

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TEMA DE TRABAJO DE GRADUACION

**MODELADO MATEMATICO POR SOBRECALENTAMIENTO DE
CONDUCTORES ELECTRICOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS
RESIDENCIALES**

PRESENTADO POR:

RENÉ ROBERTO BENITEZ GRANADOS

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR INTERINO:

ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**MODELADO MATEMATICO POR SOBRECALENTAMIENTO DE
CONDUCTORES ELECTRICOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS
RESIDENCIALES**

Presentado por:

RENÉ ROBERTO BENITEZ GRANADOS

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ

SAN SALVADOR, AGOSTO DE 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING.GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ

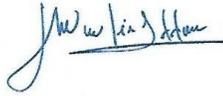
NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, sábado 29 de julio de 2023, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle
Director Interino

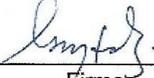

Firma 

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario

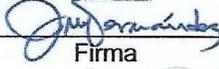

Firma

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ
(Docente Asesor)


Firma

- ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ


Firma

- MSC. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

MODELADO MATEMÁTICO POR SOBRECALENTAMIENTO DE CONDUCTORES
ELÉCTRICOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES

A cargo del Bachiller:

- BENÍTEZ GRANADOS RENÉ ROBERTO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.3
(Nueve punto tres)

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se lo dedico principalmente a Dios por haberme permitido llegar a este momento con bienestar y salud, así como también dando la fortaleza necesaria para poder continuar en los momentos de dificultad.

A mis padres, Andrés Benítez que desde cielo me guiara en mi camino y María Eudelina Granados quienes han brindado su apoyo incondicional desde el inicio de la carrera hasta su culminación, motivando siempre a seguir adelante en todo momento para lograr cumplir una de mis metas.

A mis hermanos, especialmente José Víctor Granados quien siempre me apoyo y fue parte esencial durante este proceso de estudio, brindando su apoyo incondicional y emocional en los altos y bajos de la vida.

Agradecimiento especial a Reina Vides, ya que sin su apoyo y sus consejos lograr alcanzar la meta no hubiera sido posible, gracias Reinita por ese apoyo incondicional que me brindo durante todo el proceso.

A los catedráticos de la escuela de ingeniería eléctrica, que compartieron sus conocimientos para poder lograr el objetivo principal, especialmente al Ing. Gerardo Marvin Hernández quien me asesoró en este proceso de tesis.

Contenido

Objetivos	x
General:	x
Específicos:	x
Alcances	xi
Capítulo 1	1
Generalidades	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación	3
Capítulo 2	4
Generalidades de una instalación residencial	4
2.1 Conductores	5
2.2 El aislamiento	15
2.3 Tubería utilizada para instalaciones residenciales	16
2.4 Cajas y accesorios para canalización	19
2.5 Interruptores o apagadores	23
2.6 Los contactos eléctricos	24
2.7 Unión de conductores eléctricos	25
2.8 Dispositivos para protección contra sobrecorrientes en los conductores eléctricos	26
Capítulo 3	30
Fundamentos teóricos y físicos del modelado	30
3.1 Fundamentos físicos de los incendios	30
3.2 Estadísticas de incendios en El Salvador	41
3.3 Modelos matemáticos	43
3.4 Análisis matemático y eléctrico del modelado del calentamiento de conductores	48
Capítulo 4	62
4.1 Resultados de la investigación	62
4.2 Entrevistas profesionales	72
Bibliografía	76

Glosario

Amperio: es la unidad de intensidad de corriente eléctrica.

Ampacidad: Es corriente máxima o también conocida como corriente admisible

Corriente: es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.

Coefficiente de temperatura: Es una propiedad intensiva de los materiales que cuantifica la relación entre la variación de la propiedad física de un material y el cambio de temperatura.

Combustión: Acción y efecto de arder o quemar. Combinación de un combustible y un comburente con difundimiento de calor y luz.

CNE: Consejo Nacional de Energía

NEC: Código Eléctrico Nacional

Ignición: Es un proceso químico que puede desatarse cuando una sustancia combustible entra en contacto con una fuente de energía (una chispa eléctrica, por ejemplo, puede desencadenar la descarga de un gas), y continúa ardiendo independientemente de su causa original.

Efecto Joule: Se refiere al fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los constantes choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

Integración: Es una generalización de la suma de infinitos sumandos, infinitesimalmente pequeños: una suma continua.

Modelo matematico: Es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables.

Resistencia: Oposición que tienen los electrones al moverse a través de un conductor.

Resistividad: Es la resistencia eléctrica específica de un determinado material.

Pendiente de una recta: es igual al desplazamiento vertical entre dos puntos dividido por el desplazamiento horizontal entre esos dos mismos puntos.

Voltaje: Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

Potencia disipada: Es igual a la diferencia de potencial a la que está sometido multiplicada por la intensidad de corriente que lo atraviesa

Introducción

Para hablar del modelo matemático que se va a estudiar primero se verá el medio sobre el cual se basará esta investigación y es se denomina conductor eléctrico el cual es una pieza importante en toda instalación eléctrica residencial ya que es la encargada de transportar el flujo de electrones o bien más conocidos como corriente eléctrica, pero en este traslado se pueden presentar diferentes dificultades en el transporte de este flujo. La resistencia que presente el conductor que esencialmente depende directamente de la construcción del conductor eléctrico, así como también el tipo de material generalmente el material más usado en las instalaciones eléctricas es el cobre. Principalmente el calentamiento en los conductores eléctricos se debe a pérdidas de potencia por el efecto Joule que es disipada en forma de calor debido a la circulación de electrones. Entre algunos factores que producen este fenómeno podemos encontrar los siguientes:

- 1- La sobrecarga.
- 2- Longitud del conductor eléctrico.
- 3- Mal dimensionamiento en tubería (varios conductores en la misma tubería).
- 4- Cortocircuitos.

Estos fenómenos que se recién se mencionan ofrecen una oportunidad para poder realizar un análisis de cómo es que se va originando un incendio por causas eléctricas en cual se aplica diversas técnicas matemáticas y de análisis eléctrico para poder modelar y poder aplicarlas para dar una alternativa de solución para este tipo de incendios debido a calentamiento en conductores.

Objetivos

General:

- ✓ Desarrollar un modelado matemático en el cual se pueda determinar las variables que afectan en el sobrecalentamiento de conductores eléctricos.

Específicos:

- ✓ Identificar las ventajas que se tienen al determinar el estado de calentamiento de un conductor eléctrico.
- ✓ Determinar los sectores que puedan beneficiarse a través del desarrollo de este modelo.
- ✓ Evaluar los procesos que se deben seguir para realizar el modelo matemático en el cual se determine el sobrecalentamiento en el conductor eléctrico.
- ✓ Evaluar el tipo de modelo matemático que se utilizara para la determinación del sobrecalentamiento en conductores eléctricos residenciales.

Alcances

En este trabajo se desarrollará un modelado matemático en el que se pueda determinar algunas de las causas que provocan los sobrecalentamientos en conductores eléctricos para poder representar estos fenómenos de una forma simplificada y con ello poder determinar esas variables que influyen en ese proceso de calentamiento del conductor. Este análisis se hará basado en el análisis de conductores utilizados en instalaciones eléctricas residenciales y con ello se elegirá el tipo de modelado que se podrá realizar.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Antecedentes

Cada año que pasa se van dando más avances tecnológicos a tal punto que es necesaria la utilización de energía eléctrica en mayor proporción. Cabe destacar que estos avances también conllevan consigo efectos en los cuales estos puedan afectar al medio ambiente, así como también la seguridad humana. Como punto particular una falla eléctrica puede ocasionar un arco eléctrico y originar un punto de ignición de un incendio, como lo señala un reportaje de un periódico digital (el faro) el cual cita que El Salvador registra un total de 1,072 incendios hasta la segunda semana de abril de 2022 de los cuales 240 tuvieron como causa fallas eléctricas que pueden deberse a descuidos en las instalaciones eléctricas por cortocircuitos.

1.2 Planteamiento del problema

Unos de los puntos necesarios para enfrentar la problemática de causas de incendios en posibles fallas eléctricas se pueden deber productos del consumidor, incumplimiento de normativas, errores humanos, sobrecargas de las instalaciones, etc. Estos puntos mencionados pueden ser causas de sobrecalentamientos en algunos de los conductores, provocando a su vez deterioro en los cables eléctricos y con ello la posibilidad de fallas y originando incendios y esto pérdidas económicas, contaminación del medio y sobre todo poner en riesgo vidas humanas.

1.3 Justificación

Este trabajo tiene como fin poder dar un pequeño aporte en el estudio de sobrecalentamiento de conductores eléctricos mediante un modelado matemático con el cual se pueda interpretar este fenómeno de una forma simplificada y de tal manera esto pueda contribuir para poder hacer un análisis de un posible riesgo eléctrico que este represente en el sector residencial y que en la actualidad es una de las problemáticas que no están siendo analizados. Esto conlleva la posibilidad de concientizar a la población de cuán importante es la atención de ciertos puntos o variables que afectan directamente al calentamiento de un conductor eléctrico de esta manera poder evitar la ignición de un incendio.

Capítulo 2

Generalidades de una instalación residencial

Todo circuito eléctrico sin importar qué tan simple o qué tan complejo sea, requiere de cuatro partes básicas:

- Una fuente de energía eléctrica que puede forzar el flujo de electrones (corriente eléctrica) a fluir a través del circuito.
- Conductores que transporten el flujo de electrones a través de todo el circuito.
- La carga, que es el dispositivo o dispositivos a los cuales se suministra la energía eléctrica.
- Un dispositivo de control que permita conectar o desconectar el circuito.

Las instalaciones Eléctricas Residenciales son un conjunto de obras que se realizan con el fin de hacer funcionar cada uno de los aparatos eléctricos y electrónicos que se encuentren en una casa habitacional lo cual generalmente es llamado circuito eléctrico. Por ejemplo:

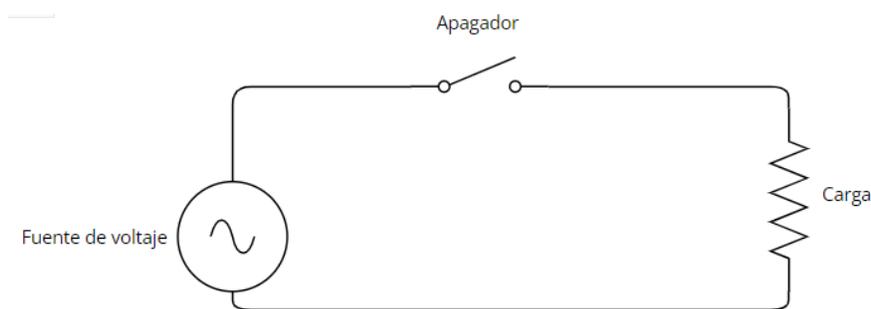


Ilustración 1: Circuito eléctrico básico

Hoy en día es muy importante tener el requerido conocimiento del área ya sea si en esta requiera una instalación, Modificación, Ampliación, Detección y corrección de una falla

eléctrica que se esté presentando ya que para ello es necesario conocer cómo se dé interconectar cada uno de los dispositivos eléctricos como por ejemplo se pueden mencionar: Tableros de, distribución, interruptores, luminarias, tomas corrientes, sistemas de alarmas, sensores cercos eléctricos etc.

Sin duda alguna, que elegir el calibre indicado de un conductor en una instalación es muy importante, siguiendo y aplicando las normas que ya están establecidas de estas maneras podemos evitar recalentamientos de los cables y con ello evitar corto circuitos que pueden provocar incendios y en el peor de los casos pérdidas humanas.

El conjunto de elementos que se tienen desde el punto de la empresa suministradora hasta la vivienda conforma lo que se conoce como los componentes de la instalación eléctrica. Continuación se irán desglosando todos esos elementos para verlos un poco más a detalle. Por lo general, los conductores de cobre usados en las instalaciones eléctricas son alambres de cobre; se pueden usar también alambres de aluminio.

2.1 Conductores

En una instalación eléctrica residencial los elementos que realizan la tarea de circulación de corriente eléctrica son los conductores o alambres que van forrados con un material aislante seleccionado de acuerdo con las condiciones de voltaje de trabajo y ambientales a que será sometido el conductor, desde luego que ese material aislante debe ser no conductor para garantizar que el flujo de corriente solo se a través del conductor. El material usado para los conductores eléctricos residenciales normalmente es de cobre, el calibre del conductor está relacionado con la cantidad de corriente que este puede acarrear y es especificado por un número que viene impreso sobre el aislante, el cual puede ser verificado utilizando un calibrador.

En un principio, los fabricantes de conductores eléctricos los clasificaban con diferentes simbologías, nomenclaturas y números; esto provocó un desconcierto total pues para un conductor de igual sección transversal, cada fabricante le daba un nombre, símbolo ó

número diferente. Posteriormente la “AMERICAN WIRE GANGE” presentó un sistema de nomenclatura el cual fue adoptado por todos. Por esto, al número que designa el calibre de un conductor es precedido de la leyenda calibre AWG ó MCM.

El tipo de aislamiento es especificado por si siglas por ejemplo THHN y para conocer sus características, aplicaciones y recomendaciones, es necesario siempre auxiliarse de manual del fabricante.

El calibre de los conductores determina que diámetro o sección se utilizara en una instalación eléctrica residencial ya el sistema norteamericano de calibre define algunos (AWG) por medio de un numero asignado a cada conductor el cual hace referencia a sus características como lo es el diámetro, área, resistencia etc. Es importante notar que para el sistema de designación de calibres utilizados por la AWG a medida que el numero designado va aumentando la sección del conductor es menor. Cabe decir que para las mayorías de instalaciones eléctricas residenciales los calibres de conductores de cobre más se usan son los designados como #14 y #12 los calibres #6 y #8 se pueden encontrar en conductores solidos o cables y son usados más en aplicaciones industriales o también para manejar alimentaciones donde haya grupos de viviendas. Por lo general los aislamientos de los conductores son a base de hule o termoplásticos y se le da designaciones comerciales con letras.

Aspectos para considerar o requeridos en conductores eléctricos para una instalación residencial:

1-El límite de la tensión de la aplicación en caso de instalaciones residenciales es de 1000V.

2-La capacidad de conducción de corriente (Ampacidad) que está regida por la capacidad máxima de corriente eléctrica que soporta un conductor de forma segura, según su calibre la cual también afecta en algunos factores como lo es:

- a) La temperatura
- b) La capacidad de disipación de calor que es producido por las pérdidas que son generadas por el medio en cual se encuentra el conductor decir si esta al aire o en tubería.

