida.
- Mis sobrinos** Lourdes, Sebastián y Pablo Villatoro Rodríguez, Nataly, Diego y Gabriel López Villatoro, por la alegría e ilusión que me trasladan.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la institución académica que me permito formarme como profesional.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.

Mis amigos

Por haberme acompañado durante la carrera y ayudado a conseguir este logro.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACION	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES PARA CUBRIR	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Protecciones eléctricas.....	15
7.1.1. ¿Qué son las protecciones eléctricas?	15
7.2. Interruptores termo magnéticos.....	16
7.2.1. ¿Para qué sirven los interruptores termo magnéticos?	16

7.2.2.	¿Cómo funciona los interruptores termo magnéticos?	16
7.2.3.	Tipos de Interruptores termo magnéticos	17
7.2.3.1.	Por su uso y nivel de voltaje	17
7.2.3.2.	Por la forma de su curva	17
7.3.	Conceptos	18
7.3.1.	Protección térmica	18
7.3.2.	Protección magnética	19
7.3.3.	Corriente de corto circuito	19
7.3.4.	Corriente de sobre carga	20
7.3.5.	Corriente nominal	20
7.3.6.	Arco eléctrico	20
7.3.7.	Selectividad	21
7.3.8.	Filiación entre interruptores	21
7.4.	¿Qué es una falla eléctrica?	22
7.4.1.	Tipos de protecciones eléctricas	24
7.4.1.1.	Protección contra corto circuito	24
7.4.1.2.	Protección a tierra	24
7.4.1.3.	Protección contra sobre calentamiento	25
7.4.1.4.	Protección contra arco eléctrico	25
7.5.	Descripción general del dispositivo	25
7.5.1.	¿Cómo funciona el <i>Time Saver Diagnostics</i> ?	26
7.5.2.	Beneficios	26
7.5.3.	Descripción técnica del dispositivo	27
7.5.3.1.	Características técnicas Interruptor dual GFCI (falla a tierra)	27
7.5.3.2.	¿Cómo funciona un interruptor dual AFCI (falla de arco)?	29

	7.5.3.3.	Procedimiento de indicación de falla ...	30
7.5.4.		Clasificación de interrupción eléctrica según su capacidad (Amperios).....	31
7.5.5.		Clasificación de interrupción eléctrica según su temperatura	32
7.6.		Normas aplicables (NEMA, NEC) y reglamentaciones	33
	7.6.1.	Generalidades	33
	7.6.2.	Definiciones	34
	7.6.2.1.	Dispositivo de protección contra sobre corriente tipo limitador de corriente.....	34
	7.6.3.	Protecciones de los conductores	34
	7.6.3.1.	Peligro de pérdida de potencia	35
	7.6.3.2.	Dispositivos de 800 amperios nominales o menos.....	35
	7.6.3.3.	Dispositivos de más de 800 amperios nominales.....	36
	7.6.4.	Valores en amperios nominales normalizados	36
	7.6.4.1.	Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo	36
	7.6.4.2.	Interruptores automáticos de disparo ajustable	37
	7.6.4.3.	Interruptores automáticos de disparo ajustable y acceso restringido.....	37
	7.6.5.	Fusibles o interruptores automáticos en paralelo ...	37
	7.6.6.	Dispositivos térmicos	38
	7.6.7.	Protección suplementaria contra sobre corriente....	38
	7.6.8.	Coordinación de los sistemas eléctricos.....	38
	7.6.9.	Protección de los equipos contra fallas a tierra	39

7.6.10.	Protección con interruptor de circuito por falla de arco	40
7.6.10.1.	Definición.....	40
7.6.10.2.	Unidades de vivienda	40
7.6.11.	Interruptores automáticos.....	41
7.6.11.1.	Modo de operación.....	41
7.6.11.2.	Indicación	41
7.6.11.3.	No alterables	41
7.6.11.4.	Marcado	42
7.6.11.4.1.	Duradero y visible	42
7.6.11.4.2.	Ubicación	42
7.6.11.4.3.	Valor nominal de interrupción	42
7.6.11.4.4.	Usados como des conectivos	42
7.6.11.4.5.	Marcado de la tensión... ..	43
7.6.12.	Aplicaciones	43
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO	45
9.	METODOLOGIA	49
9.1.	Tipo de estudio.....	49
9.1.1.	Definición de variables	49
9.2.	Fases de estudio.....	50
9.2.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	50
9.2.2.	Fase 2: definición y selección de muestra.....	51
9.2.3.	Fase 3: descripción de la tecnología	51
9.2.4.	Fase 4: caracterización de lineamientos a implementar.....	53

9.2.5.	Fase 5: metodología para el análisis de beneficios, eficiencia energética y análisis de costo	53
9.2.5.1.	Determinación de beneficios.....	54
9.2.5.2.	Eficiencia energética.....	54
9.2.5.3.	Análisis de costo.....	56
9.2.6.	Fase 6: presentación y discusión de resultados	56
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
11.	CRONOGRAMA.....	59
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
13.	REFERENCIAS.....	63
14.	APÉNDICES.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Curva de desconexión de un <i>breaker</i>	18
2.	Diagrama de conexión interruptor GFCI.....	28
3.	Diagrama de conexión interruptor AFCI.....	29
4.	Curvas de revaloración ambiental.....	32
5.	Tablero eléctrico e interruptores residencial.....	51
6.	Interruptor termo magnético dual	52

TABLAS

I.	Tipos de fallas eléctricas y sus causas	23
II.	Estadísticas de ocurrencia de fallas de acuerdo al sitio	23
III.	Especificaciones de amperaje de la corriente nominal para <i>breaker</i> de 1 polo	28
IV.	Tiempos de disparos del interruptor.....	30
V.	Clasificación de interrupción	31
VI.	Definición de variables	49
VII.	Características de la tecnología dual	52
VIII.	Lineamiento de implementación.....	53
IX.	Beneficios que obtener.....	54
X.	Distancias obtenidas	55
XI.	Cuadro comparativo de costos.....	56
XII.	Cronograma de actividades	59
XIII.	Recursos necesarios para la investigación	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
OFF	Apagado
cm	Centímetro
I	Corriente eléctrica
CAFI	Distancia de protección de falla de arco
CO₂	Dióxido de carbono
ON	Encendido
°C	Grados Celsius
Hz	Hercio
H	Horas
=	Igual que
QO	Interruptor
>	Mayor que
m	Metro
%	Porcentaje
P	Potencia
AFCI	Protección de falla de arco
GFCI	Protección de falla a tierra
Q	Quetzales
r	Resistencia
s	Segundos
t	Tiempo
v	Velocidad
v	Voltio

GLOSARIO

Ampacidad	Corriente máxima que un conductor puede transportar, bajo condiciones de uso sin exceder su rango de temperatura.
Bimetal	Lámina obtenida por la superposición de dos estratos inseparables de metales con distinto coeficiente de dilatación térmica.
Breaker	Dispositivo que permite proveer protección a equipos eléctricos.
Campo magnético	Campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Desconexión	Interrupción del funcionamiento de un aparato o un sistema eléctrico al interrumpir el contacto con una fuente de energía.
Disparo	Nombre con que se conoce la apertura no voluntaria de un interruptor.
Disyuntor	Dispositivo que abre y cierre automáticamente el paso de la corriente eléctrica.

Eficiencia energética	Desarrollo de una actividad que implica prestación de servicios con el máximo de resultados útiles y con el menor gasto de portadores energéticos.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
Interruptor	Dispositivo eléctrico que permite desviar o interrumpir el paso de la corriente eléctrica.
NEC	Código Eléctrico Nacional.
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
Relé magnético	Dispositivo que se activa o desactiva cuando el electroimán, es energizado.
Relé térmico	Dispositivo que se utiliza para proteger contra falla de sobre calentamiento.
Sistema monofásico	Sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase.
Solenoides	Bobina, que, por su diseño, genera un campo magnético de gran intensidad.

***Time Saver
Diagnostics***

Tecnología que permite identificar el tipo de falla que ocurre, mejorando el tiempo de resolución de problemas.

Voltaje

Magnitud física en un circuito eléctrico que permite impulsar a los electrones a lo largo de un conductor.

RESUMEN

Las protecciones eléctricas residenciales son muy utilizadas en Guatemala, las mismas se utilizan por medio de dispositivos de protección de circuitos eléctricos que actúa ante dos distintos tipos de eventos; la parte térmica actúa ante una sobrecarga del circuito y la parte magnética lo hace ante un cortocircuito. El tiempo que tarda en abrirse el interruptor depende de lo sobrecargado que se encuentre el circuito, a mayor carga, menor será el tiempo que tardara en abrirse el interruptor, la parte magnética actúa cuando se produce un corto circuito en la instalación.

Ampliamente se tienen el conocimiento que la eficiencia energética en los interruptores termo magnéticos aumenta dependiendo de la calidad de los dispositivos y por ende aumentara la eficiencia en las instalaciones eléctricas y aparatos que estén conectados al sistema eléctrico.

El presente diseño de investigación busca implementar nuevas protecciones eléctricas a partir de interruptores termo magnéticos con tecnología de doble función (*dual function*), tecnología que permite contar con cuatro protecciones de falla al mismo tiempo; protección de falla a tierra, de cortocircuito, de sobrecalentamiento y de arco, creando una guía de instalación y enumerando una serie de beneficios que se tiene al implementar estas protecciones. Se realizará un análisis técnico y financiero para concluir con la viabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

El poco interés en mejorar las adecuadas protecciones eléctricas residenciales genera distintas problemáticas en instalaciones eléctricas, esto conlleva a una mala práctica de implementación, dado que se instalan interruptores termo magnéticos obsoletos, poco funcional y que no se instalan nuevas tecnologías de interruptores, además la falta de lineamientos de instalación de equipos de protección eléctricos. Una consecuencia de este problema es la mala práctica de instalación, ocasionando fallas eléctricas y generando daños a equipos, electrodomésticos, sobre todo lesiones y pérdidas humanas.

Este diseño de investigación implementara y aportara la guía de implementación de interruptores termo magnéticos de tecnología dual *function*; solucionando problemas de instalación, que mejorara las buenas prácticas de montaje, estableciendo los lineamientos necesarios para el desarrollo ambiental y mejorando la calidad energética, facilitando el mejoramiento en la instalación de los interruptores termo magnéticos residenciales.

Se realizará un estudio adecuado, se obtendrá una mejora en la calidad de las protecciones eléctricas residenciales y una mejor eficiencia energética. Este interruptor termo magnético dual, combina dos tecnologías de punta en un mismo dispositivo; protección de falla de arco y protección de falla a tierra, garantizando la vida humana, protegiéndolo contra descargas eléctricas, así mismo equipo y electrodomésticos, haciendo el buen uso de los recursos.

Para la realización de este estudio, se tendrá una fase inicial de exploración bibliográfica para la explicación del tema de investigación de todos sus componentes y variables, con esta información se determina las bases necesarias de implementación, adicional se define el área de estudio con la selección de la muestra, describiendo técnicamente la tecnología dual *function* del fabricante del dispositivo, estableciendo los lineamientos a seguir para la implementación. Se presenta un análisis financiero en la implementación para calcular su viabilidad de la aplicación residencial.

