UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Investigación Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:

“ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO ANTE SOBRECARGAS ELÉCTRICAS EN LOS CABLES DE MAYOR UTILIZACIÓN EN LAS INSTALACIONES CIVILES DE LA CIUDAD DE CUENCA”

AUTORES:

EDISON RAÚL GUAMÁN VÁZQUEZ

JOHN EDWIN PESÁNTEZ DELGADO

DIRECTOR:

ING. FLAVIO A. QUIZHPI PALOMEQUE

CUENCA - ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

En facultad de director del trabajo de tesis "ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO ANTE SOBRECARGAS ELÉCTRICAS EN LOS CABLES DE MAYOR UTILIZACIÓN EN LAS INSTALACIONES CIVILES DE LA CIUDAD DE CUENCA" desarrollada por: EDISON RAÚL GUAMÁN VÁZQUEZ y JOHN EDWIN PESÁNTEZ DELGADO, certifico la aprobación del presente trabajo de tesis, una vez ejecutado la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, Diciembre de 2014.

ING. FLAVIO A. QUIZHPI PALOMEQUE

RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Los autores del trabajo de tesis "ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO ANTE SOBRECARGAS ELÉCTRICAS EN LOS CABLES DE MAYOR UTILIZACIÓN EN LAS INSTALACIONES CIVILES DE LA CIUDAD DE CUENCA", EDISON RAÚL GUAMÁN VÁZQUEZ y JOHN EDWIN PESÁNTEZ DELGADO, en virtud de los fundamentos teóricos, científicos y resultados, declaran de exclusiva responsabilidad y otorgan a la Universidad Politécnica Salesiana la libertad de divulgación de este documento únicamente para propósitos académicos o investigativos.

Cuenca, Diciembre de 2014.

EDISON RAÚL GUAMÁN VÁZQUEZ

JOHN EDWIN PESÁNTEZ DELGADO

DEDICATORIAS

Édison R. Guamán Vázquez.

Este trabajo dedico:

A mi hijo Paul Matheo y a mi esposa Lily, que han sido un pilar muy importante para forjarme como: Padre, Esposo y Persona; y que además de brindarme su apoyo incondicional, han sido mi principal inspiración para alcanzar un objetivo más en mi vida, como es mi formación académica.

A mis padres, que muy aparte de brindarme su apoyo económico, me brindaron su apoyo moral, al mismo tiempo de inculcar y forjar mis principios éticos y valores morales.

A todos mis demás familiares quienes se hicieron presentes con cualquier manifestación de apoyo durante todo este periodo académico.

John E. Pesántez D.

A mi familia por todo su apoyo, comprensión y esfuerzo lo cual representó una de las mayores motivaciones para alcanzar mis metas durante toda mi vida.

A mis queridos padres Herman y Elsa por el ser el pilar más importante en mi vida, por darme su cariño y comprensión sin pedir nada a cambio. Todo lo que soy hasta ahora es gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Édison R. Guamán Vázquez.

Agradezco primeramente a Dios por tenerme en este mundo con salud, permitiéndome alcanzar un logro más en mi vida.

En segundo lugar agradezco a mi hijo, esposa y padres por manifestarse siempre con su amor, y cualquier señal de apoyo, me llevaron a culminar exitosamente con uno más de mis objetivos planteados.

Agradezco también al resto de familiares y amigos quienes me ayudaron o me motivaron en mis estudios, y de muy particular manera a mi amigo y compañero de Tesis.

Finalmente agradezco a todos los profesores quienes nos brindaron su desinteresado apoyo y nos impartieron su conocimiento con sosiego, ayudándonos en el desarrollo de este proyecto de grado. De manera particular al Ing. Flavio A. Quizhpi y al Ing J. Manuel Aller.

John E. Pesántez D.

A Dios por haberme brindado salud, capacidad y el cuidado necesario que me permitieron culminar con éxito una de las etapas de mayor trascendencia para una persona como es la de acabar su instrucción superior.

A mis queridos padres Herman y Elsa, que gracias a su incondicional apoyo, dedicación y cariño supieron siempre guiarme por el sendero del bien y la responsabilidad.

Al Ing. Flavio Quizhpi, Director de Tesis, por ser un amigo más y haber brindado el apoyo desinteresado durante el desarrollo de este trabajo investigativo.