3-La máxima caída de voltaje de acuerdo con el calibre y la corriente que este conducirá además se debe respetar la máxima caída de tensión permisible por los reglamentos de instalaciones eléctricas. Según el reglamento de instalaciones eléctrica caída de voltaje permisible debe ser 3% del punto de alimentación al punto más distante de la instalación.

THHN: Es utilizado en alimentadores de tablero general y alambrado de circuitos derivados. Es un conductor de cobre solido o cableado con aislamiento termoplástico de cloruro de polivinilo (PVC) y protegido con una capa de termoplástica de nylon, la cual brinda protección mecánica y resistencia a los derivados del petróleo. Agentes químicos y aceites. Soporta temperaturas de trabajo hasta 90 °C de trabajo.

Algunos productos con pigmentación negra son resistentes a los rayos ultravioletas de la luz solar. Por lo que pueden utilizarse a la intemperie y están diseñados a operar a un voltaje máximo de 600 voltios. Estos conductores son fabricados en diferentes calibres desde el N° 18 al 4/0 y en MCM desde 250 al 1000. Los colores de fabricación son; blanco, rojo, verde, azul y negro; además en la parte externa del aislamiento traen el tipo de conductor y calibre de este.

THWN

En este tipo de cable la resistencia al agua es una de las principales razones para usar el cable THWN. Estos cables se instalan en entornos en los que un conducto no es obligatorio; esta flexibilidad lo hace el cable preferido entre los contratistas eléctricos,

dado que ambos tipos de cables no necesitan ser transportados. Los cables autónomos THWN están recubiertos en PVC, en vez de vinilo, para ayudar a la resistencia al agua.

TBW: Este tipo de conductor se usa normalmente para instalaciones internas residenciales, se recomienda uso de TBW #20 o #22 para conexiones de timbres, sistemas de comunicación, alarmas y extensiones telefónicas.

NM-B: Este tipo de conductor es utilizado en derivaciones en forma superficial para salidas de tomas corrientes, salidas de luminarias e interruptores.

SPT: Este conductor es utilizado como alimentadores de aparatos electrodomésticos y cables de extensión portátiles.

Propiedades de los conductores eléctricos de cobre:

Cobre de temple duro:

- Conductividad del 97% esto respecto al del cobre puro
- Resistividad de $0.018(\text{xmm}^2/\text{m})$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura
- Capacidad de ruptura a la carga que va desde 37 a $45\text{ kg}/\text{mm}^2$

Cobre con temple blando:

- Conductividad del 100%
- Resistividad de $0.01724= 1/58 (\text{xmm}^2/\text{m})$ respecto del cobre puro
- Carga de ruptura de media de $25\text{ kg}/\text{mm}^2$

El conductor puede estar identificado por su tamaño por un calibre y este puede ser expresado en forma milimétrica (mm^2) o americano y expresarse (AWG).

Dimensionamiento de los conductores eléctricos.

Atraves el tiempo el estudio de la ingeniería en la protección contra incendio era empleada de forma empírica lo cual provocaba que las ciencias fundamentales fuera teniendo un empuje sobre las bases sobre estos fenómenos. En la actualidad la ingeniería de incendios se ha visto incrementada en gran medida.

Es importante mencionar que algunos problemas que se presentan por mala calidad de energía en las instalaciones eléctricas son debido a algunos aspectos tales como: variaciones de voltaje, variaciones de frecuencia y señales de tensión con alto contenido de impureza. Estos mismo producen irregularidades en algunos equipos eléctricos de igual forma generan pérdidas de energía por el calentamiento generado. El adecuado dimensionamiento de conductores eléctricos es vital para una operación eficiente y segura de un sistema. Los daños generados por mal dimensionamiento y uso de conductores eléctricos podemos mencionar los siguientes: cortes de suministros, riesgos de incendios y pérdidas de energía.

El calentamiento de los cables conductores debe en gran medida a las pérdidas por efecto joule, el cual es disipado en forma de calor debido a la circulación de los electrones. A continuación, se mencionará algunos de los factores muy comunes que producen este efecto:

- Carga excesiva (sobrecarga): Sobrecargar los conductores de alguna línea de alimentación con un consumo que supera la capacidad que este cable pueda manejar.
- Longitud del conductor: Cuando más largo sea el recorrido que los electrones tienen que pasar, mayor será la caída de tensión en los conductores, y por tanto un aumento en la pérdida de potencia en los cables por disipación.
- Cortocircuitos: Cuando produce el cortocircuito se genera una corriente muy elevada, esto provoca una circulación excesiva de electrones en los cables, debido a calibre del

conductor este podría hasta derretirse fácilmente cuando este no se active las protecciones.

-Varios conductores en un tubo: Cuando se tiene gran cantidad de conductores en un tubo con diámetros pequeños como para disipar parte del calor generado, esto provoca un aumento de calor debido a que no existe ventilación. También se puede considerar otras fallas como un empalme flojo o falso contacto también generan calentamiento en los conductores eléctricos.

Tabla 1. Código colores para conductores eléctricos en una instalación residencial.

Línea	Color
Neutro	Blanco
Viva o Caliente	Negro, azul, rojo
Puesta a tierra	Verde, verde con franjas amarillas, desnudo
Retorno, puente (viajeras)	Amarillo

El Código eléctrico Nacional (NEC) establece en Tabla 310-16 que la capacidad de corriente (en Amperes) permitida de conductores con aislamiento de 0 - 2000V, 60° a 90°C (140° a 194°F); no más de 3 conductores en una bandeja, cable o en entierro directo, en base a una temperatura ambiental de 30°C (86°F).

Tabla 2: Información técnica de conductores.

Calibre AWG MCM	Numero de hilos	Aislamiento Espesor (mm)		Diámetro externo mm	Amperaje conductor 90°C	Área de la sección Transversal Nominal mm ²	Resistencia eléctrica Ω/Km
		PVC	Nylon				
14	1	0.381	0.102	2.58	25	2.08	8.448
12	1	0.381	0.102	3.00	30	3.31	5.317
10	1	0.508	0.102	3.78	40	5.26	3.345
14	7	0.381	0.102	2.79	25	2.08	8.617
12	7	0.381	0.102	3.27	30	3.31	5.423
10	7	0.508	0.102	4.13	40	5.26	3.412
8	7	0.762	0.127	5.44	55	8.37	2.145
6	7	0.762	0.127	6.30	75	13.30	1.350
4	19	1.016	0.152	8.05	95	21.15	0.8484
3	19	1.016	0.152	8.74	110	26.66	0.6730
2	19	1.016	0.152	9.53	130	33.63	0.5337

Por otra parte, el NEC nos recomienda según Tabla 310 -17 Capacidad de corriente (en Amperes) permitida de monoconductores con aislamiento de 0 - 2000V, al aire libre, en base a una temperatura ambiental de 30°C (86°F).

Tabla 3: Propiedades de los metales conductores extraída de sitio Sapiensman.

	Resistividad a 20°C ohm-m	Coefficiente de temperatura para la resistividad, α , por C°	Densidad g/cm ³	Punto de fusión, °C
Aluminio	2.8×10^{-8}	3.9×10^{-3}	2.7	659
Cobre	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}	8.9	1 080
Carbono (amorfo)	3.5×10^{-5}	-5×10^{-4}	1.9	3 500
Hierro	1.0×10^{-7}	5.0×10^{-3}	7.8	1 530
Manganina	4.4×10^{-7}	1×10^{-5}	8.4	910
Niquel	7.8×10^{-8}	0×10^{-3}	8.9	1 450
Plata	1.6×10^{-8}	3.8×10^{-3}	10.5	960
Acero	1.8×10^{-7}	3×10^{-3}	7.7	1 510
Wolframio (tungsteno)	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}	19	3 400

Resulta evidente que los materiales que tienen resistividades grandes no son buenos conductores y, por el contrario, aquellos que tengan conductividades grandes serán los mejores conductores. Así, de la anterior tabla podemos constatar que los metales son buenos conductores, algunos mejores que otros, pero si nos referimos a los valores de la columna de conductividades y los ordenamos en orden decreciente, tendremos la siguiente tabla que abarca los mejores 6 conductores de la electricidad. Plata, cobre, oro, aluminio, zinc y tungsteno. Al observar la lista destacamos dos electos: plata y oro; primer y tercer mejores conductores respectivamente, a los que su alto precio no sólo limita su uso, sino que lo hace prohibitivo. Así las cosas, a continuación, se mencionan algunas propiedades de los otros electos de la lista.

Cobre: Después de la plata es el mejor conductor de la electricidad, muy dúctil y maleable. El cobre electrolítico mete puro se emplea en la fabricación de los conductores eléctricos.

Aluminio: Metal blando maleable, muy dúctil y ligero. Su principal aplicación es en las líneas de transmisión, sustituyendo al cobre por su menor peso y bajo costo.

Zinc: Metal blando azulado, duro y quebradizo. Se emplea principalmente para formar electrodos en algunas pilas y en los acumuladores, también en la galvanización de hierros y aceros inoxidable.

Tungsteno: Gracias a su elevado punto de fusión, es el conductor que se emplea en la fabricación de filamentos para las lámparas incandescentes. Y, precisamente en el punto de incandescencia presenta una gran resistencia a la rotura y deformación. Debido a que se oxida fácilmente en el aire a alta temperatura, se le emplea al vacío o en atmósferas con gas inerte (neón, argón, etc.).

Para que los conductores eléctricos puedan ser utilizados en las instalaciones eléctricas, deben cumplir con ciertas recomendaciones:

1. El límite de tensión: Es decir, la tensión o voltaje que deben ser capaces de soportar; en el caso de las instalaciones residenciales es 1000 V.
2. La capacidad de conducción de corriente: Es decir, la máxima corriente que puede transportar un conductor dependiendo de su calibre.
3. La caída de voltaje: Máxima que se permite de acuerdo con el calibre de conductor y la corriente que conducirá; se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible recomendada por el reglamento de obras e instalaciones eléctricas y que es de 3% del punto de alimentación al punto más distante de la instalación.

Partes de un conductor eléctrico

Las partes del conductor eléctrico son las siguientes:

- 1- Alma o elemento conductor
- 2- El Aislamiento
- 3- La Cubierta protectora

El alma de un conductor

Este es fabricado principalmente de cobre y su objetivo es de servir de medio de transporte de la energía desde un punto a otro y de esta manera poder alimentar los diferentes centros de consumo (Industriales o grupo habitaciones etc.

El alma de estos puede estar constituida de las siguientes formas:

- **Según su constitución este puede ser alambre o cable.**

Alambre: Se refiere a un conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por un solo elemento o hilo conductor



Ilustración 2: Conductor eléctrico llamado alambre.

Cable: Este conductor eléctrico su alma conductora está formada por una serie de hilos conductores o alambres de pequeña sección, lo que otorga una mayor flexibilidad en su manipulación.



Ilustración 3: Conductor eléctrico llamado también cable.

- **Según su número de conductores este puede ser monoconductores y multiconductores.**

Según su número cuando mencionamos que es un monocunductor nos referimos que solo consta de una sola alma conductora con aislación con o sin cubierta protectora. Si hablamos de multiconductores este contiene 2 o más almas conductoras aisladas entre si con su respectiva capa de aislamiento y esta puede contener una o más capas cubiertas protectoras.

2.2 El aislamiento

La principal función del aislamiento de un conductor es evitar que la energía eléctrica que fluye por el entre en contacto con elementos externos como personas u otros objetos. Hay diferentes tipos de aislación en los conductores, pero estos estarán dados por su comportamiento técnico y mecánico que considerando el medio ambiente y las condiciones de canalización a que se verán sometidos los conductores que ellos protegen, ya sea a resistencia a agentes químicos, rayos solares, humedad, altas temperaturas, llamas etc. Entre los materiales más usados para este tipo de aplicación tenemos el PVC o cloruro de polivinilo, el polietileno, caucho, goma, neopren y el nylon.

Cubierta protectora

La cubierta protectora de un conductor la principal función es proteger la integridad del aislamiento y del alma conductora de daños mecánicos tales como raspaduras o golpes etc.

Si la cubierta de este es de acero o latón o de otro material que sea resistente este es denominado como armadura también este puede ser de alambre, cinta o alambres trenzados.

2.3 Tubería utilizada para instalaciones residenciales

Tubo Conduit

Este es un tipo de tubo que puede ser de (Metal o plástico) que se usan para contener o proteger los conductores eléctricos que se utilizan en las instalaciones. Estos tubos Conduit pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales esto dependerá en que aplicación lo estemos usando.

Tubo Conduit de acero para pared gruesa

Este tipo de tubo se encuentran en forma galvanizada y son normalmente de 3.05m de longitud con rosca en cada extremo. Y este tipo de tubo se utilizan unos conectores que son llamados también acoples y la herramienta adecuada para manipular este tipo de tubo es el mismo utilizado en trabajos de plomería.

Los diámetros para este tipo de tubería van 13mm (1/2 pulgada) a 1524 mm (6 pulgadas) la superficie interior del tubo tiene que ser lisa para evitar daños en los conductores además los bordes de estos deben de ser lijados para evitar posibles daños. Y cuando

estos tubos requieran ser doblados se deben realizar con la herramienta adecuada para evitar grietas al interior y que estos puedan dañar los conductores eléctricos.

Tubo Conduit metálico para pared delgada

Este tubo también conocido como tubo metálico rígido ligero es muy comúnmente usado en instalaciones ocultas o visibles son colocados en ambientes secos sin estar expuestos a humedad o ambientes corrosivos. El diámetro usado para este tipo de tubo no debe exceder los 51mm (2 pulgadas) y debido a que son utilizados a en pared delgada estos no deben ser enroscados para atornillarse a las cajas de conexión o otros accesorios es mejor utilizar uniones especiales.

Tubo metálico flexible

Este tubo de tubo es conocido como “Greenfield” y este fabricado por cintas metálicas engargoladas sin ningún recubrimiento. En sus aplicaciones es recomendable usar en lugares que estén totalmente seco sin estar expuesto a la corrosión o daño mecánicos o que este esté enterrado en concretos.

Tubo Conduit plástico rígido (PVC)

El tubo PVC este hecho de policloruro de vinilo (PVC) este debe ser auto extingible, resistente a la humedad, al aplastamiento y a ciertos agentes químicos.