En el capítulo 1 se presentan los antecedentes más importantes para esta investigación. En el capítulo 2 se realizará una revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos de este dispositivo, tales como: definiciones, tipos y su aplicación de los interruptores termo magnéticos, tipo de protecciones eléctricas según sus fallas, descripciones técnicas del dispositivo, descripción de la tecnología dual, normas y reglamentaciones eléctricas que respalden dicho interruptor termo magnético. En el capítulo 3, se describe un análisis técnico del dispositivo. En el capítulo 4, se seleccionará el interruptor termo magnético. En el capítulo 5, se validará el dispositivo conforme al código eléctrico nacional, cumpliendo a cabalidad con la reglamentación. En el capítulo 6, se realizará un análisis comparativo económico con el nuevo interruptor dual y con los interruptores convencionales y en el capítulo 7, se presentarán los resultados más significativos y la discusión de estos, dando las conclusiones de la investigación y las recomendaciones para la continuidad de esta.

2. ANTECEDENTES

Actualmente en Guatemala no se encontraron estudios o investigaciones respecto de esta nueva tecnología en interruptores residenciales, pero es de conocimiento que ya se distribuye este equipo y por ende ya es utilizado en el sector de la construcción en el país. Los interruptores termo magnéticos convencionales son muy requeridos comercialmente, mientras estos nuevos interruptores termo magnéticos de doble función empiezan abrirse un nuevo mercado en Guatemala con este equipo.

Normalmente en otros países más desarrollados, son los que están utilizando estos interruptores termo magnéticos doble función, de ahí es donde se tienen más antecedentes del uso de esta protección eléctrica.

En la publicación *Diseño preliminar de un sistema de generación fotovoltaica y su protección eléctrica para los edificios S3, S6 y S8 de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala* (Hernández, 2016), se analizan las protecciones eléctricas mínimas a utilizar, ya que deben cumplir ciertas características en sus equipos como protección contra cortocircuitos, plantea que tener un sistema trifásico balanceado evita esta falla, teniendo 120° de desfase en cada corriente, esto para obtener cargas balanceadas, otra característica importante es evitar sobrecargas eléctricas, junto con un sistema puesto a tierra para pararrayos, que pueden proteger corrientes de rayo que oscilan entre 5,000 y 350,000 Amperios con una media de 50,000 Amperios. Garantizando protección y seguridad a los equipos instalados y sobre todo seguridad a la vida humana, optimizando la eficiencia energética.

En la publicación *Causas y efectos de las sobretensiones transitorias en plantas industriales y método de protección para disipar la perturbación eléctrica ocasionada por este evento* (Cifuentes, 2018), se establece que los equipos de protecciones eléctricas se instalan e implementan bajo lineamientos de instalación, según norma ANSI/IEEE C62.41-1991, así como lo establece el Código Eléctrico Nacional (NEC. 2014), utilizando sobretensiones transitorias para la protección de una instalación eléctrica residencial, debe proporcionarse protección al equipo contra fallas a tierra en acometidas eléctricas en estrella, puestas a tierra sólidamente, con una tensión a tierra superior a 150 voltios, pero no superior a 600 voltios entre fases.

En la publicación de Schneider Electric (2010), *Catálogo Compendiado No.32 para productos de distribución y control*, determinan que la protección eléctrica dual *function* combina 2 tecnologías; en una sola, siendo protección de falla a tierra y protección de falla de arco, estableciendo la frontera de protección contra arco es la distancia desde la fuente del arco (equipo expuesto energizado) a la cual la energía potencial de calor incidente de una falla por arco es de 1.2 cal/cm² sobre la superficie de la piel. Una exposición a 1.2 cal/cm² podría normalmente resultar en una quemadura curable de segundo grado. El ajuste máximo de la protección de falla a tierra deberá ser de 1200A y el tiempo máximo de retraso para corrientes de 3000Amp o más deberá ser de 1 segundo, asegurando el bienestar del ser humano y de los equipos de uso común.

En la publicación de Schneider Electric (2014) *Centro de carga y Breaker QO: Cumpliendo con el código eléctrico*, concluyen que los interruptores de circuito de función dual QO Square D con voltaje nominal 120/220 voltios y corriente nominal de 15 y 20 amperios, con una capacidad interruptora de 10KA y 22KA, cumplen con los requerimientos del NEC 2014 (Código Eléctrico

Nacional). Interruptor automático que se dispara instantáneamente en 1 segundo cuando ocurre la falla a tierra, se dispara en 2 segundos cuando ocurre la falla de arco, y se dispara en 5 segundos en sobrecarga térmica y cortocircuito.

En la publicación: *Disyuntor con bimetálico de disparo termo magnético para detectar corriente* Mackenzie (1996), establecen que un interruptor de circuito que tiene un disparo termo magnético, el voltaje a través del bimetálico se usa para detectar corrientes de carga. Esta señal de voltaje representativa de la corriente a través del bimetálico puede usarse como entrada para un detector de falla de arco. La señal se convierte en una señal di/dt con ancho de banda limitado. Si la magnitud de la señal di/dt excede un umbral indicativo del inicio de un arco un número predeterminado de veces dentro de un intervalo dado, se dispara el disyuntor.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de las adecuadas protecciones eléctricas residenciales genera distintos problemas de instalaciones eléctricas, esto conlleva a una mala práctica de implementación, dado que no se tiene lineamientos de instalación de equipos de protección eléctricos.

Una de las causas que hacen que no existan adecuadas protecciones eléctricas residenciales, es la carencia en lineamientos o normas que establezcan directrices de instalación de equipos de protección, esto genera desconocimiento de instalación.

La falta de interés en buscar nuevas tecnologías en protecciones eléctricas para implementarlas y reemplazar equipos obsoletos y convencionales, produciendo mala calidad en instalación y la poca eficiencia energética. Esto implica la poca supervisión en proyectos eléctricos, ya que normalmente se instala empíricamente y no se sigue un normativo de instalación.

Una consecuencia amarrada a esta problemática son las malas prácticas en la instalación de protecciones eléctricas provocando fallas eléctricas en las instalaciones residenciales y generando riesgos a los equipos y electrodomésticos domiciliarios, causando daños en su funcionalidad.

Lo anterior repercute en la seguridad industrial, todos los años muchos consumidores sufren lesiones y mueren dentro o alrededor de sus hogares. Las condiciones inseguras tales como circuitos sobrecargados y cables dañados, al

igual que el mal uso de equipos y otros productos eléctricos, generan grandes pérdidas económicas y humanas.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio:

- ¿Cómo se podrán implementar protecciones eléctricas residenciales utilizando interruptores termos magnéticos con tecnología de doble función?

Para responder esta interrogante se deberá contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son las protecciones eléctricas convencionales, que se usan en instalaciones residenciales?
- ¿Qué tecnología o aplicación puede solucionar las protecciones eléctricas?
- ¿Cómo se puede aplicar esta nueva tecnología para implementar las protecciones eléctricas de doble función?
- ¿Qué consecuencias o beneficios ocurren al implementar esta nueva tecnología?

4. JUSTIFICACION

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y uso eficiente de la energía del Área de Gestión Energética, de la Maestría en Energía y Ambiente.

En esta investigación se presentan las protecciones eléctricas residenciales utilizando interruptores de doble función, estableciendo lineamientos y uso de las buenas prácticas para su implementación, así como generando mayor seguridad residencial y humana dentro de las instalaciones eléctricas.

Con este estudio se obtendrá mayor eficiencia energética, así como la mejora en la calidad de las protecciones eléctricas residenciales. Este interruptor QO Dual *Breaker* combina dos tecnologías de punta: protección de falla de arco y protección de falla a tierra. Anteriormente, la única opción era utilizar un interruptor de circuito de falla de arco junto con el receptáculo de falla a tierra, el cual es caro y voluminoso. Este nuevo interruptor ayuda a reducir los costos, haciendo ambas funciones a la vez.

El estudio beneficia a las familias guatemaltecas, agencias, despachos, bufetes, oficinas en general, garantizando la vida humana protegiéndola contra descargas en el cuerpo, así mismo impacta en el medio ambiente, ya que está orientado hacia la eficiencia y el buen uso de los recursos.

Con esta investigación se darán lineamientos de implementación de este nuevo equipo de protección y que pueda ser útil en diseño, planificación y ejecución de proyectos residenciales, para ingenieros eléctricos.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Implementar protecciones eléctricas residenciales utilizando interruptores termo magnéticos con tecnología de doble función.

5.2. Específicos

- Determinar las protecciones eléctricas residenciales actuales que se utilizan en el mercado.
- Definir el tipo de tecnología en los interruptores termo magnéticos de doble función.
- Establecer los lineamientos necesarios para implementar las protecciones eléctricas de doble función.
- Interpretar los beneficios que se tiene al utilizar esta nueva tecnología en las protecciones eléctricas.

6. NECESIDADES PARA CUBRIR

Se presenta una deficiencia en la actualización y búsqueda de nuevas tecnologías en protecciones eléctricas residenciales, esto sucede por la falta de interés de cambiar protecciones eléctricas convencionales y obsoletas, por lo que se propone implementar protecciones eléctricas residenciales utilizando interruptores termo magnéticos con tecnología de doble función, protección de falla de arco y protección de falla a tierra, estableciendo lineamientos de implementación.

Las causas en la ausencia de directrices en la implementación, radica principalmente en el desinterés por solucionar las malas prácticas de instalación de protecciones eléctricas residenciales. Así mismo no existe supervisión de parte de empresas que velen por este problema y la falta de consciencia de todos los colaboradores instaladores. Este estudio proporcionara los protocolos de implementación, comenzando con la descripción técnica, seguido por las guías para su manejo y finalizando con la implementación en el ámbito residencial.

Se dará una investigación adecuada, lo que mejorará las buenas prácticas de instalación, evitará accidentes eléctricos, garantizando la vida humana y la protección de equipos y electrodomésticos, aportando eficiencia energética y el buen uso de los recursos.

Los beneficiarios directos serán todos los usuarios finales que utilicen las instalaciones eléctricas, familias guatemaltecas, agencias, despachos, bufetes y

oficinas en general, así mismo se estará cumpliendo con el desarrollo sostenible, mejorando la calidad energética.

El conocimiento y manejo de las protecciones eléctricas de doble función es importante para solucionar las malas prácticas de instalación residencial, dando las directrices de implementación para solucionar este problema, este estudio entrega herramientas para poder aplicarlo o adaptarlo en otra línea de investigación en nuevas tecnologías en protecciones eléctricas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Protecciones eléctricas

En ingeniería, las protecciones eléctricas residenciales se utilizan para evitar destrucciones o pérdidas de equipos e instalaciones que por fallas eléctricas causen pérdidas irreparables.

7.1.1. ¿Qué son las protecciones eléctricas?

Son un sistema de aparatos que se utiliza en el sistema eléctrico, que hace que se cumpla el Código Eléctrico Nacional NEC y sobre todo velar la seguridad humana y de aparatos y/o electrodomésticos. Estas protecciones eléctricas evitan las distintas fallas eléctricas y reducen los efectos de alto voltaje y bajo voltaje.