A todos mis amigos, compañeros y aquellos que me supieron dar el apoyo y la confianza que necesitaba durante toda mi vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS _____ **VIII**

ÍNDICE DE TABLAS _____ **XI**

GLOSARIO _____ **XIII**

INTRODUCCIÓN _____ **1**

1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS _____ **3**

1.1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS AISLADOS _____ ***3***

1.1.1. CONDUCTORES _____ ***3***

1.1.2. PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS CONDUCTORES _____ ***4***

1.1.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONDUCTORES _____ ***5***

1.1.3.1. PROPIEDADES DE UN CONDUCTOR _____ 5

1.1.4. MATERIALES DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO _____ ***7***

1.1.4.1. PROPIEDADES ELÉCTRICAS _____ 7

1.1.4.2. TIPOS DE AISLAMIENTO _____ 8

1.2. TIPOS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS AISLADOS _____ ***9***

1.2.1. ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRAS PARA LA ENCUESTA _____ ***11***

1.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CABLES DE ENSAYO 18

1.3.1. COMPONENTES DE LOS CABLES THHN, THWN Y THWN-2 _____ ***18***

1.3.1.1. COBRE _____ 19

1.3.1.2. POLICLORURO DE VINILO (PVC) _____ 20

1.3.1.3. NYLON _____ 21

1.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CABLES DE ENSAYO _____ ***22***

1.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AISLAMIENTO DE LOS CABLES DE ENSAYO _____ ***25***

1.4.2.1. RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO A CORTO TIEMPO EN AGUA PARA CABLES THWN Y THWN-2 _____ 27

1.4.2.2. RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO A LARGO TIEMPO EN AIRE A 97°C PARA CABLES THHN _____ 28

CAPÍTULO II _____ **30**

2. METODOLOGÍA _____ **30**

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA _____ ***30***

2.1.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO 30
2.1.2. NORMATIVIDAD A USARSE 30
2.1.2.1. UL 1581: ESTÁNDAR DE REFERENCIA PARA ALAMBRES ELÉCTRICOS, CABLES Y CORDONES FLEXIBLES. 31
2.1.2.2. IEEE STD 1143-1994: GUÍA PRÁCTICA PARA EL BLINDAJE DE CABLES DE BAJO VOLTAJE 31
2.1.2.3. IEEE STD 101-1987(R2010): GUÍA PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DE PRUEBA DE VIDA TÉRMICA 32
2.1.2.4. IEC 60071-1: COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO 32
2.1.2.5. IEEE STD 43-2000: PRÁCTICA RECOMENDADA PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE MAQUINARIA ROTATIVA 32
2.1.2.6. NORMAS MEXICANAS NMX-J-309-1981 Y NMX-J-294-1984 33
2.1.3. MEDICIONES A REALIZAR 34
2.1.4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA 35
2.2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO A IMPLEMENTARSE EN EL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD 35
2.2.1. DURACIÓN DE ENSAYO 36
2.2.1.1. NÚMERO DE PRUEBAS 36
2.2.1.2. TIEMPO DE PRUEBA 42
2.2.3. MUESTRA DEL CABLE 42
2.2.3.1. LONGITUD 42
2.2.3.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA 43
2.2.4. TÉCNICA DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO 44
2.2.4.1. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO 44
2.2.4.2. COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE PRUEBA 45
2.2.4.3. CONEXIÓN DEL MEGGER FLUKE 1555 47
2.2.4.4. CARACTERÍSTICAS DEL MEGGER FLUKE 1555 48
2.2.5. TIEMPO DE APLICACIÓN DEL POTENCIAL 49
2.2.5.1. PASOS PARA LA MEDICIÓN 50
2.3. DECRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS A TOMAR 51
2.3.1. CONDICIONES AMBIENTALES 51
2.3.3. CONDICIONES ELÉCTRICAS 52
2.3.7. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO 52
2.3.8. ÍNDICE DE POLARIZACIÓN 53
2.3.9. TEMPERATURA DEL CABLE 54
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS 57
3.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS 57
3.1.1. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ENSAYO 57

3.2.1. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE PRUEBA 62
3.1.3. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE QUE SOPORTA EL CABLE 65
3.1.4. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA QUE SOPORTA EL CABLE 72
3.2. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL CABLE 80
3.2.1. DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO DEL CABLE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO 80
3.2.1. DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA DEL INDICE DE POLARIZACION DEL CABLE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO 83
3.2.3. EJEMPLO DE ANÁLISIS 86
3.2.3.1. CABLES QUE SIMULAN UNA FASE 86
3.2.3.2. CABLES QUE SIMULAN UN NEUTRO O RETORNO 90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 95
CONCLUSIONES 95
RECOMENDACIONES 101
BIBLIOGRAFÍA 103
ANEXO 1. 106
A1.1. FORMULARIO DE ENCUESTA PARA INGENIEROS 106
A1.2. FORMULARIO DE ENCUESTA PARA EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE CABLES ELÉCTRICOS 109
A1.3. CONDUCTORES AISLADOS Y CABLES ELÉCTRICOS 111
ANEXO 2 114
A.2.1. DATOS DE LOS ENSAYOS EN LA PLANTILLA 114
A.2.2. IMÁGENES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE CABLES 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: *Partes de cables con aislamiento THW y THHN o THWN-2* 19