Donde se puede utilizar este tipo de tubo:

- 1- Se puede utilizar en instalaciones ocultas o visibles donde este se vea expuesto a daño mecánico.

- 2- En lugares que se utilizan ciertos agentes químicos que no afecten el tubo y sus accesorios.
- 3- En lugares húmedos o que este directamente enterrado en concreto.

Donde no se puede utilizar este tipo de tubo:

- 1- En locales que estén considerados como peligrosos.
- 2- Donde se tenga que utilizar como medio de soporte ya se de luminarias u otros accesorios.
- 3- En lugares que la temperatura exceda los 70°C más que es producida por los conductores.

Tabla 4. Tabla para determinar el tipo de tubería según cantidad y calibre de conductor.

Calibre AWG o MCM	½ in	¾ in	1 In	1 ¼ In	1½ in	2 in	2½ in	3 in	3½ in	4 In	4½ In	5 in	6 In
14	8	15	24	43	58	96	137						
12	6	11	18	32	43	71	102	158					
10	4	7	11	20	27	45	65	100	134	172			
8	2	4	6	11	16	26	37	58	78	100	127	157	
6	1	2	4	7	9	16	23	35	47	61	78	96	139
4		1	2	4	6	9	14	21	29	37	48	59	85
3			2	3	5	8	12	18	24	31	40	50	72
2			1	3	4	7	10	15	20	26	34	42	61
1				2	3	5	7	11	15	20	25	31	45
1/0				2	2	4	6	9	13	16	21	26	38
2/0				1	2	3	5	8	11	14	18	22	32
3/0					1	3	4	7	9	12	15	19	27
4/0						2	3	6	8	10	13	16	23

2.4 Cajas y accesorios para canalización

En los métodos modernos para instalaciones eléctricas residenciales, todas las conexiones de conductores o uniones entre conductores se deben realizar en cajas de conexión aprobadas para tal fin y se deben instalar en donde puedan ser accesibles para poder hacer cambios en el alambrado. Por otra parte, todos los apagadores y salidas para lámpara se deben encontrar alojados en cajas, igual que los contactos.

Las cajas son metálicas y de plástico según se usen para instalación con tubo Conduit metálico o con tubo de PVC o polietileno. Las cajas metálicas se fabrican de acero galvanizado de cuatro formas principalmente: cuadradas, octagonales, rectangulares y circulares; se fabrican en varios anchos, profundidad y perforaciones para acceso de tubería; hay perforaciones en las caras laterales y en el fondo. En la ilustración se muestran algunos tipos de cajas de conexión.

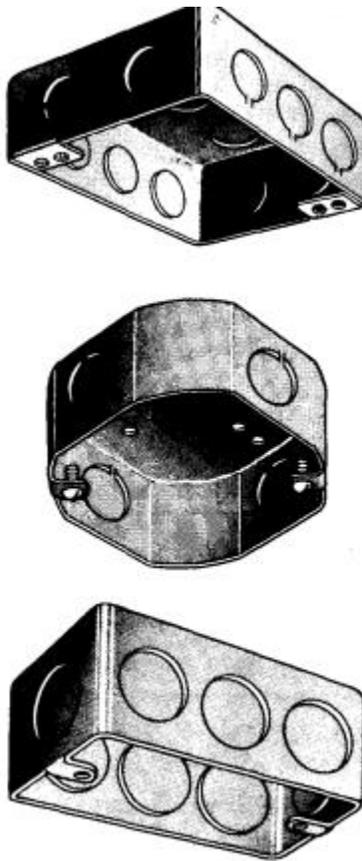


Ilustración 4: Cajas de conexión en instalaciones residenciales. Imagen extraída de Libro ABC instalaciones.

Dimensiones de cajas de conexión

Tipo Rectangular. 6 x 10 cm de base por 3.8 cm de profundidad con perforaciones para tubo conduit de 13 mm.

Tipo Redondas. Diámetro de 7.5 cm. y 3.8 cm de profundidad con perforaciones para tubo conduit de 13 mm.

Tipo cuadradas. Estas cajas tienen distintas medidas y se designan o clasifican de acuerdo con el diámetro de sus perforaciones en donde se conectan los tubos, por lo que se designan como cajas cuadradas de 13, 19, 25, 32 mm, etc.

En las instalaciones denominadas residenciales o de casas habitación se usan cajas cuadradas de 13 mm (7.5 x 7.5 cm de base con 38 mm de profundidad). En éstas sólo se sujetan tubos de 13 mm (1/2 plg.). Otros tipos de cajas cuadradas como la de 19 mm

tiene base de 10 x 10 cm con profundidad de 38 mm y 19 mm, las de 25 mm son de 12 x 12 cm de base con 55 mm de profundidad y perforaciones para tubo de 13, 19 y 25 mm. Aunque no hay una regla gerietaj para el uso de los tipos de cajas, la práctica general es usar la octagonal para salidas de alumbrado (lámparas) y la rectangular y cuadrada para apagadores y contactos.

Las cajas redondas tienen poco uso en la actualidad y se encuentran más bien en instalaciones un poco viejas'. Cuando se utilicen cajas metálicas en instalaciones visibles sobre aisladores o con cables con cubierta no metálica o bien con tubo no metálico, es recomendable que dichas cajas se instalen rígidamente a tierra; en baños y cocinas este requisito es obligatorio. Las cajas no metálicas se pueden usar en: instalaciones visibles sobre aisladores, con cables con cubierta no metálica y en instalaciones con tubo no metálico.

Algo que se debe considerar es que todos los conductores que se coloquen en una caja de conexiones, incluyendo empalmes, aislamientos y vueltas, estos no ocupen más del 60% del espacio interior de la caja. En el caso de las cajas metálicas se debe tener cuidado que los conductores que entren queden protegidos contra la abrasión (deterioro por rozamiento o corte de partes no pulidas o con rebabas). En general, para cualquier tipo de caja, las aberturas no usadas se deben de tapar de manera que su protección mecánica sea prácticamente equivalente a la pared de la caja o accesorio.

Cuando se instalen cajas en paredes o techos de madera o cualquier otro material clasificado como combustible, éstas deben de quedar instaladas a ras de la superficie acabada o sobresalir de ella.

Fijación de las cajas de conexión

Las cajas se deben fijar sobre la superficie en la cual se instalen o bien quedar empotradas en concreto, mampostería o cualquier otro material de construcción, pero siempre de manera rígida y segura.

Cajas de salida en instalaciones ocultas

Cuando se utilice cajas de salidas en instalaciones ocultas, debe tener una profundidad interior no menor de 35 mm, excepto en casos que esta profundidad pueda dañar las paredes, partes de la casa habitación o edificio y en cuyo caso se recomienda que esta profundidad no sea inferior a 13 mm.

Tapas y cubiertas

Todas las cajas de salida deben estar provistas de una tapa, metálica en el caso de las cajas metálicas y en el caso de las no metálicas preferentemente del mismo material de la caja. En cualquiera de los casos se pueden usar tapas de porcelana o de cualquier otro material aislante siempre y cuando ofrezcan la protección y solidez requeridas.

Conectores

Los tubos conduit deben fijarse en las cajas de conexión; para esto se usan normalmente conectores de la medida apropiada a cada caso; es común el uso de contras y monitores en las cajas de conexión metálicas.

2.5 Interruptores o apagadores

Se puede definir como un interruptor pequeño de acción rápida, operación manual y baja capacidad que se usa, por lo general, para controlar aparatos pequeños domésticos y comerciales, así como unidades de alumbrado pequeñas. Ya que la operación de los apagadores es manera manual, los voltajes nominales no deben exceder de 600 voltios. Debe tenerse especial cuidado de no usar los apagadores para interrumpir corrientes que exceden a su valor nominal, a su valor nominal de Apagadores 63 voltaje, por lo que se debe observar que los datos de voltaje y corriente estén impresos en las características del apagador, como un dato del fabricante.

Estos son utilizados para el control de una o más luminarias desde uno, dos o más puntos. La función de este es cortar o permitir el paso de corriente hacia la carga dependiendo de la forma que se desea controlar la luminaria así será el tipo o los tipos de interruptores que se requieran, los tipos de interruptores en una instalación eléctrica:

1. Interruptor sencillo: Este se utiliza para control de luminarias desde un punto.
2. Interruptor de cambio de 3 vías: este se puede controlar luminarias desde dos puntos.
3. Interruptor de cambio de 4 vías: Cuando se requiere agregar más de dos puntos de control usando combinaciones de interruptores de cambio de tres vías.

Accesibilidad de los interruptores

Invariablemente en cualquier instalación eléctrica; todos los interruptores se deben instalar de manera tal que se puedan operar manualmente y desde un lugar fácilmente accesible. El centro de la palanca de operación de los interruptores no debe quedar a más de 2 metros sobre el nivel del piso en ningún caso. En el caso particular de apagadores para alumbrado en casas habitación, oficinas y centros comerciales se instalan entre 1.20 y 1.35 metros sobre el nivel del piso.

Montaje de los interruptores

- a) Tipo sobrepuesto o superficie. Los interruptores que se usen en instalaciones visibles con conductores aislados sobre aisladores se deben colocar sobre bases de material aislante que separen a los conductores por lo menos 12 milímetros de la superficie sobre la cual se apoya la instalación.

- b) Tipo embutido. Los interruptores que se alojan en cajas de instalaciones ocultas se deben montar sobre una placa o chasis que esté a ras con la superficie de empotramiento y sujeto a la caja. Los apagadores instalados en cajas metálicas embutidas y no puestas a tierra y que puedan ser alcanzados desde el piso, se deben proveer de tapas de material aislante.

Interruptores en tugares húmedos o mojados

Los interruptores que se instalan en lugares húmedos, mojados o a la intemperie, se deben alojar en cajas a prueba de intemperie o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua.

2.6 Los contactos eléctricos

Los contactos se usan para enchufar por medio de clavijas, dispositivos portátiles tales como lámparas, Laptops, radios, televisores, microondas, licuadoras, lavadoras, batidoras, refrigeradoras, cargadores, etc. Estos contactos deben tener una capacidad nominal no menor de 15 amperes para 120 voltios y no menor de 10 amperes para 240 voltios. Los contactos pueden ser sencillos o dobles, del tipo polarizado los cuales poseen conexión a tierra y a prueba de agua. En los casos más comunes son más sencillos, pero se pueden instalar en cajas combinados con los interruptores. Los contactos se localizan aproximadamente de 70 a 80 centímetros con respecto al nivel del piso. En el caso de cocinas de casas habitación, así como en baños, es común instalar los contactos en la misma caja que los interruptores, por lo que la altura de

instalación queda determinada por los interruptores, es decir entre 1.20 y 1.35 metros sobre el nivel del piso.

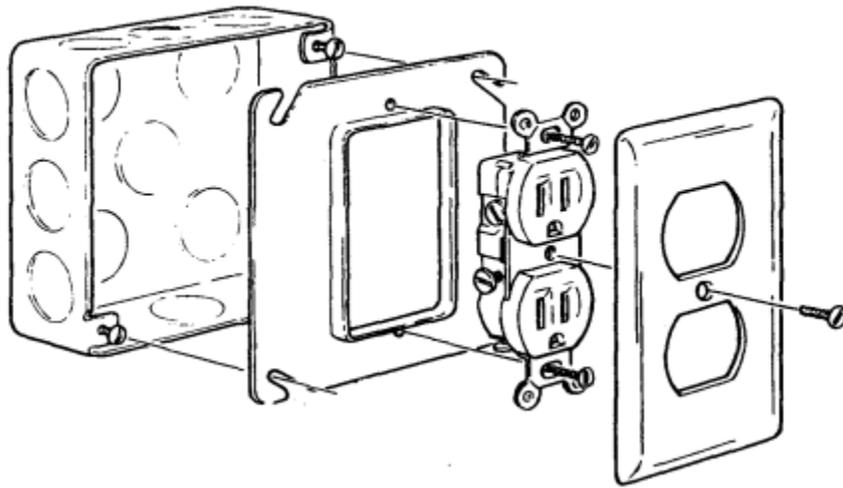


Ilustración 5: Contacto doble con montaje en la caja cuadrada. Imagen extraída de Editorial Limusa S.A de C.V.

Contactos de piso

Los contactos que se instalan en pisos deben estar contenidos en cajas especialmente construidas para cumplir con este propósito, excepto los contactos que estén en pisos elevados de aparadores o sitios similares que no estén expuestos a daño mecánico, humedad o polvo, en cuyo caso se pueden usar contactos con caja de instalación normal.

2.7 Unión de conductores eléctricos

La acción de unir dos conductores eléctricos no es deseable ya que se genera un punto de falla, pero realiza por dos razones:

1. Para cambiar de calibre al continuar un conductor.
2. Para hacer derivaciones de un mismo conductor.

Este tipo de uniones se ha normado la forma que estas deberán realizarse y para el caso de empalmes que se realizan dentro de edificaciones se pueden hacerse de dos maneras:

1. Utilizando conectores de roscas (scotchlock) o estañar
2. Recubriendo unión con cinta aislante eléctrica.

2.8 Dispositivos para protección contra sobrecorrientes en los conductores eléctricos.

El alma de cualquier instalación eléctrica la constituyen los conductores; por tanto, deben existir en cualquier instalación eléctrica dispositivos de seguridad que garanticen que la capacidad de conducción de corriente de los conductores no se exceda. Una corriente excesiva, también conocida como sobrecorriente, puede alcanzar valores desde una pequeña sobrecarga hasta valores de corriente de cortocircuito dependiendo de la localización de la falla en el circuito. Cuando ocurre un cortocircuito las pérdidas se incrementan notablemente de manera que en pocos segundos se pueden alcanzar temperaturas elevadas tales que puedan alcanzar el punto de ignición de los aislamientos de los conductores o materiales cercanos que no sean a prueba de fuego, pudiendo ser esto peligroso hasta el punto de producir incendios en las instalaciones eléctricas.

La protección contra sobrecorrientes trata de asegurar que la corriente se interrumpirá antes de que un valor excesivo pueda causar daño al conductor mismo o a la carga que se alimenta. En las instalaciones residenciales hay básicamente dos tipos de dispositivos de protección contra sobrecorrientes: Los fusibles y los interruptores termomagnéticos.