Los sistemas de protección eléctrica tienen como objetivo suministrar energía eléctrica al ser humano por medio de un grupo de máquinas o equipos que convierten esta energía en movimiento, luz, calor entre otras, esencial en la vida actual, todo el sistema eléctrico está integrado por partes creadas por el ser humano y por ende está sujeto a fallas técnicas o eléctricas, y es por esto que se utilizan estos equipos para corregir las fallas que se produzcan en las instalaciones eléctricas y salvaguardar la vida humana. (Cervantes, 2000, p. 7)

7.2. Interruptores termo magnéticos

Es un dispositivo que como su nombre indica combina dos efectos, el magnetismo y el calor, para interrumpir el paso de la corriente eléctrica de un circuito cuando se detectan valores mayores a ciertos límites.

7.2.1. ¿Para qué sirven los interruptores termo magnéticos?

El sistema eléctrico continuamente es sujeto a múltiples perturbaciones, la tierra es golpeada a diario por más de 40,000 tormentas eléctricas que provocan desgaste en las instalaciones eléctricas, estas perturbaciones ocasionan numerosos problemas en los equipos, como desgaste parcial o total de los mismos, así mismo las distintas fallas eléctricas que ocasionan por el mal uso de las instalaciones. Las protecciones eléctricas evitan que estas fallas provoquen daños a los equipos y al ser humano.

7.2.2. ¿Cómo funciona los interruptores termo magnéticos?

El funcionamiento de los interruptores termo magnéticos se basa en la circulación de la corriente eléctrica en un circuito eléctrico. Los efectos producidos por esta corriente son el magnético y el térmico. Los interruptores poseen tres sistemas de interrupción: manual, térmico y magnético, cada sistema actúa independientemente de los demás, estando construida su curva de disparo por la superposición de las características magnéticas y térmicas. (López y Viteri, 2010, p. 14)

Al momento que se detecta una falla eléctrica, los contactos del interruptor termo magnético deben abrir el contacto para interrumpir el circuito; una parte de la energía almacenada de forma mecánica (utilizando como

resortes o aire comprimido). Los interruptores llamados *breakers* pueden ser accionados manualmente; los *breakers* más grandes tienen solenoides para activar o desactivar el mecanismo, y otros equipos eléctricos para restablecer la electricidad. (López y Viteri, 2010, p. 15)

7.2.3. Tipos de Interruptores termo magnéticos

Los interruptores termo magnéticos están señalados con la corriente nominal en amperios, sin el símbolo de la unidad “A”. Caso contrario la cifra amperio se precede por una letra “B”, “C” o “D” que establece la intensidad de disparo automático, que es el mínimo valor de corriente eléctrica que hace que el interruptor actúe sin ningún retardo (es decir, menor a 100 ms). Se clasifica los *breakers* en dos distintos grupos: por su uso y nivel de voltaje y por la caracterización de su curva. (López y Viteri, 2010, p. 15)

7.2.3.1. Por su uso y nivel de voltaje

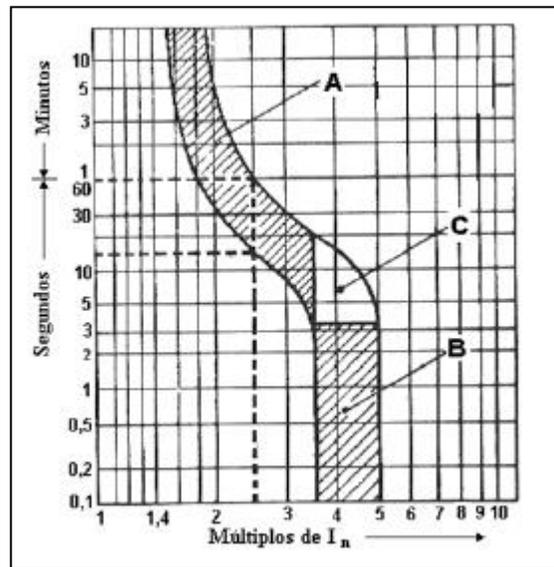
Debido a que existen interruptores termo magnéticos para distintos niveles de voltaje, de acuerdo con las necesidades del diseñador, instalador o usuario final, estos *breakers* se clasifican de la siguiente manera: interruptores de alto voltaje, mediano voltaje y bajo voltaje.

7.2.3.2. Por la forma de su curva

En la figura 1 se aprecian las características de la curva de desconexión de un *breaker*, “en la zona A se observa la reacción térmica, en la B se aprecia la reacción magnética, y por último en C, muestra el disparo que puede ser

provocado por la reacción magnética o térmica, indistintamente por cualquier reacción” (López y Viteri, 2010, p. 16).

Figura 1. **Curva de desconexión de un *breaker***



Fuente: López y Viteri (2010). *Aplicación de fusibles e interruptores termo magnéticos*.

7.3. Conceptos

La ingeniería eléctrica es el campo de la ingeniería que se ocupa del estudio y la aplicación de la electricidad, la electrónica y el electromagnetismo, se desarrollan conceptos básicos.

7.3.1. Protección térmica

La protección termo magnética, puede tener un relé térmico que funciona a base del calentamiento de un bimetálico, se produce según el mismo principio que el de los conductores, es decir; la temperatura de

calentamiento es proporcional al aporte de energía proporcionada por el paso de la corriente (I).

Durante un tiempo dado (t). De calentamiento directo para pequeños interruptores automáticos donde la corriente circula hacia el polo del interruptor automático atravesando el propio bimetálico, la constante de tiempo del bimetálico es en este caso baja y comparable con la de los cables a proteger. (González, 2011, p. 121)

7.3.2. Protección magnética

El relé magnético de una protección termo magnética funciona de la siguiente manera: en caso de cortocircuito, la corriente de defecto que atraviesa la bobina crea un campo magnético suficiente para provocar el desplazamiento de una lámina móvil, esta libera el mecanismo de retención de los resortes y abre los contactos con una acción brusca. Este relé instantáneo se constituye generalmente de una U de material magnético que constituye el núcleo y de una armadura, generalmente móvil, que asegura la protección contra los cortocircuitos. (González, 2011, p. 122)

7.3.3. Corriente de corto circuito

Se define como una conexión de relativamente baja resistencia o impedancia, entre dos o más puntos de un circuito que están normalmente a tensiones diferentes. Las corrientes de cortocircuitos se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por un

incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.

7.3.4. Corriente de sobre carga

Esta corriente puede sobrepasar el valor nominal y resultar inaceptable a partir de un cierto tiempo, durante el período transitorio de arranque, ya sea en toda o en parte de la instalación, la suma de las potencias de los receptores en funcionamiento rebasa las previsiones del diseñador. (González, 2011, p. 83)

7.3.5. Corriente nominal

Corriente nominal (o más débil), un interruptor automático destinado a cortar las enormes corrientes de cortocircuito y las prolongadas de sobrecarga, podrá evidentemente con corrientes más pequeñas, tal aparato de corte podrá asegurar sin ningún problema el mando y protección de circuitos y receptores. (González, 2011, p. 84)

7.3.6. Arco eléctrico

El arco eléctrico se le presentó a la primera persona que intentó abrir un circuito recorrido por una corriente eléctrica, el efecto se debe a que el circuito inductivo dota a los electrones de suficiente energía para saltar la distancia que aparece en la zona de separación de los conductores. Normalmente, son estos electrones los que ionizan el gas, sea el que sea, y la creación de plasma facilita desde el principio el paso de la corriente. (González, 2011, p. 127)

7.3.7. Selectividad

El objetivo de la selectividad es desconectar de la red el receptor o derivación con defecto y sólo ello para conseguir el objetivo de continuidad de servicio en su grado máximo. Si no se realiza un estudio de selectividad o éste está mal realizado, un defecto eléctrico puede producir el disparo de varios dispositivos de protección, es por ello que un único defecto puede provocar la falta de tensión en una parte más o menos grande de una instalación. (González, 2011, p. 138)

7.3.8. Filiación entre interruptores

La filiación es la utilización del poder de limitación de los interruptores automáticos, cuyo empleo está recomendado y previsto por la norma IEC 60364, esta limitación ofrece la posibilidad de instalar aguas abajo, interruptores automáticos con menores poderes de corte.

Los interruptores automáticos aguas arriba, juegan entonces un papel de barrera para las fuertes intensidades de cortocircuito, permitiendo de esta forma a interruptores automáticos de PdC inferior a la intensidad de cortocircuito presunta en el punto de instalación, ser solicitados con sus condiciones normales de corte, la limitación de la intensidad se hace a todo lo largo del circuito controlado por el interruptor automático limitador aguas arriba, la filiación afecta a todos los aparatos colocados aguas abajo de este interruptor automático. (González, 2011, p. 133)

7.4. ¿Qué es una falla eléctrica?

Los sistemas eléctricos están diseñados a base de normas, por lo tanto, un sistema 100 % confiables es imposible construir y diseñar, sumado la imposibilidad natural de adquirir un producto perfecto, así mismo no es aconsejable hacerlo desde un punto de vista económico, por lo que cualquier sistema eléctrico está expuesto a las emergencias relacionadas a las fallas eléctricas en su operación. Sumado al envejecimiento natural de los equipos y componentes de los sistemas eléctricos, es una de las mayores causas de la presencia de fallas en los sistemas. Además, existen fenómenos aleatorios y debidos a la naturaleza, que son causa muy usual de los problemas mencionados. (González, 2011, p. 134)

Un sistema eléctrico a prueba contra fallas no es práctico, mucho menos económico. Los sistemas eléctricos actuales que son fabricados con altos niveles de aislamiento tienen gran flexibilidad para que sus componentes puedan estar fuera de operación, con esto estaría afectando en lo más mínimo la continuidad del servicio. Además, a las diferencias de aislamiento, las fallas eléctricas pueden ser inconvenientes eléctricos, mecánicos y térmicos o de cualquier cambio que puedan producir estos problemas. (Cervantes, 2000, p. 9)

Tabla I. **Tipos de fallas eléctricas y sus causas**

Tipo	Causas
Aislamiento	Su principal causa son los errores de diseño y una mala fabricación, así como una inadecuada instalación y envejecimiento del aislamiento.
Eléctrico	Descargas atmosféricas, sobretensiones dinámicas y sobretensiones pro-maniobra.
Mecánicas	Esfuerzos por sobrecorriente, terremotos, impactos por objetos, nieve o viento.
Térmicas	Fallas de enfriamiento, sobretensión, sobrecorriente y temperatura ambiente.

Fuente: Ramírez (2012). *Protección de sistemas eléctricos*.

Tabla II. **Estadísticas de ocurrencia de fallas de acuerdo con el sitio**

<i>SITIO DE LA FALLA</i>	<i>% TOTAL</i>
Línea de transmisión	50
Cables	10
Equipos de interrupción	15
Transformadores	12
Transformadores de corriente y Potencial	2
Equipos de control	3
Otros	8

Fuente: Carrillo (2007). *Protecciones eléctricas notas de clase*.

7.4.1. Tipos de protecciones eléctricas

Para que una instalación sea segura, debe contar con la oportuna protección eléctrica para salvaguardar la integridad de personas, entornos y bienes. Se presentan tipos de protecciones eléctricas existentes.