Figura 1-2: *Medición del Espesor Mínimo del aislamiento en cables aislados*..... 26

Figura 2-1: *Circuito para ensayo.* 36

Figura 2-2: *Prueba de* $\mu = \mu 0$ *contra* $\mu = \mu 0 + \delta$ 39

Figura 2-3: *Forma de la onda de tensión a frecuencia industrial* **[20].** 42

Figura 2-4: *Cables preparados para el ensayo.* 43

Figura 2-5: *Conexión del MEGGER para medir la resistencia de aislamiento de un cable aterrado* 47

Figura 2-6: *Conexión del MEGGER para medir la resistencia de aislamiento entre un conductor y tierra* 48

Figura 2-7: *Esquema de MEGGADO de un cable de prueba.* 50

Figura 2-8: *Circuito Equivalente de las Componentes de la Corriente total en DC.*... 54

Figura 3-1: *Medidas en frío de la degradación de la Resistencia del Aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan la fase en una instalación.* 58

Figura 3-2: *Medidas en frío de la Degradación de la Resistencia del Aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan el retorno en una instalación.* 58

Figura 3-3: *Medidas en Enfriamiento de la Degradación de la Resistencia del aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan la fase en una instalación.* 59

Figura 3-4: *Medidas en Enfriamiento de la Degradación de la Resistencia del aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan el retorno en una instalación.* 60

Figura 3-5: *Medidas en frío de la Evolución del índice de Polarización* IP *en función del tiempo de prueba para los cables que simulan la fase en una instalación.* 63

Figura 3-6: *Medidas en frío de la Evolución del índice de Polarización* IP *en función del tiempo de prueba para los cables que simulan el neutro o retorno en una instalación.* 64

Figura 3-7: *Comportamiento de la Corriente en relación al día de prueba.* *65*

Figura 3-8: *Sobrecarga a cada Cable de Prueba*..... *66*

Figura 3-9: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los Cables* $THHN$ # 14 AWG *en relación a la Corriente de Sobrecarga.* *67*

Figura 3-10: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los Cables* $THHN$ # 12 AWG *en relación a la Corriente de Sobrecarga.* *69*

Figura 3-11: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables THHN # 10 AWG en relación a la Corriente de Sobrecarga.*..... *70*

Figura 3-12: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los Cables* $THHN$ # 8 AWG *en relación a la Corriente de Sobrecarga*..... *71*

Figura 3-13: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables* $THHN$ # 14 AWG *en relación a la Temperatura.* *73*

Figura 3-14: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables* $THHN$ # 12 AWG *en relación a la Temperatura.* *73*

Figura 3-15: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables* $THHN$ # 10 AWG *en relación a la Temperatura.* *74*

Figura 3-16: *Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables* $THHN$ # 8 AWG *en relación a la Temperatura*..... *75*

Figura 3-17: *Variación de la Temperatura de los cables en relación a la los días de prueba* *75*

Figura 3-18: *Comportamiento creciente de la temperatura (calentamiento) de los cables con una sobrecarga del 20% a los cables #* 14 AWG *y un 30% a los cables número* $12, 10$ y 8 AWG..... *77*

Figura 3-19: *Comportamiento Decreciente de la Temperatura de los Cables (Enfriamiento).* *80*

Figura 3-20: *Curvas Ajustadas a la Tendencia de las Resistencias de Aislamiento de los Cables que se Simularon a una Fase en los Ensayos.*..... *81*

Figura 3-21: *Curvas ajustadas a la Tendencia de las resistencias de aislamiento de los cables que se simularon a un neutro en los ensayos.* *82*

Figura 3-22: *Curvas ajustadas a la tendencia del* IP *de los cables que se simularon a una fase en los Ensayos.*..... *83*

Figura 3-23: *Curvas ajustadas a la Tendencia del IP de los cables que se simularon a un neutro en los ensayos.* *84*

Figura 3-24: *Vida Útil del cable calibre # $8, 10, 12$ Y 14 AWG simulado como fase, en condiciones prescritas, considerando un IP aproximado de 2.* *87*

Figura 3-25: *Ampliación de la* ***Fig. 3 -24.*** *88*

Figura 3-26: *Vida Útil del cable calibre # $8, 10, 12$ Y 14 AWG simulado como fase, en condiciones prescritas, refiriendo a su valor de resistencia de aislamiento.* *89*

Figura 3-27: *Ampliación de La Fig. 3 – 26.* *89*

Figura 3-28: *Vida Útil del cable Calibre # $8, 10, 12$ Y 14 AWG simulado como neutro o retorno, en condiciones prescritas, considerando un IP aproximado de 2.* *90*