Ya que debe transcurrir tiempo para que el elemento bimetálico se caliente, el disparo o desconexión de los interruptores termomagnéticos no se da precisamente en el instante en que la corriente sobre pasa su valor permisible. Por lo general el fabricante suministra

la curva característica de operación del interruptor y, desde luego, no se recomiendan para instalaciones en donde se requiere protección instantánea contra cortocircuito. Según se conectan a las barras colectoras de los tableros de distribución o centro de carga, pueden ser del tipo atornillado o del tipo enchufado.

Interruptores Automáticos

Este dispositivo es parte esencial en una instalación ya que es el encargado de proteger los conductores de la instalación contra una sobrecarga o un cortocircuito, cuando esta corriente sobrepasa el valor especificado del breaker conocido comúnmente como dado, su función es abrir el circuito automáticamente cortando así el paso de corriente algunas de su característica que se deben verificar son las siguientes:

1. El número de polos.
2. El valor de corriente en amperios.
3. Marca de interruptor

El número de polo: Generalmente se utilizan de un polo y dos polos para el primer caso que es solo polo se refiere que es para circuitos que trabajan a 120V con solo una línea viva, y para dos polos significa que este circuito trabaja con dos líneas vivas a 240V.

El valor de corriente en amperios: Esto se refiere a la corriente máxima que este circuito limitara este valor de corriente viene especificado por el fabricante en la parte de enfrente del dispositivo.

Marca del interruptor: Es importante tener en cuenta este detalle ya que si se compra un breaker que no sea compatible con la caja térmica, se tendrá problemas a la hora de instalar lo cual con lleva a provocar falla en la red. Algo a considerar es que con respecto

al nivel de voltaje en este dispositivo generalmente no viene especificado porque la ya vienen diseñados para soportar niveles de baja tensión que se tiene en una residencia.

Valores comerciales de interruptores

En mercado se pueden encontrar valores de interruptores que van desde 15 amperios hasta los 100 amperios y estos valores van en incrementos de 10 unidades así, por ejemplo:

Un polo: 15A, 20A, 30A, 40A, 50A.

Dos polos: 15A, 20A, 30A, 40A, 50A, 70A.

Tres polos: 100A, 125A, 150A, 175A, 200A, 225A.

Los valores más comúnmente utilizados para luminarias son de 15A y para los circuitos de tomas corrientes 120V es de 20A.



Ilustración 6: Interruptores termomagnéticos de 15,20, 40 y 50 amperios.

Donde ubicar dispositivos de protección contra sobrecorriente

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes se deben colocar en el punto de alimentación de los conductores que protejan o lo más cerca que se pueda de dicho circuito de manera que sean fácilmente accesibles, que no estén expuestos a daño mecánico y no estén cerca de material fácilmente inflamable.

Una instalación eléctrica se puede clasificar

Si se consideramos las etapas de generación, transformación, transmisión y distribución de energía tendríamos que hablar de las centrales eléctricas, de los transformadores elevadores, de las líneas de transmisión, de las subestaciones reductoras y de las redes de distribución energética. Si por lo contrario clasificamos a las instalaciones eléctricas en función de sus voltajes con el que opera, necesariamente habría que mencionarse: alta tensión, mediana tensión y baja tensión. Para efectos de nuestro estudio clasificaremos a las instalaciones eléctricas como residencial la cual se explica por sí mismas.

Capítulo 3

Fundamentos teóricos y físicos del modelado

3.1 Fundamentos físicos de los incendios

En este punto comenzaremos por definir que el fuego que no es más que el proceso de combustión caracterizado por una reacción química de oxidación de suficiente intensidad para emitir luz y calor y en muchos casos, llama. Esta reacción se produce a temperatura elevada y evolución de suficiente calor como para mantener la mínima temperatura necesaria para que la combustión continúe.

Factores que intervienen para que exista el fuego

Los factores intervinientes son cuatro: Combustible, Comburente, Temperatura y Reacción Química.

- ✓ **Combustible:** Es un material que puede ser oxidado, por lo tanto, en la terminología química es un agente reductor. Como combustibles podemos nombrar el carbón, celulosa, madera, ceras, caucho, nafta, gas, metano, hidrógeno, propano, uranio, titanio, zinc, etc. Los combustibles pueden estar en cualquier estado de agregación (sólido, líquido, gaseoso), pero debemos aclarar que lo que arde con llama son los gases de combustión por estos despididos. Las sustancias normalmente en estado sólido mantienen una combustión de masa, elevándose la temperatura de esta en toda la superficie a medida que el fuego se extiende hacia el núcleo. En los combustibles líquidos, el intenso calor radiante genera vapores en cantidades crecientes lo que alimenta el fuego (llamas), los gases arden en toda su masa produciendo gran parte de ellos, serios riesgos de explosión.

- ✓ **Comburente:** Es un agente que puede oxidar a un combustible y al hacerlo esto se reduce a sí mismo. En este proceso el agente oxidante obtiene electrones tomándolos del combustible, por ejemplo: oxígeno y ozono, halógenos, ácidos (nitríco y sulfúrico) óxidos de metales pesados, nitratos, cloratos, percloratos, peróxidos, cromatos, dicromatos, etc. Desde el punto de vista del incendio el oxígeno del aire es el comburente principal, pues en casi exclusivamente todos los siniestros, el aire es el agente que alimenta el fuego. A pesar de que el oxígeno juega un papel muy importante en el desarrollo de un incendio, cabe destacar ciertos elementos como el calcio y el aluminio que pueden quemar en una atmósfera de nitrógeno que ordinariamente es inerte.

- ✓ **Temperatura de ignición:** Esta propiedad es la mínima temperatura a que una sustancia (sólida o líquida) debe ser calentada para iniciar una combustión que se sostenga por sí misma independiente de las fuentes externas de calor.

- ✓ **Reacción química:** La eliminación de este último factor significa intervenir un proceso químico y por consiguiente habrá una extinción química, aunque además pueda estar presente una extinción física. Esta reacción está compuesta por una variedad de fragmentos moleculares como los radicales libres, hidrógeno libre, carbón libre, conocidos como especies activas.

Formas de propagación del fuego:

Irradiación: Es el desplazamiento de ondas de calor, partiendo de un fuego, a una materia próxima. El calor que irradia un fuego se transmite en línea recta, calentando los objetos y el aire próximos.

Conducción: Es el avance del calor a través de una sustancia. Los materiales transmiten calor pudiendo provocar incendios por contacto.

Convección: Es el desplazamiento de los gases y aire caldeados. El humo y los gases calientes que se generan en un fuego suben rápidamente, calentando todas las materias que están por encima, pudiendo llegar a su temperatura de ignición y arder.

Como se ha indicado al definir el combustible, para que se produzca una combustión éste debe estar en forma gaseosa o generar vapores en cantidad suficiente. Para que estos vapores puedan inflamarse su concentración debe encontrarse entre dos límites de concentración:

Los límites de la inflamabilidad inferior y superior.

Por debajo del primero la cantidad de vapor es insuficiente para que se produzca una inflamación, y por encima del segundo la excesiva saturación de vapor la impide. Al tramo comprendido entre ambos límites se le llama Rango de inflamabilidad.

Definamos seguidamente las temperaturas características de los combustibles:
Temperatura de vaporización: Es la temperatura a la que hay que calentar un combustible para que comience a destilar vapores, aunque éstos son todavía incapaces de arder aun acercándoles un punto de ignición.

Temperatura de ignición: Es la temperatura a la que el combustible empieza a emitir vapores los cuales pueden inflamarse al ponerse en contacto con una llama, pero incapaces, por escasos, de mantenerse ardiendo.

Temperatura de inflamación: Es la mínima temperatura a la que un combustible emite una cantidad justa de vapores que son capaces de inflamarse en contacto con una llama y mantenerse ardiendo hasta que termine de consumir el combustible.

Clasificación de los tipos de fuegos y el tipo de extintor a usar para cada caso:

- 1. Clase A:** Fuego de materiales combustibles sólidos (madera, tejidos, papel, goma, etc.). Para su extinción requieren de enfriamiento, o sea se elimina el componente temperatura.
- 2. Clase B:** Fuego de líquidos combustibles (pinturas, grasas, solventes, naftas, etc.) o gases. Se apagan eliminando el aire o interrumpiendo la reacción en cadena.
- 3. Clase C:** Son fuegos que involucran equipos eléctricos o equipos eléctricos de baja tensión. El agente extintor no debe ser conductor de la electricidad por lo que no se puede usar agua (matafuego Clase A ni espuma química).
- 4. Clase D:** Fuego de ciertos metales combustibles (magnesio, titanio, zirconio, sodio, potasio, etc.). Requieren extintores con polvos químicos especiales.
- 5. Clase K:** Fuego de aceites vegetales o grasas animales. Requieren extintores especiales para fuegos Clase K, que contienen una solución acuosa de acetato de potasio.

Las energías de activación pueden tener su origen en fenómenos diferentes tales como los siguientes:

Térmicos:

- Utensilios de ignición tales como encendedores, cerillas, etc.
- Instalaciones que generan calor como hornos y calderas.
- Actividades como la soldadura.
- Motores.

Eléctricos:

- Descargas atmosféricas.
- Sobrecargas en instalaciones.
- Cortocircuitos.
- Electricidad estática.
- Arco eléctrico.
- Arco-serie.

Mecánicos:

- Calor o chispas producidos por fricción.

Químicos:

- Reacciones exotérmicas.
- Sustancias autooxidantes.

Dependiendo de la velocidad a la que se produce la combustión, podemos distinguir entre:

Deflagración: Combustión cuya velocidad es inferior a la velocidad del sonido, por lo que el frente de llamas va por detrás de la onda sonora.

Detonación: Combustión de velocidad superior a la velocidad del sonido, por lo que el frente de llamas va por delante de la onda sonora.

La propagación de los incendios se debe a tres mecanismos diferentes, aunque se suelen presentar simultáneamente durante los mismos:

Conducción: La transmisión del calor que propaga el incendio se realiza por contacto directo de un objeto combustible con el incendio o con otro objeto capaz de propagar el calor (metal) que está en contacto con aquel.

Convección: Proceso de transmisión del incendio por los gases calientes resultantes de la combustión y el aire calentado por el incendio que se esparcen, y al ponerse en contacto con materiales combustibles los calientan, se generan vapores y se alcanza la temperatura de autoinflamación de estos.

Radiación: Transmisión del calor en todas direcciones por ondas calóricas. El calor que recibimos del Sol es el ejemplo más significativo de radiación térmica.

En el desarrollo de un incendio, el calor liberado en el proceso de combustión en fase incipiente se transmite en un primer instante por convección, pasando conforme se va propagando y durante su máximo apogeo a transmitirse por radiación y convección de igual manera, siendo la conducción, como proceso transmisor, despreciable respecto al resto. Cuando transcurre un incendio en un recinto cerrado o espacio confinado, los gases y los humos generados durante la combustión se acumulan en el mismo, transmitiéndose el calor generado a los elementos delimitadores en mayor o menor medida.

Los gases calientes procedentes de la combustión tienden a ascender por tener una menor densidad que el aire existente y se acumulan preferentemente bajo la techumbre del espacio confinado donde transcurre el incendio, como se observa en el esquema adjunto, lugar donde se encuentran ubicadas las estructuras de soporte constructivo.

En un principio, estos gases están más calientes que los elementos constructivos que forman la cubierta o el techo del recinto. Es por esto, y de acuerdo con el principio de la termodinámica, que estos gases calientes transmiten el calor a la cubierta con la cual están en contacto, de forma que el techo absorbe la energía que transmiten los gases. Progresivamente el techo se va calentando y, conforme va aumentando la temperatura, la transmisión de calor entre los gases y el techo se reduce hasta alcanzar el equilibrio térmico entre ambos.

A partir de este momento no existirá más cesión de energía entre la capa de gases existente y los elementos del techo del recinto, encontrándose ambos a la misma temperatura, de manera que, si el incendio progresa, aumentará al mismo tiempo la temperatura de los elementos portantes y de los gases de combustión. Conforme evoluciona el incendio, se siguen generando gases, de forma que la capa de éstos bajo el techo va aumentando.

El grueso de esa capa de gases bajo el techo del espacio confinado depende de la altura libre entre el pavimento y el techo, de la distribución de huecos de ventilación y del tipo de combustión que se está produciendo, ya que ésta es la responsable de la mayor o menor formación de gases según los elementos que se estén quemando.

A medida que evoluciona el incendio, la aportación de calor a la capa de gases y al techo va aumentando y con ello la temperatura de ambos, de forma que en un determinado momento el conjunto se convierte en un centro emisor de energía por radiación a todo el recinto y en todas direcciones. En esta fase, la radiación sobre el recinto procedente del techo es mucho mayor que la que emite la llama del incendio

Además, se debe conocer en este capítulo, son los hechos físicos que generan un incendio por razones eléctricas para iniciar se deben tratar dos términos importantes como lo es el de ignición e incendio ya que estos suelen ser fuente de confusión para muchos cada uno de los términos tiene sus condiciones y características propias.

La ignición ya lleva más de cien años de estudios El Dr. Babrauskas es uno de los pioneros ya que es un investigador en ciencias de seguridad contra incendios, seguridad contra explosiones y fallas eléctricas, incendios y explosiones. Además, que es conocido por tener su manual contra incendios por tal razón hemos citado en esta investigación ya que marca un antecedente en el estudio de estos fenómenos. Una fuente ignición es aquella energía que se genera en forma de calor que hace que el combustible llegue a una temperatura de ignición generando así un incendio.

Algunas fuentes de ignición pueden ser clasificadas de acuerdo con el calor en el cual estas son iniciadas como por ejemplo tenemos: Eléctrica, Energía estática, Superficies Calientes, Fumar, Incendiarismo e Ignición Espontanea. La ignición en un sólido requiere el aumento de temperatura superficial hasta alcanzar el desprendimiento de vapores a cierta velocidad en la cual una vez se dé la ignición esta mantenga la llama.

Fuente de Ignición eléctrica

La energía eléctrica genera calor cuando la corriente circula a través de un conductor y este calor producido es proporcional a resistencia y al cuadrado de la corriente. El calor excesivo que puede ocasionar un incendio puede ser producido por los siguientes factores: Una corriente alta, Una resistencia alta y Falta de refrigeración.

La probabilidad de que un incendio tenga origen eléctrico es bastante elevada estadísticamente se maneja un porcentaje del 70 al 75% que esto ocurra, por lo que da interés al estudio de este fenómeno y su observación en los fallos eléctricos más habituales y que son susceptibles de originar un incendio. Si esto se produjera en un laboratorio será más fácil poder identificarlos posteriormente sobre los escenarios de los incendios.