7.4.1.1. Protección contra corto circuito

La protección debe ser capaz de soportar la corriente de arranque, cumpliendo con los estándares y normativas del código eléctrico nacional. Al momento de ocurrir un corto circuito, la fuerza electromotriz de la fuente alimentadora, se aplica una impedancia muy baja, por lo cual se evita que circulen corrientes perjudiciales al sistema eléctrico. El efecto de un cortocircuito se da por dos formas: incrementa por los esfuerzos térmicos y los esfuerzos dinámicos. (Carrillo, 2007, p. 101)

7.4.1.2. Protección a tierra

La protección falla a tierra, es usada para proporcionar protección contra sobre corriente y así misma protección de personal contra falla a tierra, en sistemas de 120/240 voltio en corriente alterna. Las protecciones están fabricadas cumpliendo los normativos de construcción, su mecanismo de operación es que cuenta con disparo libre, de apertura y cierre rápido, asegurando la apertura instantánea de todos los polos. Un solenoide operado por un circuito que proporciona la protección contra la falla de tierra. (Sanmiguel, 2001, p. 115)

7.4.1.3. Protección contra sobre calentamiento

El sobre calentamiento se da como cuando se tiene desperfectos en el sistema de refrigeración del dispositivo. Los interruptores operan por intensidad de corriente, estos no reaccionan al calor de un circuito eléctrico, causado por tornillos de conexión flojos, fallos en su ventilación o contactos ya desgastados que provocan sobrecalentamiento en el dispositivo.

7.4.1.4. Protección contra arco eléctrico

La protección de arco eléctrico se enfoca en evitar descargas eléctricas que pueden alcanzar temperaturas arriba de 3,500 grados Celsius, estas descargas producen una gran luminosidad y un gran desprendimiento de calor. En ambos fenómenos son destructivos tanto para los dispositivos como para el ser humano. Una de las causas de esta falla son las impurezas y polvo en exterior de la superficie donde se encuentra el aislamiento provocando un camino para la corriente eléctrica, permitiendo y creando una descarga del arco a través de la superficie, creando un mayor arqueo, la corrosión puede crear impurezas en la superficie del aislamiento, esta falla se produce con la exposición de las líneas eléctricas iniciando el arco eléctrico de una falla. (López y Viteri, 2010, p. 35)

7.5. Descripción general del dispositivo

Estos son interruptores termo magnéticos del circuito, tienen diferentes configuraciones estándar, esto para cables al neutral y también neutro enchufable con el fin de ahorrar tiempo, combinan dos tecnologías de última generación: protección de falla de arco y protección de falla a tierra en un

mismo dispositivo de fácil instalación. El interruptor de función dual facilita seguridad eléctrica de un gran alto nivel para los usuarios de las instalaciones eléctricas (Schneider Electric, 2014).

Los interruptores termo magnéticos dual, brindan grandes beneficios a los electricistas y propietarios de viviendas, al igual que los interruptores de circuito de falla de arco, estos están integrados con *Time Saver diagnostics*, una función única que brinda información sobre los circuitos y mejora la resolución de todos los problemas que se presenten con tan solo de pulsar un botón (Schneider Electric, 2014).

7.5.1. ¿Cómo funciona el *Time Saver Diagnostics*?

Esta aplicación identifica los distintos problemas en el circuito eléctrico con mucha mayor rapidez. La secuencia del *Time Saver* es práctica, simple y fácil de utilizar y no requiere de herramientas, mucho menos de capacitación. Únicamente basta con apagar el interruptor del circuito, pulsar el botón “*test*”, después volver a encender el interruptor. Caso contrario si se acciona el interruptor, después de una demora de 2 segundos, identifica una falla de arco. En cualquiera que fuera el caso, indica que existe un problema en el circuito y no en el interruptor. El *Time Saver Diagnostics* está incluido en todos los interruptores de circuito con falla de arco de 1 y 2 polos (Schneider Electric, 2014).

7.5.2. Beneficios

El uso de estos interruptores dual genera muchos beneficios. Ahorra tiempo: la protección de falla a tierra y la protección de falla de arco en un único dispositivo permite una instalación rápida. Ahorra dinero: tiene un menor costo

en comparación con la compra de dos dispositivos independientes. Ahorra espacio: dos tecnologías de punta de la rama de la ingeniería en un solo dispositivo, no se requiere conectar cables hacia el receptáculo luminoso. Fácil de utilizar: equipado con el *Time Saver Diagnostics* siendo simple, eficiente, práctico y facilita información sobre el circuito únicamente con solo pulsar el botón (Schneider Electric, 2014).

7.5.3. Descripción técnica del dispositivo

El interruptor termo magnético dual contiene una serie de características y beneficios que ayudan al mejoramiento en la implementación de las protecciones eléctricas residenciales, mejorando la eficiencia energética.

7.5.3.1. Características técnicas Interruptor dual GFCI (falla a tierra)

La falla a tierra es una fuga de corriente eléctrica que busca un medio de conducción para drenar a tierra, normalmente se produce cuando se tiene deterioro en el aislante, provocando sobrecargas. Las características técnicas de este dispositivo son:

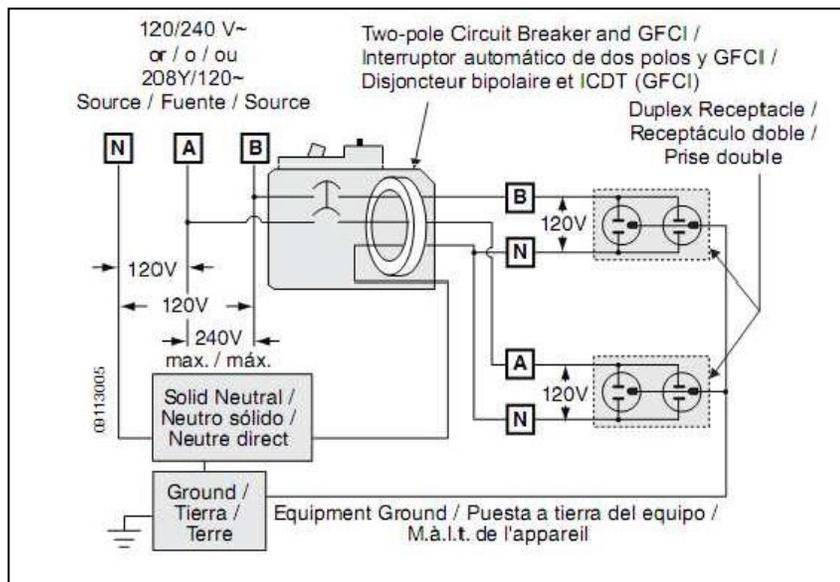
- Voltaje de operación de 120/240 Voltios corriente alterna
- Frecuencia de operación de 60 Hertz
- Corriente de corto circuito de 10,000 amperios a 22,000 amperios
- 15-30 amperios 1 polo
- 15-60 amperios 2 polos
- 15-60 amperios 3 polos
- Indicador VISI-TRIP

Tabla III. **Especificaciones de amperaje de la corriente nominal para *breaker* de 1 polo**

Tipo de interruptor automático	Amperaje de la corriente nominal	1 P a 120Vca de 10k A nom I 1 espacio requerido	1 P a 120Vca de 22k A nom I 1 espacio requerido
Interruptor de circuito QO de función dual con neutro en espiral	15 20	QO115DF QO120DF	QO115VHDF QO120VHDF
Interruptor de circuito QO™ con neutro enchufable de función dual	15 20	QO115PDF QO120PDF	QO115VHPDF QO120VHPDF
Interruptor de circuito Homeline de función dual con neutro en espiral	15 20	HOM115DF HOM120DF	-----
Interruptor de circuito Homeline con neutro enchufable de función dual	15 20	HOM115PDF HOM120PDF	-----

Fuente: Schneider Electric (2014). *Centro de carga y Breaker QO: Cumpliendo con el código eléctrico nacional 2014.*

Figura 2. **Diagrama de conexión interruptor GFCI**

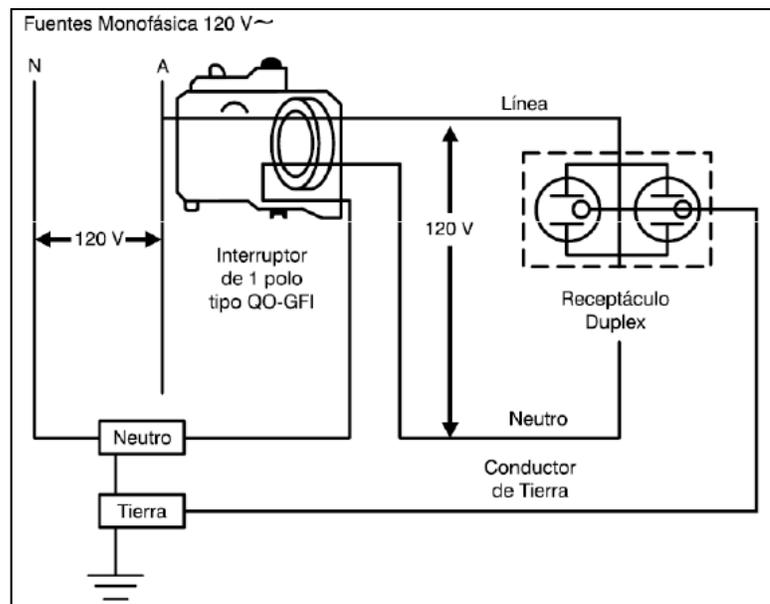


Fuente: Schneider Electric (2008). *Centro de carga y Breaker QO: Cumpliendo con el código eléctrico nacional 2014.*

7.5.3.2. ¿Cómo funciona un interruptor dual AFCI (falla de arco)?

La falla de arco se da cuando una corriente eléctrica sobre pasa el espacio de aire desde un dispositivo energizado a un componente puesto en la tierra. La unida AFCI utiliza la información del circuito eléctrico que toma la lectura por medio de un sensor a través de los transformadores de corriente u otros dispositivos para realizar un análisis para determinar si un arco eléctrico está presente, y si se trata de un arco que debe ser interrumpida (Schneider Electric, 2014).

Figura 3. Diagrama de conexión interruptor AFCI



Fuente: Schneider Electric (2010). *Electric. Catalogo Compendiado No.32 para productos de distribución y control.*

7.5.3.3. Procedimiento de indicación de falla

Para la implementación de protecciones eléctricas con tecnología de doble función (*dual function*), es necesario establecer un procedimiento, esto para conocer qué tipo de falla ha ocurrido en el sistema eléctrico.

- Colocar el interruptor automático en la posición de abierto (*on/off*).
- Oprima firmemente el botón de prueba purpura “test” y continúe sosteniendo hasta el paso 4.
- Mueva a la palanca a la posición de cerrado (I/ON).
- El interruptor automático deberá dispararse en uno de los siguientes tiempos.

Tabla IV. **Tiempos de disparos del interruptor**

Se dispara instantáneamente (menos de 1 segundo)	Falla a tierra Incluye: Arqueo a tierra Neutro compartido Neutro conectado a tierra Falla a tierra
Se dispara en 2 segundos	Falla por arqueo Incluye: Falla por arqueo paralela Falla por arqueo en serie
Se dispara en 5 segundos	Procedimiento completo Incluye: No hubo falla Sobrecarga térmica Cortocircuito

Fuente: Schneider Electric (2010). *Electric. Catalogo Compendiado No.32 para productos de distribución y control.*

7.5.4. Clasificación de interrupción eléctrica según su capacidad (Amperios)

La capacidad de interrupción de un interruptor termo magnético es la corriente más alta o el voltaje nominal que el interruptor automático está destinado a interrumpir en condiciones de prueba estándar. Se debe escoger un disyuntor para que la capacidad de interrupción sea igual o mayor que la corriente de corto circuito máxima disponible en el punto donde se aplique el disyuntor en el sistema eléctrico (Schneider Electric, 2008).