Los fallos eléctricos más habituales, son los siguientes:

Fallos en ajuste en las uniones entre conductores

Como consecuencia de esta incorrecta unión entre los conductores esta puede ir formando óxido en los puntos de contacto, aumentando la resistencia al paso de corriente y por lo tanto el calor generado en dichos puntos. Nos encontramos por tanto ante un foco de calor que puede perfectamente ser el origen de un incendio.

Envejecimiento por fatiga desgaste mecánico de los revestimientos

Cuando el conductor tiene desgaste o envejecimiento pierdes sus propiedades de conducción, así como sus propiedades de aislamiento visualmente es posible detectar este tipo de falla y como respuesta a ello se puede realizar cambio de esas piezas de conductor de manera preventiva.

Cortocircuitos

La circulación de corriente a través de un conductor genera alrededor de esta un campo magnético. Si en las proximidades del campo magnético existe hierro o alguna de sus aleaciones la magnitud del campo se multiplica. Dos corrientes que circulan paralelas entre sí generan fuerzas mecánicas de atracción o repulsión en función del sentido de estas. Esta fuerza es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad e inversamente proporcional a la distancia entre ambas. Dichas fuerzas de atracción y repulsión causan fatiga a los conductores que junto con el propio envejecimiento del material aislante y posibles variaciones en la temperatura para la cual han sido diseñados, pueden degradarlos de tal forma que aparezcan pequeñas fisuras y favorezcan el origen de un futuro cortocircuito o arco serie.

Arco eléctrico

Podemos definir de forma sencilla un arco eléctrico como el paso de una corriente a través de un gas, el cual en condiciones normales es aislante. Si las moléculas de aire se disocian, el mismo queda ionizado y se esta se volverá conductor. A mayor temperatura ambiente, mayor ionización y por tanto más conductor se volverá el aire. La corriente que circula por el arco eléctrico es equivalente a la de un cortocircuito y la temperatura que se puede alcanzar ronda los 3.000°C que es superior a las temperaturas de fusión del cobre y del aluminio. El arco eléctrico produce una explosión sonora ya que ocurre de forma súbita. El 40% de su energía se convierte en irradiación de calor, por lo que suele producir quemaduras importantes en las personas que se encuentren próximas.

El arco eléctrico tiene tendencia a desplazarse: el gas ionizado al calentarse se expande y si llega un momento en que no puede expandirse más (por estar confinado) se acabará creando una sobrepresión que en ocasiones será suficiente como para deformar elementos próximos (por ejemplo, puertas metálicas en cuartos donde se ubican los transformadores). El método más adecuado para detener un arco eléctrico es enfriando ya que de esta forma se des-ioniza el aire. Tras el enfriamiento es frecuente encontrar restos de los conductores (en forma de pegotes) por las proximidades.

Arco serie

Se denomina arco serie al fallo de unión en un circuito eléctrico de forma que los puntos de unión queden lo suficientemente próximos (sin llegar a estar en contacto) como para que se produzca entre ellos un pequeño arco que permita el paso de corriente.

El fenómeno conocido como arco serie es uno de los fallos eléctricos más peligrosos ya que su detección es muy complicada, por ser susceptible de producirse en cualquier punto de la instalación y al no generar sobreintensidad alguna, sino un punto de calor muy localizado, los magnetotérmicos de protección ubicados en los cuadros eléctricos no son capaces de detectarlo y actuar en consecuencia.

Temperatura de Ignición

Se considera temperatura de ignición a la temperatura mínima en la cual una sustancia llega a su punto de combustión autosostenida en cualquier atmósfera que se encuentre. Si en dado caso el combustible es un sólido o líquido una buena parte de ellos tiene que ser transformado en vapor para que se pueda mezclar con el oxígeno que hay en el medio ambiente. Algo que se debe considerar es que la temperatura de ignición puede variar esto dependerá de la concentración de combustible y oxígeno, la tasa de flujo de aire, velocidad de calentamiento y el tamaño del sólido que esté implicado, así como también la temperatura de la fuente de ignición.

Teoría de incendios

Para conocer más sobre incendios se debe tener en cuenta la representación de este a través del triángulo de fuego el cual está constituido por los siguientes factores: Combustible, Fuente de calor y Oxígeno. Se podría considerar un cuarto punto como la

reacción de cadena descontrolada, pero esto es considerado cuando el incendio se mantiene vivo "estado estable" una vez haya comenzado.

Así como existen diferentes modelos para explicar fenómenos físicos, existe un modelo geométrico conocido como: "el triángulo del fuego", propuesto fundamentalmente para explicar los mecanismos de acción sobre el fuego de los distintos elementos extintores. Entonces el fuego se representa con un triángulo en que cada lado figura un Factor. El calor puede ser eliminado por enfriamiento, el oxígeno por exclusión del aire y el combustible líquido por su remoción o bien evitando su evaporación.



Ilustración 7: Triangulo de fuego.

En la anterior imagen se muestra el triángulo de fuego la cual representa la ignición o chispa que provocada antes de comenzar el incendio.

Como el caso que estamos estudiando la ignición puede ser producida por una causa eléctrica se pueden tener 2 casos en los cuales puede ser provocada la primera consiste en que la fuente de calor sea provocada por un arco eléctrico y la segunda es que este sea provocado por un elemento o dispositivo eléctrico resistivo que se caliente por termo

conducción. En el primer caso ya se ha estudiado el fenómeno dando como resultado la aplicación de ciertas tecnologías para poder lidiar con dicho problema como lo es los dispositivos Rompe Arcos o comúnmente conocidos como Breaker además de tecnologías digitales y de estados solidos creados por General Electric industrial entre otras aplicaciones como las que han implementado la interruptores de falla a tierra por GFCI (Ground Fault Current Interrupters) ,falla por arcos AFCI (Arc Fault Circuit Interrupters) e interruptores por falla de corriente conocido como LCDI (Leakage Current Detection and Interruption) todos estos dispositivos fueron creados para proteger los circuitos y de esta manera también en gran medida se disminuye el riesgo de un incendio en un determinado lugar, salvaguardo así las vidas humana.

Como se mencionó el segundo caso no hay estudios concretos que estudien este tipo de fenómenos y realizar un modelado general se debe considerar dos puntos importantes uno la fuente generadora y el segundo el ambiente en que se rodea.

Para realizar un modela de la ciencia del fuego es necesario saber que hay dos ramas una es el modelado físico y el modelado matemático en cual el modela físico se divide en modelos a escala y modelos fueras de escala en el caso del modelado matemático este se divide en modelados probabilístico y determinístico.

3.2 Estadísticas de incendios en El Salvador

En esta tabla se presenta las estadísticas de incendio del periodo de 01 de enero al 30 de junio de 2023 estadística extraída de la Dirección General de Protección civil.

Tabla 5. Número de incendios para el periodo de enero a junio del 2023.

TOTAL INCENDIOS		
N°	Incendios	Cantidad
1	Forestales	103
2	Estructurales	348
3	En Vehículos	218
4	En Maleza Seca	2004
5	En Coheterías	6
6	Materiales Peligrosos	0
7	En Puestos de Polvora	0
8	En Basureros	212
9	En Tambo de Gas	109
10	Conato de incendio	20
11	Otros Incendios	283
	Total	3303

Tabla 6. Número de personas afectadas por incendios del periodo enero a junio del 2023.

PERSONAS AFECTADAS POR INCENDIOS				
N°	evento	cantidad		Total global
		Menor	Adulto	
1	Intoxicados por humo	0	7	7
2	Quemados	4	20	24
3	Fallecidos	2	7	9
4	Lesionados	4	14	18
	Total	10	48	58
		Activos	Cerrados	Estado actual
1	Albergues	1	0	1
		Albergados	Sin Albergar	Total Evacuados
2	Personas Evacuadas	9	0	9

Como se puede observar en la tabla 5 la cantidad incendios que se registran cada año es considerable y algunos de ellos pueden ser evitados gracias al tratamiento adecuado del fenómeno, lo cual como por ejemplo los incendios estructurales se tiene pueden ser atendidos si se analiza los elementos que lo conlleva, para que exista un incendio debe existir estos tres componentes el combustible, oxígeno y una fuente de calor. Es ahí donde se debe prever analizando que todos estos elementos están en un estado crítico en la residencia y así de esa forma poder corregirlo.

3.3 Modelos matemáticos

Para hablar de modelados matemáticos tenemos que iniciar definiendo lo que es un modelo para poder dar una mejor interpretación de lo que se busca con este tipo de estudio. Un modelo no es más que una representación de una realidad, de una forma explícita y externa de tal manera que se pueda gestionar, cambiar, entender y controlar dicha parte de la realidad.

El conocimiento de la realidad a través del modelo permitirá al asesor tener oportunidad de realizar cambios a la realidad modelada. Los cambios serán más notorios cuantos más aspectos de la realidad se hayan podido modelar. También se debe considerar que abordar un problema a través de un modelado nos permite controlar y anticipar el rendimiento de un determinado sistema.

El conocer el modelo nos beneficia en 3 aspectos en una investigación: Aprender-Entender, Tomar decisiones e Implementar en algún Software.

Como primer punto podemos destacar que uno de los principales beneficios del modelado es el entendimiento que el modelador adquiere de esa realidad que se está estudiando. Y puede ocurrir que los objetivos planteados inicialmente en el estudio se

hayan alcanzado sin la necesidad de un tipo de acción o experimento. En ocasiones ciertos modelos que se tenga que desarrollar se tiene que acceder a cierta información en la cual jamás se le había prestado atención y en esa búsqueda se reduce la incertidumbre ayudando de esa forma a resolver el problema.

Elementos de un modelo matematico:

- **Variables:** Son los conceptos u objetos que se busca entender o analizar. Sobre todo, con respecto a su relación con otras variables. Así, por ejemplo, una variable puede ser la temperatura en un conductor.
- **Parámetros:** Se trata de valores conocidos o controlables del modelo.
- **Restricciones:** Son determinados límites que nos indican que los resultados del análisis son razonables.
- **Relaciones entre las variables:** El modelo establece una determinada relación entre las variables apoyándose en teorías económicas, físicas, químicas, etc.
- **Representaciones simplificadas:** Una de las características esenciales de un modelo matemáticos es la representación de las relaciones entre las variables estudiadas a través de elementos de las matemáticas tales como: funciones, ecuaciones, fórmulas, etc.

Propiedades de un modelo matematico

Cuando se diseñamos un modelo matemático, se busca que este tenga un conjunto de propiedades que ayude a asegurar su robustez y efectividad. Entre estas propiedades se encuentran:

- **Simplicidad:** Uno de los objetivos principales de un modelo matemático es simplificar la realidad para poder entenderla mejor.
- **Objetividad:** Que no tenga sesgos ni teóricos ni de los prejuicios o ideas de sus diseñadores.

- **Sensibilidad:** Que sea capaz de reflejar los efectos de pequeñas variaciones.
- **Estabilidad:** Que el modelo matemático no se altere significativamente cuando hay cambios pequeños en las variables.
- **Universalidad:** Que sea aplicable a varios contextos y no sólo a un caso particular.

Estas propiedades se pueden decir que son de las más importantes, aunque probablemente existan muchas más que no se hayan mencionado.

Proceso para seguir en un modelo matemático

El proceso de elaboración de un modelo matemático que se esté realizando se puede llevar a cabo de la siguiente forma:

1. Encontrar un fenómeno o problema.
2. Formular un modelo con elementos de matemáticas representando el problema elegido identificando las variables relevantes (dependientes e independientes).
3. Establecer hipótesis y un método de prueba de su veracidad.
4. Aplicar los conocimientos matemáticos para resolver el modelo y hacer predicciones si es necesario.
5. Hacer comparaciones de los datos obtenidos con datos reales.
6. Si los resultados no se ajustan a lo esperado, ir ajustando el modelo matemático.

Tipos de modelos matemáticos

Entre los diversos tipos de modelos matemáticos. A continuación, veremos algunos de los tipos de modelos más relevantes:

De acuerdo con la información utilizada

- ✓ **Heurístico:** Basado en posibles explicaciones sobre las causas de los fenómenos observados.
- ✓ **Empírico:** Utiliza la información de la experimentación real.

Según el tipo de presentación

- ✓ **Cualitativos o conceptuales:** Se refieren a un análisis de la calidad o la tendencia de un fenómeno sin calcular un valor exacto.
- ✓ **Cuantitativos o numérico:** Los resultados obtenidos tienen un valor concreto que tiene un cierto significado (puede ser exacto o relativo).

Según su aleatoriedad

- ✓ **Determinista:** No tiene incertidumbre, los valores son conocidos.
- ✓ **Estocástico:** No se conoce con exactitud el valor de las variables en todo momento. Existe incertidumbre y por ende una distribución de probabilidad de los resultados.

Según su aplicación

- ✓ **Simulación o descriptivo:** Simula o describe un fenómeno. Los resultados se enfocan a predecir qué sucederá una determinada situación.
- ✓ **Optimización:** Se utilizan para encontrar una solución óptima a un problema.
- ✓ **De control:** Para mantener el control de una organización o sistema y determinar las variables que deben ajustarse para obtener los resultados buscados.

El modelo que hemos elegido nos permite tener una visión más clara y nos permite mejores resoluciones aportando más a la toma de decisiones óptimas de acuerdo con los objetivos que se hayan definidos. Además, que pueden ser tomadas para evaluar el impacto de las decisiones antes de ser tomadas, y de tal manera que se pueda elegir las que más se adecue.

Una vez realizado un modelado puede este realizarse a través de modelos de programación en que se pueda automatizar y simular dicha situación que podría asimilarse a la realidad o en un caso real permitiendo así brindar una información más dinámica y digerible para alguien que no actuó como modelador.

Modelo matemático determinista o determinístico

Este es un modelo matemático donde se tiene las misma entradas o condiciones iniciales y esta producirán invariablemente las misma salidas o resultados no contemplándose la existencia del azar o incertidumbre en el proceso modelado.

Con este modelo se busca realizar predicciones de una manera correcta y exacta definida dentro de la distribución de las probabilidades. También se debe considerar que este modelo se encuentra relacionado con el origen de entornos simulados para poder estudiar las situaciones hipotéticas, así también como para crear sistemas de gestión que disminuyan la incertidumbre.

Una de las características que se debe resaltar de este modelo es la inclusión de la complejidad en las relaciones con mayor presencia de variables y elementos que sean distintos esto conlleva que modelo matemático determinístico se asemeje a un modelo probabilístico o estocástico. Algunos modelos, herramientas o técnicas determinísticas son: programación lineal, análisis de Márkov, costo/beneficio, entre otros. En otras palabras, un modelo determinístico se construye para una condición de certeza supuesta, y el modelo asume que solo hay un resultado posible.

3.4 Análisis matemático y eléctrico del modelado del calentamiento de conductores

Llegando a este punto de nuestro estudio. Debemos relacionar dos conceptos fundamentales: el calor y el trabajo. Donde hay trabajo se produce calor; donde existe un foco de calor hay una fuente de trabajo. Lo anterior se demuestra fácilmente. Por ejemplo, basta con frotarse las manos para que nuestros músculos experimenten cansancio y nuestras manos un calentamiento ejemplo muy básico pero explicativo del fenómeno. La cantidad de calor necesaria para elevar en un grado centígrado de temperatura un gramo de agua se llama caloría y la representamos por C.

Cantidad de calor que puede producir una corriente eléctrica

Es notable, que, si la corriente eléctrica lleva implícita una producción de calor, entre ambas manifestaciones de energía debe existir una relación matemática, que unida al valor de la resistencia por la intensidad, nos diga cuál es el calor producido por dicha corriente eléctrica. Fue el físico inglés James Joule quien se dedicó al estudio de los efectos caloríficos producidos por la corriente eléctrica. Después de varias experiencias, observó que:

- ✓ La corriente eléctrica produce calentamiento en un conductor.
- ✓ Este calentamiento del conductor recorrido por una corriente es proporcional al tiempo que dure el paso de dicha corriente.
- ✓ El calentamiento varía con la intensidad de la corriente.
- ✓ El calentamiento es proporcional a la resistencia del conductor.

Voltaje o Diferencia de potencial

Esta se obtiene cuando se conecta una fuente de voltaje en las terminales de un circuito y esta crea una gran cantidad de electrones libres en una terminal, y una cantidad menor en el otro; la terminal que tiene exceso tiene carga negativa y la que tiene deficiencia carga positiva. Los que se encuentran en la terminal positiva los electrones libres se encuentran más separados de lo normal, y las fuerzas de repulsión que actúan entre ellos se ve en disminución. Esta fuerza de repulsión es una forma de energía potencial; también se le llama energía de posición.

Los electrones que viajan a través de un conductor eléctrico poseen energía potencial y realizan un trabajo en lo cual pone a otros electrones en el conductor en unas nuevas posiciones. Se puede constatar que la energía potencial de los electrones libres, que se encuentran terminal positiva de un circuito es menor que la energía potencial de los que se tienen en la terminal negativa; por tanto, existe una diferencia de energía potencial, esta diferencia de potencial es la que crea la presión necesaria para hacer circular la corriente en el circuito.

Debido a que en los circuitos eléctricos las fuentes de voltaje son las que crean la diferencia de potencial y que producen la circulación de corriente, también se les conoce como fuentes de fuerza electromotriz (FEM). La unidad básica de medición de la diferencia de potencial es el Volt y por lo general, se designa con la letra V y se mide por medio de aparatos llamados voltímetros.

Coefficiente de temperatura

El coeficiente temperatura se encarga de medir los cambios en la resistencia eléctrica de cualquier sustancia por grado de cambio de temperatura. En los metales, si la temperatura aumenta, el movimiento aleatorio de los electrones libres y la vibración interatómica dentro del metal también aumentan, lo que resulta en más colisiones.

Más colisiones resisten el suave flujo de electrones a través del metal; por tanto, la resistencia del metal aumenta con el aumento de temperatura. Por lo tanto, consideramos que el coeficiente de resistencia a la temperatura es positivo para el metal. Los semiconductores u otros no metálicos, el número de electrones libres aumenta con el aumento de temperatura.

Porque a una temperatura más alta, debido a la suficiente energía térmica suministrada al cristal, se rompe un número significativo de enlaces covalentes y, por lo tanto, se crean más electrones libres. Eso significa que, si la temperatura aumenta, una cantidad significativa de electrones llega a las bandas de conducción desde las bandas de valencia al cruzar la brecha de energía prohibida.

En este caso, el coeficiente de temperatura de la resistencia eléctrica determina el aumento o disminución de la resistencia eléctrica de acuerdo con la variación de temperatura y la naturaleza de cada material. Este coeficiente se denomina con la letra α y se encuentra en la fórmula de la resistencia dependiendo del cambio de temperatura. Su expresión matemática del coeficiente de temperatura:

$$\alpha(T) = \frac{1}{RT_0} * \frac{\partial R(T)}{\partial T}$$

Donde:

- α es el coeficiente de temperatura, que varía con la temperatura;
- $R(T)$ es la magnitud de la propiedad física del material a una temperatura T
- $R(T_0)$ es la magnitud de la propiedad física del material a la temperatura de referencia T_0

Como en ciertos valores de temperatura el coeficiente se mantiene constante es decir que la magnitud física depende linealmente entonces a la ecuación puede dársele la siguiente aproximación:

$$\alpha(T) = \frac{1}{RT_0} * \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

El coeficiente de temperatura de la resistencia eléctrica

Para este caso, el coeficiente determina el aumento o disminución de la resistencia eléctrica de acuerdo con la variación de temperatura dependiendo del material que se esté analizando. Como veremos en la fórmula el coeficiente de temperatura dependiendo del cambio de temperatura que se dé:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

Resistencia de un conductor

Se utiliza la letra R para indicar la resistencia y es medida en Ohmios que proviene del científico alemán Georg Simón Ohm 1789-1854, cuyo símbolo es Ω . Se puede definir la resistencia eléctrica de una forma abstracta, como la menor o mayor dificultad que presenta los cuerpos a la circulación de corriente eléctrica a través de él. Al valor recíproco de la resistencia es conocido como conductancia representada por la letra G, esta es una medida de la facilidad con que puede circular una corriente eléctrica a través de un conductor es decir $G = 1/R$.

Ya que los electrones libres adquieren velocidad en su movimiento a lo largo del conductor eléctrico, la energía potencial de la fuente de voltaje sufre una transformación a energía cinética; es decir, que los electrones adquieren energía cinética (la energía de movimiento). A través del conductor los electrones antes de que se desplacen muy lejos, se producen colisiones con los iones del conductor eléctrico. Un ion es aquel simplemente un átomo o grupo de átomos que por la pérdida o ganancia de electrones libres ha adquirido una carga eléctrica. Estos iones toman posiciones permanentes y dan al conductor metálico su forma o característica que cada uno posee.

El resultado de este proceso de colisiones entre los electrones libres y los iones, los electrones libres dan parte de su energía cinética que no es más que energía en forma de calor a los iones. Cuando se pasa de un punto a otro en un circuito eléctrico, un electrón libre puede producir muchas colisiones y, dado que la corriente es el movimiento de electrones libres, las colisiones se oponen a la corriente que circula por el conductor.

Ya al fenómeno de oponerse también se le conoce como resistir, de manera que se puede establecer formalmente que la resistencia es la propiedad de un circuito eléctrico en la que esta se resiste a la circulación de la corriente. La unidad de la resistencia es el ohm y se designa con la letra R la ecuación para encontrarla es la siguiente:

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad [\Omega \text{mm}^2/\text{m}]$$

Todos los equipos que se utilizan en los circuitos eléctricos tienen alguna resistencia, siendo de particular interés en las instalaciones eléctricas la resistencia de los conductores eléctricos. Los factores afectan la resistencia metálica de los conductores son los siguientes:

1. Su longitud
2. El área o sección transversal
3. El tipo de material del conductor
4. La temperatura.

La resistencia de un alambre que tiene una sección recta y uniforme es directamente proporcional a la longitud e inversamente proporcional al área transversal también esta depende de la resistividad del material con que se haya elaborado el alambre.

Ley de Ohm

Para el año 1825, el científico alemán, George Simón Ohm, realizó experimentos que conllevaron al establecimiento de una de las leyes más importantes de los circuitos eléctricos. Así como la ley como la unidad de resistencia eléctrica lleva su nombre en su honor. Las maneras en que se puede expresar la ley de Ohm son las siguientes:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}}; R = \frac{V}{I}$$

$$\text{Corriente} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Resistencia}}; I = \frac{V}{R}$$

$$\text{Voltaje} = \text{Resistencia} \times \text{Corriente}; V = R * I$$

Potencia y energía eléctrica

En un circuito eléctrico la capacidad que este tiene para realizar un trabajo se le conoce como potencia y es conocida como P en honor a la memoria de James Watt, quien fue un inventor de máquinas vapor la unidad en la que esta es medida es el watt y es abrevia w, para calcular la potencia de un circuito se usa la relación:

$$P = V * I$$

Es común que entre algunos equipos residenciales usados nos brinde la potencia en watt, por lo que es necesario algunas veces manejar la ecuación anterior en distintas maneras en forma semejante a Ley de Ohm

Concepto de caída de voltaje

Cuando la corriente que circula por un conductor, parte del voltaje generado se va perdiendo en superar la resistencia del conductor. Cuando se tiene pérdida es excesiva y es mayor de cierto porcentaje que fija el reglamento de las instalaciones eléctricas, observaremos que algunas lámparas y algunos otros aparatos eléctricos tendrán problemas en su operación. Si ejemplo, las lámparas incandescentes reducen su intensidad luminosa, los motores eléctricos de inducción tienen problemas para arrancar y los sistemas de calefacción reducen su calor producido a la salida esto se debe a esa pérdida que se obtuvo.

Para el caso de los conductores usados en instalaciones eléctricas, se usa la designación norteamericana de la AWG (American Wire Gage) que designa a cada conductor por un número o calibre y que está relacionado con su tamaño o diámetro, como se estudia en el capítulo 2. Para cada calibre del conductor se tiene un dato de su resistencia, que normalmente está expresada en ohm por cada metro de longitud, lo que permite calcular la resistencia total de un conductor eléctrico utilizando la siguiente expresión:

$$R = r * l$$

$$r: \text{Resistencia de } \frac{\text{Ohm}}{\text{metro}}$$

$$l: \text{Longitud total del conductor}$$

La resistividad de un material

Esta se puede definir como la resistencia eléctrica específica que presenta cada material.

Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohmios*metro ($\Omega \text{ m}$). Su valor describirá el comportamiento de un material frente a la circulación de corriente eléctrica, cuanto más alto sea su valor de resistividad indica que el material es un aislante mientras que un valor bajo indica que es un conductor.

$$\rho = R \frac{S}{l} \text{ [\Omega mm}^2\text{/m]}$$

Como la resistividad o también llamada resistencia específica se ha referido a un trozo de un metro de largo y un milímetro cuadrado de sección, en la fórmula anterior se debe tomar la longitud del conductor en metros y su sección transversal en milímetros cuadrados. La resistividad se mide usando las dimensiones que se especifique del material y a este se determina su resistencia que es precisamente la resistividad.

Aplicaciones del efecto Joule

El calentamiento de los conductores es un fenómeno sumamente importante. En él se basan dos de las principales aplicaciones de la electricidad:

- ✓ El alumbrado eléctrico: Se utilizan para el alumbrado lámparas, bombillas o ampollas llamadas de incandescencia. Estas constan de una ampolla de vidrio que puede ser transparente, opaca (o sea cubierta con una pequeña capa de polvo especial), o esmerilada. En el interior de esta ampolla de vidrio se encuentra un filamento de tungsteno o wolframio, muy resistente, que, al ser atravesado por una corriente eléctrica suficiente, se enrojece y se hace incandescente.
- ✓ El calentamiento eléctrico por resistencia: El desprendimiento de calor producido por el paso de la electricidad, se aprovecha en numerosas aplicaciones tanto domésticas como industriales como por ejemplo (planchas, hervidores, hornos, aparatos de soldadura, hornos eléctricos para la fundición y metalurgia).

Algunos inconvenientes que se deben considerar debido al efecto Joule

Caída de tensión en el conductor:

El calentamiento de los conductores, que como se conoce tienen una resistencia, absorbe parte de la energía eléctrica y la transforma en calor; es decir, hay una "Caída de Tensión" en el circuito, y esto es perjudicial. Si tenemos que la corriente que es la intensidad que recorre un conductor de resistencia que alimenta un receptor (lámpara,

motor, televisor, etc.), según la Ley de Ohm se produce a lo largo del conductor una caída de tensión provocada por la resistencia. Si la energía absorbida sobrepasa los porcentajes normales, los aparatos de utilización recibirán una tensión menor y su funcionamiento será defectuoso. Esto se hace mucho más notorio en los aparatos que no tienen gran margen de tolerancia en cuanto a la tensión de funcionamiento (televisores, radios, etc.), por lo que se hace necesario colocarles un aparato especial para mejorar el funcionamiento, como un elevador o un estabilizador. Para evitar todos estos inconvenientes, es preciso calcular la sección de los conductores, de tal manera que esta pérdida de energía eléctrica no sobrepase las normas legales que ya están establecidas por los entes reguladores.

Cortocircuitó en la red

En una instalación eléctrica, una falsa maniobra, un aislamiento defectuoso, una sobrecarga, un error en la conexión de aparatos pueden ser causas de cortocircuito. Lo cual en una instalación eléctrica esto provocaría un incremento en la corriente por consiguiente un aumento en la temperatura del conductor con posible daño al aislamiento.

Calentamiento en equipos eléctricos

Todos los artefactos eléctricos como motores, licuadoras, transformadores, estabilizadores, cuando duran mucho tiempo funcionando se calientan. Esto se debe al efecto Joule, que en estos aparatos podemos reducir al mínimo, pero no eliminar totalmente.

Definición de integral

De forma más general, el término integral es utilizado cuando se quiera dar una idea de totalidad o globalidad alrededor de un determinado fenómeno que se analice. Simplemente, una integral de una forma general es la suma de infinitos sumandos, infinitesimalmente muy pequeños sumados de una forma continua. La integral también es conocida como la operación inversa a la diferencial de una función. Es muy común que en ingeniería y en la ciencia; se utilice principalmente para el cálculo de áreas y volúmenes de regiones y sólidos de revolución.