Tabla V. Clasificación de interrupción

Circuit Breaker Type	Number of Poles	Ampere Rating	UL Listed Interrupting Rating ¹			
			120 Vac	120/240 Vac	240 Vac	48 Vdc ²
QO	1	10-70 A	10 kA	10 kA	---	5 kA
		10-70 A	10 kA	10 kA	10 kA	5 kA
		80-100 A	10 kA	10 kA	10 kA	---
	2	110-200 A	10 kA	10 kA	---	---
		15-60 A	10 kA	10 kA	10 kA	5 kA
		70-100 A	10 kA	10 kA	10 kA	---
QOB	1	10-70 A	10 kA	10 kA	---	5 kA
		10-70 A	10 kA	10 kA	10 kA	5 kA
		80-100 A	10 kA	10 kA	10 kA	---
	2	110-125 A	10 kA	10 kA	---	---
		15-60 A	10 kA	10 kA	10 kA	5 kA
		70-100 A	10 kA	10 kA	10 kA	---
QO-H, QOB-H	2	15-100 A	10 kA ³	10 kA ³	10 kA ³	---
QO-VH	1	15-30 A	22 kA	22 kA	---	---
	2	15-200 A	22 kA	22 kA	---	---
	3	15-100 A	22 kA	22 kA	22 kA	---
QOB-VH	1	15-30 A	22 kA	22 kA	---	---
	2	15-125 A	22 kA	22 kA	---	---
	3	15-150 A	22 kA	22 kA	22 kA	---
QOH	1	40-125 A	42 kA	42 kA	---	---
QH, QHB	1	15-30 A	65 kA	65 kA	---	---
	2	15-30 A	65 kA	65 kA	---	---
	3	15-30 A	65 kA	65 kA	65 kA	---
QO-GFI, QOB-GFI	1	15-30 A	10 kA	---	---	---
	2	15-60 A	10 kA	10 kA	---	---
QO-VHGF1, QOB-GFI	1	15-30 A	22 kA	---	---	---
QO-AFI, QOB-AFI	1	15-30 A	10 kA	---	---	---
QO-CAFI, QOB-CAFI	1	15-30 A	10 kA	---	---	---
QO-VHCAFI, QOB-VHCAFI	1	15-30 A	22 kA	---	---	---
QO-EPD, QOB-EPD	1	15-30 A	10 kA	---	---	---
	2	15-60 A	10 kA	10 kA	---	---
QO-PL	1	15-30 A	10 kA	10 kA	10 kA	---
	2	15-30 A	10 kA	10 kA	10 kA	---
	3	15-30 A	10 kA	10 kA	10 kA	---

¹ 10 kA and 5 kA are 10-30.

² DC ratings do not apply to circuit breakers rated 10 A.

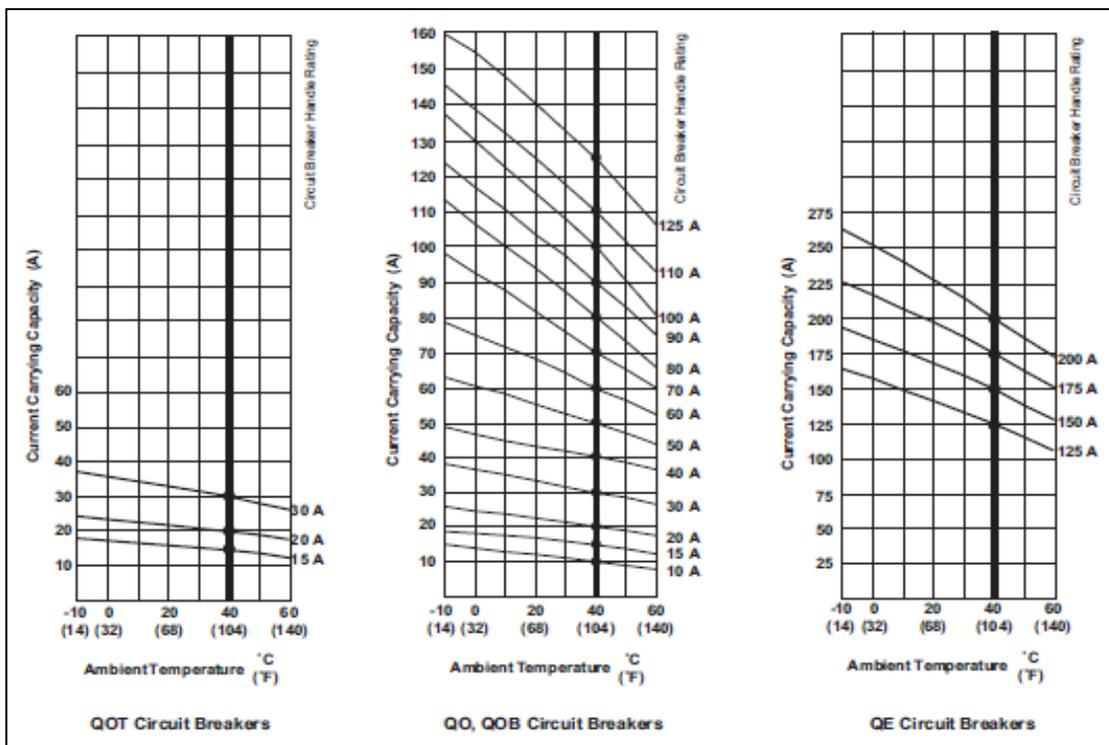
³ UL Listed 5,000 AIR on 3Ø grounded B-Phase Delta system.

Fuente: Schneider Electric (2008). *QO and QOB Miniature Circuit Breakers*.

7.5.5. Clasificación de interrupción eléctrica según su temperatura

Para cumplir con las normas establecidas de los fabricantes, los disyuntores de caja moldeada están diseñados, construidos y calibrados para sistemas de corriente alterna y a una frecuencia de 60 Hz, a una temperatura ambiente de 40 grados Celsius. Cuando se aplica a temperaturas ambiente diferentes a 40 grados Celsius, la capacidad de transporte de corriente y/o disparo las características del interruptor automático pueden variar significativamente (Schneider Electric, 2008).

Figura 4. Curvas de revaloración ambiental



Fuente: Schneider Electric (2008). QO and QOB Miniature Circuit Breakers.

7.6. Normas aplicables (NEMA, NEC) y reglamentaciones

Recientemente no existe una norma global, sumado a todos los reglamentos que existen en diferentes partes. Entre las normas IEC, ANSI, IEEE y NEC decretan niveles de voltaje estandarizados para alta, media y baja tensión. En la mayoría de los casos se hace referencia que no mayor de 1000 Voltios, ya se considera baja tensión, en Guatemala las normas decretadas por la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica) son las que rigen totalmente el sector eléctrico para todo el país, señalando que si se habla de tensiones no mayores a 1000 voltios se considera que es baja tensión.

Las normas NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*), es una asociación que realiza las normas que definen un proceso, producto o procedimiento, refiriéndose a varios términos, nomenclatura, construcción, composición, dimensiones, seguridad, tolerancias, características de funcionamiento, rendimiento, calidad, pruebas, capacidad eléctrica y servicio para el cual fue diseñado.

El Código Eléctrico Nacional (NEC), establece las bases para la seguridad eléctrica en edificios, residenciales, comerciales, y otras ocupaciones en el ámbito eléctrico. El código es una extensa colección de artículos, esto para garantizar la segura instalación de los equipos y cableados eléctricos. El código eléctrico es demasiado extenso, para este estudio se utilizará como referencia el capítulo 2 que trata de protecciones eléctricas y cableado.

7.6.1. Generalidades

“La protección contra sobre corriente de los conductores y de los equipos se instala de modo que abra el circuito, si la corriente alcanza un valor que

cause una temperatura excesiva o peligrosa en los conductores o su aislamiento” (Código Eléctrico Nacional, artículo 240, 2014, p. 126). La función principal es prevenir fallas eléctricas que sean causadas por la naturaleza, desperfectos de las instalaciones o por errores humanos evitando daños a las personas y equipos instalados.

7.6.2. Definiciones

Existe una definición para dispositivos de protección contra sobre corriente, tal como lo define el Código Eléctrico Nacional, esta definición servirá como base para implementar las nuevas protecciones.

7.6.2.1. Dispositivo de protección contra sobre corriente tipo limitador de corriente

Dispositivo que, cuando interrumpe corrientes en su gama de limitación de corriente, reduce la corriente que fluye en el circuito en falla a una magnitud significativamente menor que la que se obtiene en el mismo circuito, si el dispositivo se reemplazara con un conductor sólido de impedancia comparable. (Código Eléctrico Nacional, artículo 240.2, 2014, p. 126)

7.6.3. Protecciones de los conductores

“Los conductores que no sean cordones flexibles, cables flexibles ni alambres de artefactos, se deben proteger contra sobre corriente de acuerdo con su ampacidad, excepto los casos permitidos o exigidos en las secciones” (Código Eléctrico Nacional, artículo 240.2, 2014, p. 126).

7.6.3.1. Peligro de pérdida de potencia

No se debe exigir protección de los conductores contra sobrecarga cuando la interrupción del circuito pueda crear un riesgo, por ejemplo, en los circuitos magnéticos de manejo de materiales o en bombas contra incendios. En estos casos se debe proporcionar protección contra cortocircuitos. (Código eléctrico nacional, artículo 240.2, 2014, p. 126)

7.6.3.2. Dispositivos de 800 amperios nominales o menos

Se permitirá el uso de un dispositivo de protección contra sobre corriente estándar, del valor nominal inmediato superior (sobre la ampacidad de los conductores que proteja), siempre que se cumplan en su totalidad las siguientes condiciones:

- i. Que los conductores protegidos no formen parte de un circuito ramal con varias salidas que alimenten receptáculos para cargas portátiles conectadas con cordón y clavija.
- ii. Que la ampacidad de los conductores no corresponda a la corriente nominal estándar de un fusible o de un interruptor automático sin ajuste para disparo por sobrecarga por encima de su valor nominal (pero se permitirá que tenga otros ajustes de disparo o valores nominales).
- iii. Que el valor nominal estándar inmediatamente superior seleccionado no supere los 800 amperios. (Código Eléctrico Nacional, 2014, p. 128)

7.6.3.3. Dispositivos de más de 800 amperios nominales

“Cuando el dispositivo de protección contra sobre corriente sea de más de 800 amperios nominales, la ampacidad de los conductores que protege debe ser igual o mayor que la corriente nominal del dispositivo” (Código eléctrico nacional, artículo 240.4, 2014, p. 130).

7.6.4. Valores en amperios nominales normalizados

En el Código Eléctrico Nacional, establece niveles de amperios normalizados y niveles de amperios no normalizados en interruptores termo magnéticos.

7.6.4.1. Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo

Los valores en amperios nominales normalizados de los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperios. Los valores en amperios nominales normalizadas adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con valores nominales en amperios no normalizadas. (Código eléctrico nacional, artículo 240.6, 2014, p. 132)

7.6.4.2. Interruptores automáticos de disparo ajustable

La capacidad nominal de corriente de los interruptores automáticos de disparo ajustable que tengan medios externos para regular el ajuste de la corriente (ajuste de tiempo largo) que no cumplan los requisitos de la sección, debe ser el valor máximo posible de ajuste. (Código eléctrico nacional, artículo 240.6, 2014, p. 132)

7.6.4.3. Interruptores automáticos de disparo ajustable y acceso restringido

Se permitirá que un interruptor automático que tiene acceso restringido al medio de ajuste tenga uno(s) valor(es) nominal(es) en amperios que sea(n) igual(es) a la posición de corriente ajustada (ajuste de tiempo largo). El acceso restringido se debe definir como la ubicación bajo de alguno de los siguientes:

- i. Cubiertas removibles y sellables sobre el medio de ajuste.
- ii. Puertas atornilladas de la envolvente del equipo.
- iii. Puertas con cerradura, accesibles solamente a personal calificado. (Código Eléctrico Nacional, artículo 240.6, 2014, p. 132)

7.6.5. Fusibles o interruptores automáticos en paralelo

Se permitirá que los fusibles e interruptores automáticos estén conectados en paralelo si son ensamblados en paralelo en fábrica y listados como una sola unidad. Los fusibles individuales, interruptores automáticos o

combinaciones de ellos, no se deben conectar en paralelo de otra manera diferente. (Código Eléctrico Nacional, artículo 240.8, 2014, p. 132)

7.6.6. Dispositivos térmicos

Los relés térmicos y otros dispositivos, no diseñados para abrir cortocircuitos o fallas a tierra, no se deben usar para la protección de los conductores contra sobrecorrientes producidas por cortocircuitos o fallas a tierra, pero sí se permitirá su uso para proteger contra sobrecargas a los conductores de los circuitos ramales de motores si están protegidos. (Código Eléctrico Nacional, artículo 240.9, 2014, p. 132)

7.6.7. Protección suplementaria contra sobre corriente

Cuando se utilice protección suplementaria contra sobre corriente en luminarias, electrodomésticos y otros equipos o para los circuitos y componentes internos de los equipos, no se debe usar como sustituto de los dispositivos de protección contra sobre corriente de los circuitos ramales ni en lugar de la protección de los circuitos ramales. No se exigirá que los dispositivos suplementarios contra sobre corriente sean fácilmente accesibles. (Código eléctrico nacional, artículo 240.10, 2014, p. 132)

7.6.8. Coordinación de los sistemas eléctricos

Cuando se requiera una interrupción programada para reducir al mínimo el riesgo o riesgos para las personas y equipos, se permitirá un sistema de coordinación basado en las dos condiciones siguientes:

1. Protección coordinada contra cortocircuitos.

2. Indicación de sobrecarga mediante sistemas o dispositivos de monitoreo.

Nota: el sistema de monitoreo puede hacer que esa situación produzca una alarma que permita tomar medidas correctivas o una interrupción programada del circuito, reduciendo así al mínimo los riesgos para las personas y los daños de los equipos. (Código Eléctrico Nacional, artículo 240.12, 2014, p. 133)

7.6.9. Protección de los equipos contra fallas a tierra

La protección de los equipos contra fallas a tierra se debe proporcionar de acuerdo con lo establecido al código eléctrico nacional para sistemas eléctricos en estrella, conectados a tierra sólidamente, de más de 150 voltios a tierra, pero que no superen los 600 voltios entre fases, para cada dispositivo individual utilizado como medio principal de desconexión de un edificio o estructura, con capacidad nominal de 1,000 amperios o más

Las disposiciones de esta sección no se deben aplicar a un medio de desconexión para:

1. Procesos industriales continuos, en donde una parada no programada introducirá riesgos adicionales o incrementará los existentes.
2. Instalaciones en las que la protección contra fallas a tierra está prevista por otros requisitos para acometidas o alimentadores.
3. Bombas contra incendios (Código eléctrico nacional, artículo 240.13, 2014, p. 133).

7.6.10. Protección con interruptor de circuito por falla de arco

Las protecciones eléctricas son capaces de detectar y proteger 4 fallas eléctricas, para este diseño de investigación se estudia el interruptor de circuito por falla de arco (AFCI).

7.6.10.1. Definición

Un interruptor de circuito por falla de arco (AFCI) es un dispositivo destinado a brindar protección contra los efectos de falla de arco, mediante el reconocimiento de las características únicas de la formación del arco y mediante su funcionamiento para desenergizar el circuito cuando se detecta la falla de arco. (Código Eléctrico Nacional, artículo 210.12, 2014, p. 56)

7.6.10.2. Unidades de vivienda

Todos los circuitos ramales que alimentan salidas monofásicas de 120 voltios, 15 y 20 amperios instaladas en habitaciones familiares, comedores, salas de estar, salones, bibliotecas, cuartos de estudio, alcobas, solarios, salones para recreación, armarios, pasillos o habitaciones o áreas similares en unidades de vivienda, se deben proteger con un interruptor listado de circuito por fallas de arco, tipo combinación, instalado para brindar protección al circuito ramal. (Código Eléctrico Nacional, artículo 210.12, 2014, p. 56)

7.6.11. Interruptores automáticos

Es un dispositivo de protección contra fallas de sobrecargas y cortocircuitos que tiene la capacidad de actuar cuando detecta la falla sin dañarse y sin dañar las instalaciones eléctricas.

7.6.11.1. Modo de operación

Los interruptores automáticos deben ser de disparo libre y se deben poder abrir o cerrar manualmente. Se permitirá que su modo normal de funcionamiento sea diferente del manual, por ejemplo; eléctrico, si además cuenta con medios para su accionamiento manual.

7.6.11.2. Indicación

Los interruptores automáticos deben indicar claramente si están en posición abierta (circuito desconectado OFF) o cerrada (circuito conectado ON). Cuando las palancas de los interruptores automáticos se accionen verticalmente y no de forma rotacional ni horizontal, la posición de circuito cerrado (ON) debe ser con la palanca hacia arriba.

7.6.11.3. No alterables

Un interruptor automático debe estar diseñado de modo que cualquier alteración de su punto de disparo (calibración) o del tiempo requerido para su operación, exija desmantelar el dispositivo o romper un sello para realizar ajustes distintos de los previstos.

7.6.11.4. Marcado

El marcado e identificación de los interruptores termo magnéticos es indispensable, marcado que permitirá una mayor visibilidad.

7.6.11.4.1. Duradero y visible

Los interruptores automáticos deben estar marcados con su corriente nominal de forma duradera y visible después de instalarlos. Se permitirá que tales marcas sean visibles al remover la guarnición o cubierta.

7.6.11.4.2. Ubicación

Los interruptores automáticos de 100 amperios nominales o menos y 600 voltios nominales o menos deben tener su valor nominal en amperios moldeado, estampado, grabado o marcado de algún modo similar en sus palancas o en un rótulo o un área que rodee la palanca.

7.6.11.4.3. Valor nominal de interrupción

Todos los interruptores automáticos con valor nominal de interrupción distinta de 5,000 amperios deben llevar visible su valor de interrupción. No se debe exigir que este valor nominal de interrupción vaya marcada en interruptores automáticos usados para protección suplementaria.

7.6.11.4.4. Usados como des conectivos

Los interruptores automáticos usados como des conectivos en circuitos de alumbrado fluorescente de 120 voltios y 277 voltios deben estar listados y

marcados con las letras SWD o HID. Los interruptores automáticos usados como des conectivos en circuitos de alumbrado de descarga de alta intensidad deben ser listados y estar marcados con las letras HID.

7.6.11.4.5. Marcado de la tensión

Los interruptores automáticos deben estar marcados con una tensión nominal no inferior a la tensión nominal del sistema, que sea indicadora de su habilidad para interrumpir corrientes de falla entre fases o entre fase y tierra.

7.6.12. Aplicaciones

Se permitirá la instalación de un interruptor automático con una sola tensión nominal, por ejemplo 240 voltios o 480 voltios, en un circuito en el que la tensión nominal entre dos conductores cualesquiera no supere la tensión nominal del interruptor automático. No se debe utilizar un interruptor automático bipolar para proteger circuitos trifásicos conectados en delta con una esquina puesta a tierra, a menos que esté rotulado como 1 o-3 o, que indican dicha utilidad.

Se permitirá la instalación de un interruptor automático con dos tensiones nominales separadas por una diagonal, por ejemplo, de 120/240 voltios o 480Y/277 voltios, en un circuito puesto a tierra sólidamente, en el que la tensión nominal de cualquier conductor a tierra no supere el menor de los dos valores de tensión del interruptor automático y además la tensión nominal entre dos conductores cualesquiera no supere la mayor tensión nominal del interruptor automático.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTEDECENTE DE LA INVESTIGACIÓN

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Protecciones eléctricas

2.1.1. ¿Qué son las protecciones eléctricas?

2.2. Interruptores termo magnéticos

2.2.1. ¿Para qué sirven los interruptores termo magnéticos?

2.2.2. ¿Cómo funcionan los interruptores termo magnéticos?

2.2.3. Tipos de Interruptores termo magnéticos

2.2.3.1. Por su uso y nivel de voltaje

2.2.3.2. Por la forma de su curva

2.3. Conceptos

2.3.1. Protección térmica

2.3.2. Protección magnética

2.3.3. Corriente de corto circuito

2.3.4. Corriente de sobre carga

- 2.3.5. Corriente nominal
- 2.3.6. Arco eléctrico
- 2.3.7. Selectividad
- 2.3.8. Filiación entre interruptores
- 2.4. ¿Qué es una falla eléctrica?
 - 2.4.1. Tipos de protecciones eléctricas
 - 2.4.1.1. Protección contra corto circuito
 - 2.4.1.2. Protección a tierra
 - 2.4.1.3. Protección contra sobrecalentamiento
 - 2.4.1.4. Protección contra arco eléctrico
- 2.5. Descripción general del dispositivo
 - 2.5.1. ¿Cómo funciona el *Time Saver Diagnostics*?
 - 2.5.2. Beneficios
 - 2.5.3. Descripción técnica del dispositivo
 - 2.5.3.1. Características técnicas Interruptor dual GFCI (falla a tierra)
 - 2.5.3.2. ¿Cómo funciona un interruptor dual AFCI (falla de arco)?
 - 2.5.3.3. Procedimiento de indicación de falla
 - 2.5.4. Clasificación de interrupción eléctrica según su capacidad (Amperios)
 - 2.5.5. Clasificación de interrupción eléctrica según su temperatura
- 2.6. Normas Aplicables (NEMA. NEC) y reglamentaciones
 - 2.6.1. Generalidades
 - 2.6.2. Definiciones
 - 2.6.2.1. Dispositivo de protección contra sobre corriente tipo limitador de corriente
 - 2.6.3. Protección de los conductores