Cálculo de la ecuación que determinara la potencia disipada

El efecto Joule puede ser modelado simulando un conductor óhmico ideal, multiplicando el cuadrado de la corriente por la resistencia del conductor y por el tiempo que fluye la corriente en el conductor, si recordamos la forma matemática de la energía disipada para esta clase conductor es la siguiente:

$$W = I^2 R * t \text{ EC [1]}$$

Donde se tiene que W es la energía disipada es decir la energía que se convierte en calor. I este es la corriente eléctrica en el conductor, R es la resistencia eléctrica del conductor t es el tiempo que fluye la corriente en el conductor. En algún caso que no se tenga un conductor cualquiera con una resistencia que no sea uniforme respecto al tiempo al cual este es sometido al paso de corriente este se podría expresar con la siguiente ecuación de Joule:

$$W = \int I^2 * R * dt \text{ EC [2]}$$

Otra forma de expresarlo sería aplicando ley de Ohm:

$$W = \int V * I * dt \text{ EC [3]}$$

Lo importante en este punto es definir que resistencia real será definida al conductor y que esté relacionado directamente al voltaje de pérdida que es reflejado en el mismo el cual no es constante a lo largo del conductor como muchas veces es asumido.

La resistividad también podría expresarse en función de la temperatura como hemos visto en la teoría anteriormente este tiene un factor importante en el calentamiento de un conductor de tal manera que podemos obtener la siguiente ecuación obtenida de Sapiensman:

$$\rho_{\theta} = \rho_{20^{\circ}\text{C}} + \rho_{20^{\circ}\text{C}} * \alpha(T - 20^{\circ}\text{C})$$

Desarrollando se obtiene:

$$\rho_c = \rho_{c0} * (1 + \alpha(T - 20^{\circ}\text{C}))$$

Comúnmente se asume un factor de incremento térmico constante, en una propiedad intrínseca del material conductor llamada “resistividad”, que es el inverso de una propiedad física llamada “conductividad” definida como la capacidad del material para conducir cargas libres. La función de resistividad puede expresarse en función de la temperatura según la ecuación siguiente:

$$\rho_c = m * ((T - T_0) + \rho_{c0}) \text{ EC [4]}$$

Esta es una ecuación que puede aplicable a un evento general de conducción donde el rango de valores a estudiar esté muy lejano a cero en la escala térmica; por lo que podemos referenciar a un valor inicial, que llamamos ρ_{co} , que se da en un valor de temperatura $T_o \neq 0$, que generalmente es el valor de diseño o valor de referencia del elemento eléctrico que se estudia.

En esta grafico se puede observar la función ρ_c linealizada, y corregida para que la temperatura inicial sea cualquiera diferente de cero.

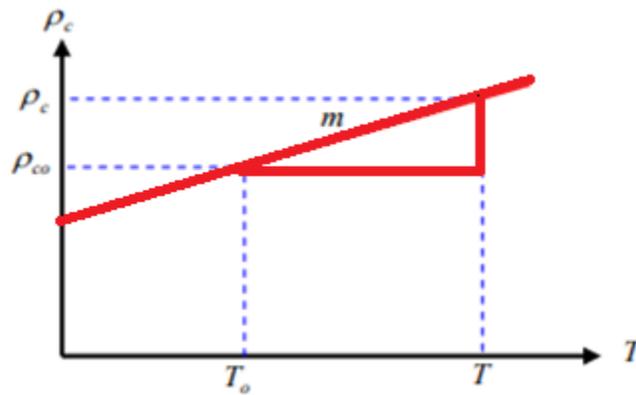


Ilustración 8: Representación gráfica de una función de la resistividad ρ_c

Por definición de pendiente de una recta se puede determinar m de la siguiente manera:

$$m = \frac{\rho_c - \rho_{co}}{T - T_o} = \rho_{co} * \alpha \text{ EC [5]}$$

De la ecuación anterior podemos determinar que α es la función de coeficiente de temperatura y se expresa en $\frac{1}{^\circ\text{C}}, \frac{1}{^\circ\text{F}}$ y ρ_{co} se obtiene de valores que se tienen tabulados por medio de la experimentación de diversos materiales. En este proceso investigativo sea determinado que la función α sólo puede modelarse como constante en pocos casos cuando las características del material así lo permiten, y eso es si es un rango de valores

muy controlado; pero de forma general debemos considerar que la misma función podría tener variaciones con la temperatura en las que se haya sometido el material, por lo cual debe relacionarse con una función dependiente de la temperatura T , realizando un integral aplicada a la EC [4] quedando de la siguiente manera:

$$\rho_C = \rho_{co} * [1 + \int_{T_0}^T \alpha_{(T)} * dT] \quad EC [6]$$

Si utilizamos la fórmula de resistencia del conductor, combinando con la ecuación anterior obtenemos:

$$R = (\rho_c * L) / A_P = ((\rho_{co} * L) / A_P) [1 + \int_{T_0}^T \alpha_{(T)} * dT] \quad EC [7]$$

Donde L es la longitud del conductor y A_P es la sección transversal del mismo.

Sin embargo, el conductor puede cambiar sus propiedades de resistividad e incluso su sección transversal a lo largo de su desarrollo longitudinal, lo cual se ha considerado en el modelado de esta investigación, y realizando el desarrollo matemático de las condiciones modeladas, se determinó que un elemento diferencial de conductor puede modelarse como:

$$dR = \left(\frac{\rho_{co}(T_0)}{A_P} \right) * dl + \left(\frac{\rho_{co}(T_0)}{A_P} \right) * \int_{T_0}^T \alpha_{(T)} * dT * dl \quad EC [8]$$

Donde puede reemplazarse a A_P por una función de corrección A_P Función de corrección = $A_{P(L)}$ que se escriba en función de las variaciones de sección del conductor a lo largo de su longitud, con lo que la resistencia del conductor tendrá una parte totalmente en función de la temperatura de diseño T_0 y una parte en función de los incrementos térmicos y la longitud, ésta última será la variación por temperatura real de la resistencia del conductor presentada por la ecuación siguiente:

$$R_{(T,L)} = R_{(R_0,L)} + R_{(T,L)}f_{(R,L)} = R_{(R_0,L)} + \Delta R_{(T,L)}$$

$$R_{(T,L)} = \int_0^L \left(\frac{\rho_{co}(T_0,L)}{A_p(L)} \right) * dl + \int_0^L \int_{T_0}^T \left(\frac{\rho_{co}(T_0,L) * \alpha_{(T,L)}}{A_p(L)} \right) * dT * dl \quad \text{EC [9]}$$

Si combinamos estas dos ecuaciones EC [2], EC [9] y la ecuación general de potencia instantánea real disipada en el conductor se representa como:

$$P_C = \frac{dW}{dt} \quad \text{EC [10]}$$

Desarrollando ecuaciones obtenemos:

$$P_{C(T,L)} = \int_0^L \frac{\rho_{co}(T_0,L) * I^2_{(T,L)}}{A_p(L)} * dl + \int_0^L \int_{T_0}^T \left(\frac{\rho_{co}(T_0,L) * \alpha_{(T,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_p(L)} \right) * dT * dl \quad \text{EC [11]}$$

Donde la ecuación define la potencia disipada por unidad de área transversal del conductor. Ahora definiremos los elementos de la ecuación:

- $\rho_{co}(T_0,L)$: Resistividad del material a la temperatura de referencia T_0 .
- $\alpha_{(T,L)}$: Coeficiente de temperatura.
- $I_{(T,L)}$, Corriente que circula a través del conductor
- $A_{p(L)}$: Area transversal del conductor.
- T: Temperatura a la que realmente se encuentra el ambiente del conductor.
- L: Representan la longitud del conductor.

Capítulo 4

4.1 Resultados de la investigación

Resultados obtenidos utilizando la EC [11] de la potencia disipada.

Para realizar esta prueba se tomó un conductor de cobre calibre 14 AWG asumiendo una longitud de 12 metros y una temperatura ambiente de 31°C además una corriente de 15 amperios en el cual el único parámetro que se ira modificando es la temperatura en incrementos de 5 °C. Los valores de resistividad, coeficiente de temperatura y área transversal están dados según el tipo de material que este fabricado para este caso se toma los valores del material de cobre así:

Resistividad del conductor de cobre $\rho_{co(T_0,L)} = 1.72 \times 10^{-8} \Omega m$

Coeficiente de temperatura del cobre $\alpha_{(T,L)} = 3.9 \times 10^{-3}$

Área transversal del conductor $A_{p(L)} = 2,08 \times 10^{-6} m$

$$P_{C(T,L)} = \int_0^L \frac{\rho_{co(T_0,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_{p(L)}} * dl + \int_0^L \int_{T_0}^T \left(\frac{\rho_{co(T_0,L)} * \alpha_{(T,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_{p(L)}} \right) * dT * dl$$

The image shows a screenshot of the WolframAlpha website. At the top, the WolframAlpha logo is displayed with the tagline "inteligencia computacional.". Below the logo is a search bar containing the mathematical expression: $\text{Integrate}[(1.72e-8)*(15^2)/2.08e-6,\{y,0,12\}]+\text{Integrate}[(1.72e-8y)(3.9e-3)(15^2)xy)/2.08e-6y,\{x,31,80\},\{y,0,1\}]$. Below the search bar are several navigation buttons: "LENGUAJE NATURAL", "ENTRADA MATEMÁTICA", "TECLADO EXTENDIDO", "EJEMPLOS", "CARGAR", and "ALEATORIO". Below the search bar, the result is displayed as "Resultado" followed by the value "1443,13".

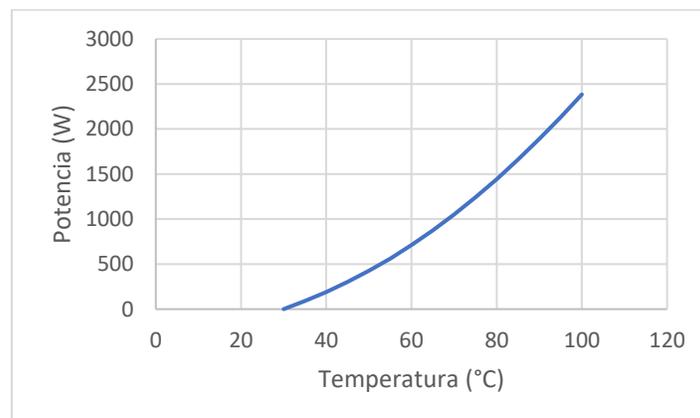
Ilustración 9: Utilizando software libre para calcular el valor de potencia disipada.

Tabla 7. Valores de potencia disipada obtenidos cuando el conductor es evaluado a diferentes temperaturas.

Temperatura °C	Potencia (W)
30	6.3
35	91
40	189.25
45	300.27
50	424.35
55	561.49
60	711.7
65	874.96
70	1051.29
75	1240.68
80	1443.13
85	1658.64
90	1887.21
95	2128.85
100	2383.54

Gráfico 1

Comportamiento de la potencia disipada en un conductor 14AWG cuando este es sometido a diferentes temperaturas.



De esta manera se puede determinar cuánto es la potencia disipada que un conductor eléctrico residencial que genera y poder verificar en qué estado o condición el conductor se encuentra trabajando según en el entorno ambiental en el que se encuentre. Tomando como consideración importante los cambios de temperatura que se experimenta a diferentes horas.

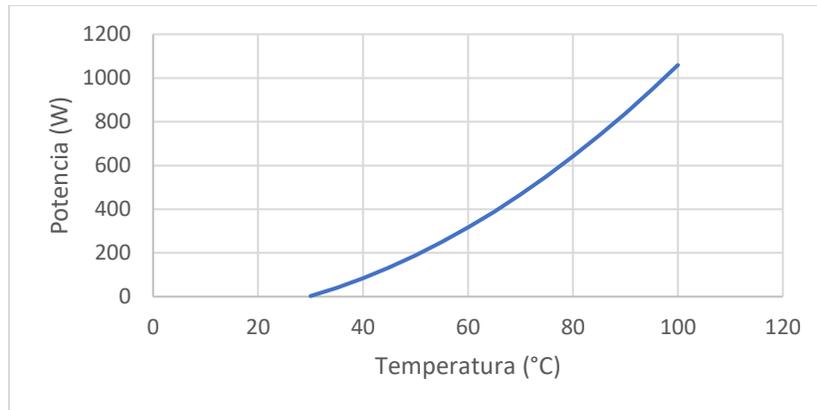
Ahora repetiremos la prueba para el mismo conductor solo que se realizara con una corriente de 10 amperios para poder ver la diferencia de la potencia que se disipa al compararla con el de una corriente de 15 amperios.

Tabla 8. Valores de potencia disipada obtenidos de mis conductor 14AWG manteniendo una corriente de 10 amperios.

Temperatura °C	Potencia (W)
30	2.8
35	40.5
40	84.1
45	133.4
50	188.6
55	249.5
60	316.3
65	388.8
70	467.2
75	551.4
80	641.4
85	737.1
90	838.7
95	946.1
100	1059.3

Gráfico 2

Comportamiento de la potencia disipada en un conductor 14AWG cuando este trabaja con una corriente de 10 amperios.



Al realizar la comparativa entre los dos gráficos obtenidos de la prueba del conductor 14AWG en el primer caso se trabajó con una corriente de 15 amperios y para el segundo con una corriente de 10 amperios se puede observar que la potencia disipada en el conductor se reduce hasta casi el 50% lo cual da pie para tomar en consideración en una instalación eléctrica residencial y advertir a las personas el problema de sobrecargar un circuito, le acortamos la vida útil a nuestros conductores eléctricos debido a sobrecalentamiento y la posibilidad de ocasionar una fuente de ignición de incendio por ello es necesario desde el momento del diseño de la instalación poder hacer un adecuado dimensionamientos de los conductores eléctricos que se van utilizar así como también mantenimientos predictivos y correctivos todo con el fin de evitar daños económicos y físicos que estos puedan causar.

Si realizamos el mismo ejercicio para otro calibre veremos como la potencia disipada disminuye en gran medida. Para realizar esta prueba se tomó un conductor de cobre calibre 12 AWG asumiendo una longitud de 12 metros y una temperatura ambiente de 31°C además una corriente de 15 amperios en el cual el único parámetro que se ira modificando es la temperatura en incrementos de 5 °C. Los valores de resistividad, coeficiente de temperatura y área transversal están dados según el tipo de material que este fabricado para este caso se toma los valores del material de cobre así:

$$\text{Resistividad del conductor de cobre } \rho_{co(T_0,L)} = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$\text{Coeficiente de temperatura del cobre } \alpha_{(T,L)} = 3.9 \times 10^{-3}$$

$$\text{Área transversal del conductor } A_{p(L)} = 3,31 \times 10^{-6} m^2$$

$$P_{C(T,L)} = \int_0^L \frac{\rho_{co(T_0,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_{p(L)}} * dl + \int_0^L \int_{T_0}^T \left(\frac{\rho_{co(T_0,L)} * \alpha_{(T,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_{p(L)}} \right) * dT * dl$$

WolframAlpha Inteligencia computacional.