- 2.6.3.1. Peligro de pérdida de potencia
- 2.6.3.2. Dispositivos de 800 amperios nominales o menos
- 2.6.3.3. Dispositivos de más de 800 amperios nominales
- 2.6.4. Valores en amperios nominales normalizados
 - 2.6.4.1. Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo
 - 2.6.4.2. Interruptores automáticos de disparo ajustable
 - 2.6.4.3. Interruptores automáticos de disparo ajustable y acceso restringido
- 2.6.5. Fusibles o interruptores automáticos en paralelo
- 2.6.6. Dispositivos térmicos
- 2.6.7. Protección suplementaria contra sobre corriente
- 2.6.8. Coordinación de los sistemas eléctricos
- 2.6.9. Protección de los equipos contra fallas a tierra
- 2.6.10. Protección con interruptor de circuito por falla de arco
 - 2.6.10.1. Definición
 - 2.6.10.2. Unidades de vivienda.
- 2.6.11. Interruptores automáticos
 - 2.6.11.1. Modo de operación
 - 2.6.11.2. Indicación
 - 2.6.11.3. No alterables
 - 2.6.11.4. Marcado
 - 2.6.11.4.1. Duradero y visible
 - 2.6.11.4.2. Ubicación
 - 2.6.11.4.3. Valor nominal de interrupción
 - 2.6.11.4.4. Usados como desconectivos
 - 2.6.11.4.5. Marcado de la tensión

2.6.12. Aplicaciones

3. ANALISIS TÉCNICO DE LA INFORMACIÓN DEL DISPOSITIVO
4. SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO ELÉCTRICO
5. VALIDACIÓN DEL DISPOSITIVO TERMO MAGNÉTICO CONFORME AL CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL
6. ANÁLISIS ECONÓMICO
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGIA

9.1. Tipo de estudio

El presente diseño se considera cuantitativo descriptivo, pues se implementará protecciones eléctricas residenciales, utilizando interruptores termo magnéticos con tecnología de doble función, por medio de una tecnología que incluye protección de falla a tierra y protección de falla de arco, en un mismo dispositivo, garantizando la protección eléctrica residencial.

9.1.1. Definición de variables

A continuación, en la tabla VI, se presentan las definiciones de las variables de este estudio.

Tabla VI. Definición de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Corriente Eléctrica	Es la intensidad de una corriente constante mantenida en conductores eléctricos, mediante el flujo de electrones.	Se seleccionará en amperios (A) el interruptor termo magnético de acuerdo a la capacidad del conductor eléctrico.
Voltaje	Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.	Se elegirá en Voltios (V) el interruptor termo magnético de acuerdo al sistema de operación de las instalaciones eléctricas.
Distancia de protección de falla de arco (CAFI)	Es una magnitud física que mide la longitud entre dos puntos. (distancia entre el dispositivo y el alcance de la protección)	Se establecerá las distancias mínimas en metros (m), de la zona de peligro frente al arco eléctrico, de acuerdo al código eléctrico nacional.

Continuación de tabla VI.

Distancia de protección de Receptáculo de falla a tierra (GFCI)	Es una magnitud física que mide la longitud de dos puntos. (distancia entre el dispositivo y el alcance de la protección)	Se establecerá las distancias mínimas en metros (m), de la zona de peligro frente a la falla de tierra, de acuerdo con el código eléctrico nacional.
Tiempo	Es el tiempo mínimo que para que el dispositivo interrumpa el flujo de electricidad al momento de ocurrir una falla.	Se determinará el tiempo en segundos(s), de accionamiento del interruptor de acuerdo al tipo de falla que ocurra.

Fuente: elaboración propia.

9.2. Fases de estudio

Para la metodología de la investigación se tienen distintas fases de estudio que permitirán desarrollar la investigación de una manera ordenada, clara, practica y sobre todo entendible.

9.2.1. Fase 1: exploración bibliográfica

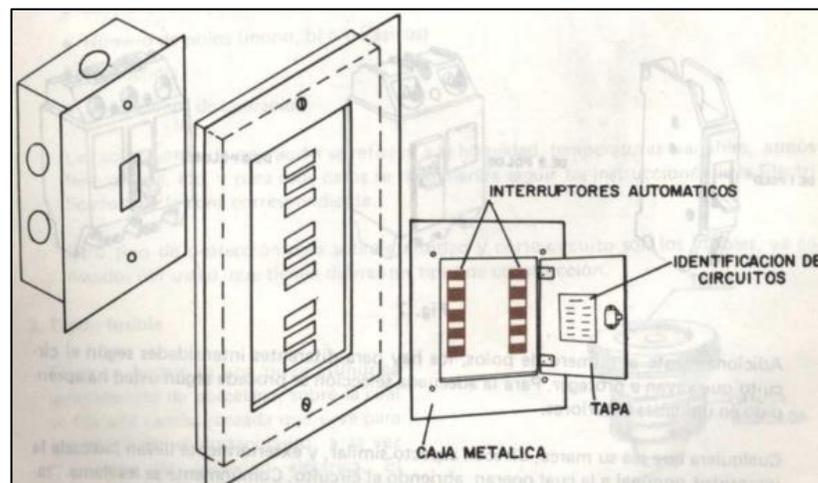
En esta primera fase se revisará toda la bibliografía oportuna, para la explicación del tema de estudio de todas sus componentes y variables. Con esta información se establecerán las bases necesarias para la implementación de interruptores termo magnéticos de doble función, con el objetivo de mejorar las buenas prácticas de instalación y el mejoramiento de la eficiencia energética.

9.2.2. Fase 2: definición y selección de muestra

Esta segunda fase es muy importante, ya que se define correctamente el área de estudio y de esto depende el alcance para la mejora en las protecciones eléctricas, por lo tanto; se tomará en cuenta las instalaciones.

En la siguiente figura se observa un tablero eléctrico residencial donde incluye las ubicaciones de los interruptores eléctricos residenciales, así como su identificación.

Figura 5. **Tablero eléctrico e interruptores residencial**



Fuente: Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA (1986). *Instalación de tableros de distribución. Instalaciones eléctricas domiciliarias.*

9.2.3. Fase 3: descripción de la tecnología

En esta fase se describirá el tipo de tecnología que se estará utilizando mediante los interruptores dual *function* por medio de una selección técnica del

fabricante de este dispositivo. A continuación, se presenta una tabla con las características de la tecnología a implementar.

Tabla VII. **Características de la tecnología dual**

Tipo de Interruptor automático	Amperaje de la corriente nominal	Número de polos requeridos	Voltaje de Nominal
Interruptor QO de función dual con neutro en espiral			
Interruptor QO de función dual con neutro enchufable			
Interruptor QO de función dual Homeline			

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el interruptor termo magnético con tecnología dual *function*:

Figura 6. **Interruptor termo magnético dual**



Fuente: Schneider (2008). *QO and QOB Miniature Circuit Breakers*.

9.2.4. Fase 4: caracterización de lineamientos a implementar

En esta cuarta fase se establecerán los lineamientos necesarios a seguir para la implementación de interruptores termo magnéticos dual *function*, en instalaciones eléctricas residenciales. A continuación, se presenta una serie de pasos a seguir, que servirán para la implementación de interruptores con tecnología dual *function*.

Tabla VIII. Lineamiento de implementación

No.	Acción para ejecutar
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Fuente: elaboración propia.

9.2.5. Fase 5: metodología para el análisis de beneficios, eficiencia energética y análisis de costo

En esta fase se describe una serie de beneficios, la eficiencia energética que se obtiene y un análisis de costos que se logra al utilizar estos interruptores termo magnéticos con tecnología dual *function*.

9.2.5.1. Determinación de beneficios

Al implementar estas protecciones eléctricas se obtienen grandes beneficios en las instalaciones eléctricas residenciales como el ahorro económico, de tiempo, de espacio, facilidad al utilizarlos y sobre todo la confiabilidad y confort de estos dispositivos. A continuación, se presenta una tabla con los beneficios que se obtiene.

Tabla IX. Beneficios que obtener

Descripción	Beneficio
Tiempo de interrupción	
Frecuencia de operación	
Voltaje de operación	
Tipo de fallas a proteger	
Seguridad industrial	
Tecnología <i>TIME SAVER Diagnostics</i>	

Fuente: elaboración propia.

9.2.5.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética eléctrica trata la reducción de las potencias y energías demandadas al sistema eléctrico sin que afecte a las actividades normales realizadas en instalaciones eléctricas residenciales, mejorando a la sostenibilidad del sistema y medio ambiente mediante la reducción de emisiones de CO2 al reducir la demanda de la electricidad.

A continuación, se presenta el tipo de fallas nuevas a proteger en el interruptor termo magnético, mejorando la eficiencia energética.

- Eficiencia energética por falla de arco eléctrico: se establecerá las distancias mínimas en metros (m), por medio de cálculo matemático de la zona de peligro frente al arco eléctrico, de acuerdo con el código eléctrico nacional.
- Eficiencia energética por falla a tierra: se establecerá las distancias mínimas en metros (m), por medio de cálculo matemático de la zona de peligro frente a la falla de tierra, de acuerdo al código eléctrico nacional.

A continuación, se presentan las distancias mínimas de la falla de arco eléctrico y la falla a tierra obtenidas, generando una mayor eficiencia eléctrica en las protecciones eléctricas.

Tabla X. **Distancias obtenidas**

Descripción	Distancia mínima
Eficiencia energética por falla de arco	
Eficiencia energética por falla a tierra	

Fuente: elaboración propia.

Esto mejora la gestión técnica de las instalaciones y protecciones eléctricas aumentando su rendimiento, evitando parada de procesos, reduciendo el costo económico de la energía como del de explotación de las instalaciones.

9.2.5.3. Análisis de costo

En este análisis de costo se presenta un cuadro comparativo de los interruptores termo magnéticos convencionales y los interruptores termo magnéticos con tecnología dual *function*, cuadro que se utiliza para un análisis financiero de inversión y tiempo de recuperación de esta. Se presenta un cuadro comparativo de los interruptores convencionales y los interruptores a implementar.

Tabla XI. Cuadro comparativo de costos

Descripción	Costo unitario por nivel de amperaje	Costo unitario por nivel de voltaje	Costo unitario por número de polos
Interruptores termo magnéticos convencionales			
Interruptores termo magnéticos dual <i>function</i> .			

Fuente: elaboración propia.

9.2.6. Fase 6: presentación y discusión de resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación de protección eléctricas con tecnología dual *function* en instalaciones residenciales y se interpretan los resultados obtenidos en dicha implementación.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para implementar protecciones eléctricas residenciales con tecnología de doble función, es necesario establecer las técnicas necesarias que ayudaran a cumplir con los objetivos establecidos, definiendo herramientas cuantitativas y estadísticas de prueba.

Herramientas de recolección de datos:

- Tabla de características del equipo del interruptor termo magnético
- Tabla de amperaje de operación
- Tabla de voltaje de operación
- Tabla de tiempo de interrupción
- Gráfico de desconexión de un interruptor
- Gráfico del comportamiento de los interruptores termo magnéticos
- Gráfico del comportamiento de los interruptores según su corriente
- Gráfico del comportamiento de los interruptores según su voltaje
- Gráfico del comportamiento de los interruptores según su calentamiento
- Gráfico de revaloración ambiental

Herramientas estadísticas:

- Media y desviación estándar para la ocurrencia de fallas de acuerdo al sitio.
- Gráfico de control comparativo (máximos y mínimos) de voltaje.
- Gráfico de control comparativo para la corriente.

- Gráfico de dispersión de calentamiento del interruptor.
- Análisis de tendencias.
- Tasa de comparación entre opciones de inversión.

11. CRONOGRAMA

Para cumplir con el desarrollo de la metodología, se establecen los tiempos necesarios para el cumplimiento de cada una de las fases.

Tabla XII. **Cronograma de actividades**

Actividad	2021					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Fase 1: exploración Bibliográfica						
Fase 2: dedicación y Selección de muestra						
Fase 3: descripción de la tecnología						
Fase 4: caracterización de lineamientos a implementar						
Fase 5: metodología para el análisis de beneficios y costos						
Fase 6: presentación y análisis de resultados						

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente diseño de investigación se llevará a cabo con fondos propios del estudiante de maestría. La investigación se considera tipo descriptiva. Se detalla en la siguiente tabla la inversión.

Tabla XIII. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Dispositivo	Q 500.00
Transporte	Q 300.00
Asesor	Q 2,500.00
Total	Q 3,300.00

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. Álvarez, M. (2012). *Centro de carga y breakers QO: Cumpliendo con el código eléctrico*. Recuperado de <https://gt.epaenlinea.com/materiales-electricos/breakers-y-centros-de-carga.html>
2. Carrasco, S. (2012). *Instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios de viviendas*. (2ª edición.) Madrid, España: Editorial Tedas. Recuperado de <https://books.google.com.gt/books?id=KQJRlxXrb8cC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
3. Carrillo, C. (2007). *Protecciones eléctricas notas de clase*. Madrid, España: Bucaramanga. Recuperado de https://www.academia.edu/9816602/PROTECCIONES_EL%C3%89CTRICAS_PROTECCIONES_EL%C3%89CTRICAS
4. Cervantes, J. (2000). *Protección en sistemas eléctricos*. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás De Los Garza N.L. México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/7718/1/1020133300.PDF>
5. Cifuentes, E. (2018). *Causas y efectos de las sobretensiones transitorias en plantas industriales y método de protección para disipar la perturbación eléctrica ocasionada por este evento*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Guatemala. Recuperado de <http://www.>

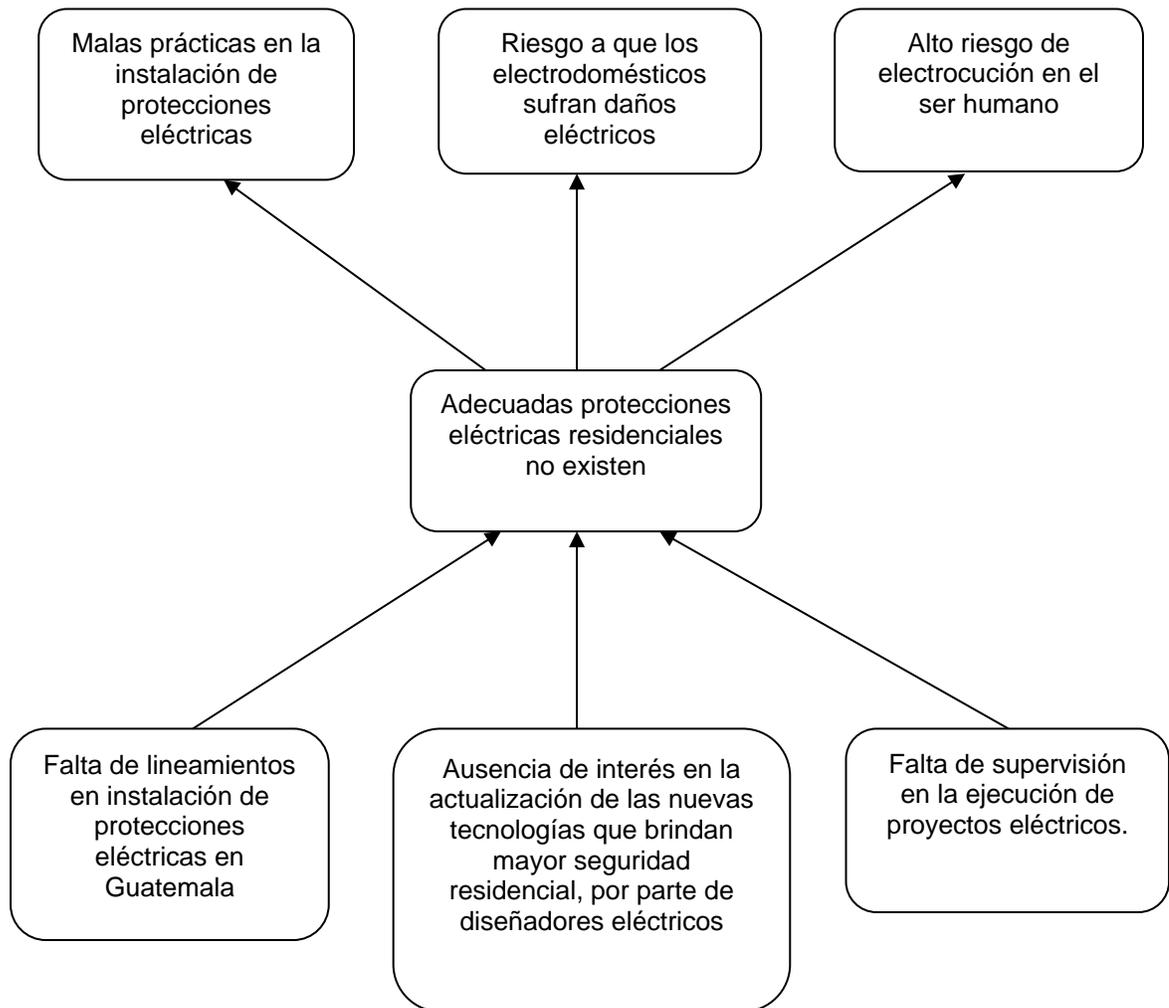
repositorio.usac.edu.gt/8859/1/Eduardo%20Osberto%20Cifuentes
%20Ramos.pdf

6. Código Eléctrico Nacional, NEC. (2014). *Equipos eléctricos fijos para calefacción de tuberías*. Recuperado de [https://tsapps.nist.gov/notifyus/docs/wto_country/DOM/full_text/pdf/DOM223\(spanish\).pdf](https://tsapps.nist.gov/notifyus/docs/wto_country/DOM/full_text/pdf/DOM223(spanish).pdf)
7. González, G. (2011). *Selección y coordinación de protecciones para baja tensión*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0766_EA.pdf
8. Hernández, E. (2016). *Diseño Preliminar de un sistema de generación fotovoltaica y su protección eléctrica para los edificios S3, S6 y S8 de la facultad de Ciencias Económicas*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6931/1/Elver%20Giovanni%20De%20Le%C3%B3n%20Hern%C3%A1ndez.pdf>
9. López, A. y Viteri, G. (2010). *Aplicación de fusibles e interruptores termo magnéticos*. (Tesis de Licenciatura). Escuela Politécnica de Litoral. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101296/D-CD90818.pdf>
10. Morel, R. (2000). *Las técnicas de corte de los interruptores automáticos de baja tensión*. Biblioteca Técnica de Schneider Electric España S.A., España. Recuperado de <http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/BT/CT154-03.pdf>

11. Ramírez, S. (2012). *Protección de sistemas eléctricos*. (1ª edición.). Colombia: Universidad Nacional de Colombia Manizales. Recuperado de https://www.academia.edu/19304042/PROTECCI%C3%93N_DE_SISTEMAS_EL%C3%89CTRICOS
12. Sanmiguel, E. (2001). *Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos en industria de Alcalí, S.A.* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás De Los Garza N.L. México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/6530/1/1080113421.PDF>
13. Schneider, E. (2008). *QO and QOB Miniature Circuit Breakers*. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=0730CT9801
14. Schneider, E. (2010) *Electric. Catalogo Compendiado No.32 para productos de distribución y control*. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/01/CompendiadoSQD_32.pdf
15. Schneider, E. (2014). *Centro de carga y Breaker QO: Cumpliendo con el código eléctrico nacional 2014*. Square D. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=1100CT0501.pdf&p_Doc_Ref=1100CT0501
16. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA (1986). *Instalaciones eléctricas domiciliarias. Instalación de tableros de distribución*. SENA: Bogotá, Colombia.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Problema	Objetivos	Variables	Metodología	Plan de acción
<p><i>Pregunta principal :</i></p> <p>¿Cómo se podrá implementar protecciones eléctricas residenciales utilizando interruptores termos magnéticos con tecnología de doble función?</p>	<p><i>Objetivo general:</i></p> <p>Implementar protecciones eléctricas residenciales utilizando interruptores termo magnéticos con tecnología de doble función.</p>	<p>Tecnología de doble Función</p> <p>Eficiencia energética</p>	<p>Guía de implementación conforme al código eléctrico nacional y Descripción técnica del equipo</p>	<p>Implementar las protecciones eléctricas (2 días)</p>
<p><i>Preguntas auxiliares:</i></p> <p>1. ¿Cuáles son las protecciones eléctricas convencionales que se usan en instalaciones residenciales?</p>	<p><i>Objetivos específicos:</i></p> <p>Detallar las protecciones eléctricas residenciales actuales que se utilizan en el mercado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protecciones eléctricas (Por su Capacidad, Amperios) ▪ Voltaje de operación (Voltios) 	<p>Exploración bibliográfica de las protecciones eléctricas actuales,</p>	<p>Revisión de Información técnica de los equipos.</p> <p>Realizar listado de las protecciones eléctricas actuales (3 días)</p>
<p>2. ¿Qué tecnología o aplicación puede solucionar las protecciones eléctricas?</p>	<p>Definir el tipo de tecnología en los interruptores termo magnéticos de doble función.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protección de falla de arco (CAFI) ▪ Receptáculo de falla a tierra (GFCI) ▪ Tecnología Dual Function 	<p>Exploración de fichas técnicas de interruptores de doble tecnología</p> <p>Análisis de investigación de lo tecnología a utilizar</p>	<p>Verificación de características y prueba de instalación (1 día)</p> <p>Crear cuadro de análisis de ventajas y desventajas de la tecnología a utilizar (5 días)</p>
<p>3. ¿Cómo se puede aplicar esta nueva tecnología para implementar las protecciones eléctricas de doble función?</p>	<p>Establecer las condiciones necesarias para implementar las protecciones eléctricas de doble función.</p>	<p>Incluir las nuevas protecciones en diferentes diseños eléctricos.</p>	<p>Analizar las características de las protecciones eléctricas para generar una guía de lineamientos a implementar</p>	<p>Revisión del código eléctrico nacional 2014 (3 días)</p> <p>Revisión de la normativa eléctrica Decreto No. 93-96 (2 días)</p> <p>Revisión de Ficha técnica de equipo (2 días)</p>

Continuación del apéndice 2.

<p>4. ¿Qué consecuencias y/o beneficios ocurren al implementar esta nueva tecnología?</p>	<p>Interpretar los beneficios que se tiene al utilizar esta nueva tecnología en las protecciones eléctricas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de costo (%) 	<p>Análisis técnico de Interrupción de amperaje ante las fallas eléctricas</p> <p>Análisis financiero del costo del equipo</p>	<p>Elaboración de análisis económico por medio del valor del dinero en el tiempo (2 días)</p>
---	--	--	--	---

Fuente: elaboración propia.