`Integrate[(1.72e-8)*(15^2)/3.31e-6,{y,0,12}]+Integrate(((1.72e-8y)(3.9e-3)(15^2)xy)/3.31e-6y,{x,31,80},{y,0,12})`

LENGUAJE NATURAL ENTRADA MATEMÁTICA TECLADO EXTENDIDO EJEMPLOS CARGAR ALEATORIO

Resultado

906,861

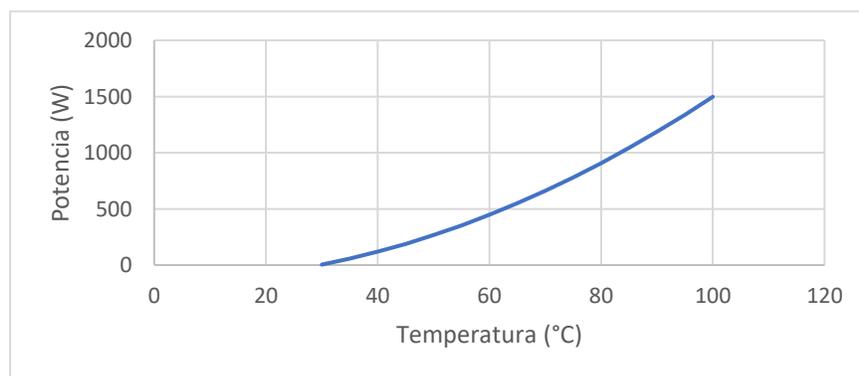
Ilustración 10: Utilizando software libre para calcular el valor de potencia disipada. Para una temperatura de 80°C.

Tabla 9. Valores de potencia disipada obtenidos de mis conductor 12AWG manteniendo una corriente de 15 amperios.

Temperatura °C	Potencia (W)
30	4
35	57.3
40	118.9
45	188.6
50	266.6
55	352.8
60	447.2
65	549.8
70	660.6
75	779.6
80	906.8
85	1042.2
90	1185.9
95	1337.7
100	1497.8

Gráfico 3

Comportamiento de la potencia disipada en un conductor 12AWG cuando este trabaja con una corriente de 15 amperios.



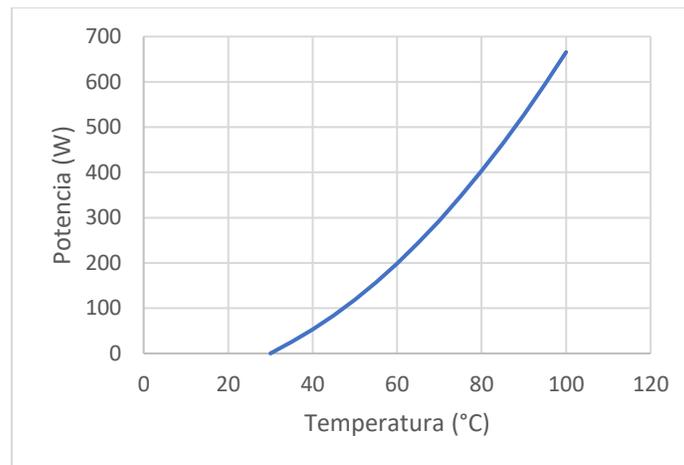
Ahora repetiremos la prueba para el mismo conductor solo que se realizara con una corriente de 10 amperios para poder ver la diferencia de la potencia que se disipa al compararla con el de una corriente de 15 amperios, asumiendo la misma longitud del conductor de 12 metros.

Tabla 10. Valores de potencia disipada obtenidos de mis conductor 12AWG manteniendo una corriente de 10 amperios.

Temperatura °C	Potencia (W)
30	1,7
35	25.5
40	52.8
45	83.8
50	118.5
55	156.8
60	198.7
65	244.3
70	293.4
75	346.5
80	403
85	463.2
90	527
95	594.5
100	665.6

Gráfico 4

Comportamiento de la potencia disipada en un conductor 12AWG cuando este trabaja con una corriente de 10 amperios.



Si analizamos los gráficos 3 y 4 observaremos que la potencia disipada disminuye casi a la mitad cuando aumentamos el calibre del conductor resultado que esperaríamos ya que la sección de área del conductor aumenta y con ello facilita el paso de corriente sobre el mismo, de esa manera se evita el calentamiento, lo importante de este ecuación es poder realizar un mejor análisis del fenómeno y de esa manera aplicar las correcciones pertinentes ya sea preventivas o correctivas que se tenga de una instalación eléctrica. Las variables que mas nos interesan en este análisis la longitud del cable la sección de área transversal, la corriente que fluye a través del conductor, la temperatura ambiente y la temperatura a la cual se encuentra nuestro conductor con ello ya podremos predecir en que condición se encuentra nuestros conductores en la residencia.

Ahora realizaremos la prueba para un conductor de cobre calibre 12 AWG asumiendo una longitud de 12 metros y una temperatura ambiente de 31°C además una corriente de 25 amperios en el cual el único parámetro que se ira modificando es la temperatura en incrementos de 5 °C. Los valores de resistividad, coeficiente de temperatura y área

transversal están dados según el tipo de material que este fabricado para este caso se toma los valores del material de cobre así:

Resistividad del conductor de cobre $\rho_{co(To,L)} = 1.72 \times 10^{-8} \Omega m$

Coefficiente de temperatura del cobre $\alpha_{(T,L)} = 3.9 \times 10^{-3}$

Área transversal del conductor $A_{p(L)} = 3,31 \times 10^{-6} m$

$$P_{C(T,L)} = \int_0^L \frac{\rho_{co(To,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_{p(L)}} * dl + \int_0^L \int_{T_0}^T \left(\frac{\rho_{co(To,L)} * \alpha_{(T,L)} * I^2_{(T,L)}}{A_{p(L)}} \right) * dT * dl$$



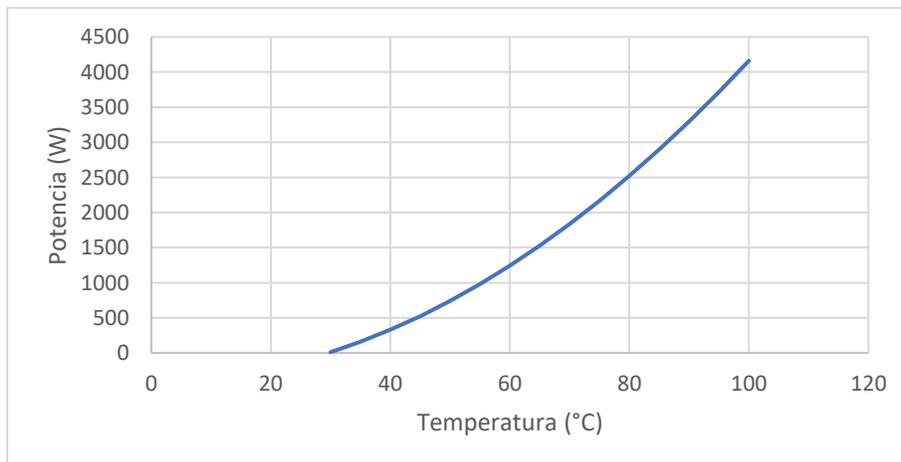
Ilustración 11::Utilizando software libre para calcular el valor de potencia disipada. Para una temperatura de 100°C.

Tabla 9. Valores de potencia disipada obtenidos de mis conductor 12AWG manteniendo una corriente de 15 amperios.

Temperatura °C	Potencia (W)
30	11.1
35	159.3
40	330.3
45	524.1
50	740.7
55	980.1
60	1242.3
65	1527.3
70	1835
75	2165.6
80	2519
85	2895.2
90	3294.2
95	3716
100	4160

Gráfico 5

Comportamiento de la potencia disipada en un conductor 12AWG cuando este trabaja con una corriente de 25 amperios en un conductor de 12 metros de longitud.



Como se observa en el grafico 5 la potencia disipada aumento en gran medida ya que para la prueba se utilizo una corriente de 25 amperios resultado que se esperaba. Al igual que se compró en los gráficos anteriores es necesario aprender a interpretar los datos según el calibre de cable que estemos utilizando. Una ayuda necesaria seria la ficha técnica que nos especifique las características del conductor.

Con estos si se analiza cada caso se puede observar que la cantidad de calor que se disipa dependerá de gran medida de la corriente, el tipo de conductor, la temperatura si logramos controlar estas variables podemos garantizar que la instalación eléctrica no los presentará inconvenientes de peligro de ignición de un incendio. El calcular el valor de la potencia disipada es para poder dar un tratamiento al alma de una instalación eléctrica de tal forma evitamos pérdidas económicas, así como también salvaguardar vidas.

4.2 Entrevistas profesionales

Entre algunas de las entrevistas que se realizó a personas que se manejan en el rubro de instalaciones eléctricas residenciales se pudo extraer algunos casos por los cuales se estaba generando el calentamiento en los conductores eléctricos.

- ✓ Calentamiento inductivo ocurre cuando un técnico electricista se conecta al conductor neutro equivocado. El conductor caliente (o fase) está en un conducto; el conductor neutro está en otro. En este caso, el panel exterior y el conducto pueden ponerse calientes, lo que causa el sobrecalentamiento del aislamiento del conductor y daños al equipo. Este error de cableado también puede ocasionar que el conductor neutro exceda su capacidad y dañe el aislamiento, lo que, a su vez, puede provocar un incendio.

- ✓ Cuando se utiliza cableado antiguo es la principal causa del sobrecalentamiento ya que los años pasan por todos. Las instalaciones antiguas, además, se fabricaban y se instalaban de forma diferente, por lo que es posible que no aguante el mismo ritmo de vida que el cableado moderno.
- ✓ Cuando se sobre carga un circuito también es una causa importante que genera calentamiento de los conductores. Para evitar este inconveniente se debe realizar bien un análisis de cuanto será la carga y con ello evaluar qué tipo de conductor se utilizará, así como también el tipo de breaker.
- ✓ Cuando se genera arco eléctrico también se genera sobrecalentamiento del conductor y este tiene dos posibles causas; una falla mecánica en el aislante, o alta termoconducción que ha calentado demasiado el aislante en ese punto, debilitándolo hasta perder su rigidez dieléctrica. El primer caso es típico de conductores rectos, donde la sección no varía y por lo tanto el calentamiento del conductor es homogéneo, fallando por algún lado donde este hay sido golpeado o fisurado; el segundo es un caso típico en lugares donde hay giros en el cableado, o en tramos rectos que pasan por canalizaciones o ambientes que ofrecen mayor resistencia a la disipación de calor que el resto del recorrido del cable.

CONCLUSIONES

- Mediante el modelado matemático crea una brecha en la cual se puede comprender de mejor forma un fenómeno en caso de los incendios existen muchas incógnitas sobre los diferentes tipos de incendios como se mostró en la tabla 5 y el modelado nos ha permitido dar respuestas de esta determinando las variables que se ven involucradas y de esta manera poder dar solución a una futura ignición de incendio salvaguardando así vidas.
- El adecuado dimensionamiento de un conductor y la temperatura adecuada es vital para evitar un sobrecalentamiento en el mismo, esto se puede comprobar utilizando la EC 11 de potencia disipada vemos que cuanto mayor es el la longitud y la temperatura de un conductor este tiende a aumentar la potencia disipada tal como se muestra en la gráfica 1 con ello garantizamos que el conductor pueda está o no en buen estado.
- El modelado matemático permite una opción para poder abordar este tipo de fenómenos en los cuales no se tienen entornos controlados los pueden ser peligrosos o costosos por ello utilizar un modelado nos permite analizar el evento y luego se podrá comprobar si esa predicción es real, presentado en similares condiciones de tal manera que cualquier sector de la sociedad pueda ver la oportunidad de poder predecir un acontecimiento de incendio y evitarlo.

RECOMENDACIONES

- Apegarse a las normas y reglamentos como lo es NEC ya que permiten tener una idea más técnica de que tipo de conductor o medidas de tuberías se pueden usar en una determinada instalación de tal manera que no llegue a casos de sobrecalentamientos de los conductores y este llegue a provocar un incendio.
- Para la resolución de la parte matemática se recomienda usar WolframAlpha ya que nos facilita el proceso de cálculo de la expresión dada de la potencia disipada.
- El poder realizar un Software en cual ya no se tenga que calcular manualmente sino de una forma automatizada en el cual solo se tenga introducir las variables y realice la operación sería ideal para que más sectores tenga la posibilidad de verificar el estado de sus conductores en su residencia sin muchos conocimientos eléctricos ni matemáticos.

Bibliografía

CNE (2022). Plan indicativo de la expansión de la generación de energía eléctrica en El Salvador Obtenido de Plan-indicativo-de-la-generación-de-la-expansión-2019-2028.pdf (cne.gob.sv)

Ferro Veiga J.M(2012). Métodos científicos en la investigación de incendios. Cataluña.España.Club universitario.

Kraus, J.D. & K.R. Carver. 1973. Electromagnetics, pp 112-113, McGraw-Hill & Kogakusha LTD, Tokyo and other cities.

Dirección General de Protección Civil. (2023). Estadística de incendios del año 2023.Obtenido de Portal de Transparencia - El Salvador

Garcia-Sabater, Jose P. Maheut, Julien (2021) Introducción al Modelado Matemático. Nota Técnica RIUNET Repositorio UPV <http://hdl.handle.net/10251/158555>

Ryan, R.W. & M. Chubb. 1991. "Riesgos en las Instalaciones de los Edificios", Manual de Protección Contra Incendios, 17va edición, MAFPRE, National Fire Protection Association, España, pp 6-179 6- 190 / 1273 - 1284.

Wikipedia,2023. Modelo determinista obtenido de Modelo determinista - Wikipedia, la enciclopedia libre

General Electric. Industrial. 2023.Obtenido de <http://www.geindustrial.com/products/manuals/GEH-6273E.pdf>

Sapiensman,2023 [en línea]
URL:<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/electrotecnia1.htm>