Figura 3-29: *Ampliación de la* ***Fig. 3 -28.*** *91*

Figura 3-30: *Vida Útil del cable calibre # $8, 10, 12$ y 14 AWG simulado como neutro, en condiciones prescritas, refiriendo a su valor de resistencia de aislamiento.* *92*

Figura 3-311: *Ampliación de la* ***Fig. 30.*** *92*

Figura A.1-1: *Diferencia entre cable, alambre y cordón eléctrico* ***[32].*** *111*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: *Propiedades de los Metales Conductores.* 3

Tabla 1-2: *Características Generales del Cobre y Aluminio* 6

Tabla 1-3: *Tipos de aislamiento y sus características* 8

Tabla 1-4: *Cantidad y Porcentaje de aceptación de los diferentes cables aislados por parte de los ingenieros eléctricos miembros activos del CIEELA* 14

Tabla 1-5: *Cantidad de aceptación de los diferentes cables aislados por parte de los ingenieros eléctricos miembros activos del CIEELA, considerando características constructivas y de uso de los mismos.* 15

Tabla 1-6: *Cables de prueba para someterlos a ensayos de degradación de sus aislamientos ante Sobrecargas Eléctricas.* 16

Tabla 1-7: *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CABLES DE ENSAYÓ* 24

Tabla 1-8: *CORRIENTE ADMISIBLE POR CADA CABLE DE PRUEBA* 24

Tabla 1-9: *Espesores del aislamiento para los cables THWN-2, THHN y THWN* 26

Tabla 1-10: *Valores de resistencia de aislamiento para cables THHN y THWN – 2 a 60° F (15,6°C) en Agua.* 27

Tabla 1-11: *Resistencia de aislamiento mínima aceptable a largo tiempo de cables tipo THHN a 97° C.* 29

Tabla 2-1: *Tamaño Muestral para la prueba t de la media.* 41

Tabla 2-2: *Número de pruebas para cada muestra de cable.* 42

Tabla 2-3: *Máximo número de cables THHN/THWN/THWN-2 de 90°c admisibles en tubería eléctrica no metálica.* 44

Tabla 2-4: *Esquema de base de datos a tomar.* 56

Tabla 3-1: *Ecuaciones de las Tendencias de las Resistencias de Aislamiento los cables con respecto a la corriente aplicada o a la Temperatura Máxima alcanzada en la Prueba.* 79

Tabla 3-2: *Ecuación de ajuste de Tendencia de la Resistencia de aislamiento de los cables de muestra que simulan fase y neutro en la experimentación, en función de los días de prueba.* 82

Tabla 3-3: *Errores Estándar de tolerancia de las tendencias de* IP 85

Tabla 3-4: *Ecuaciones de las Tendencias del Índice de Polarización de los cables con respecto a los días de Prueba.* *86*

Tabla 3-5: *Ecuaciones de las aproximaciones tendenciales para calcular la vida útil de un cable.* *93*

Tabla A.2-1: *Tabla de datos para el cable rojo # 14 AWG* *114*

Tabla A.2-2: *Tabla de datos para el cable azul # 14 AWG* *115*

Tabla A.2-3: *Tabla de datos para el cable blanco # 12 AWG* *116*

Tabla A.2-4: *Tabla de datos para el cable rojo # 12 AWG* *117*

Tabla A.2-5: *Tabla de datos para el cable azul # 10 AWG* *118*

Tabla A.2-6: *Tabla de datos para el cable blanco # 10 AWG* *119*

Tabla A.2-7: *Tabla de datos para el cable negro # 8 AWG* *120*

Tabla A.2-8: *Tabla de datos para el cable amarillo # 8 AWG* *121*

GLOSARIO

Aislación: Es el conjunto de aislantes aplicados alrededor de los conductores y destinados a aislarlos eléctricamente. [1]

Aislamiento: Es el efecto logrado mediante la aplicación de una aislación, que se expresa cuantitativamente. [1]

Aislante: Es un material cuya conductividad eléctrica es nula o muy pequeña. [1]

Alambre: Es el producto de cualquier sección maciza, obtenido a partir del alambrón por trefilación, laminación en frío o ambos procesos combinados, que queda como resultado un cuerpo de metal estirado, generalmente de forma cilíndrica y de sección circular. [1]

Alambre aislado: Mismo alambre sólido de cobre que el anterior pero cubierto con un aislamiento plástico para evitar que entre en contacto con algún otro alambre, objeto metálico o persona. Es mucho más común que el desnudo y se utiliza para el alambrado de casas y oficinas [1] (Ver **Figura A.*1***.).

Alambre de cobre blando recocido (tipo B): Es el alambre de cobre que ha sido estirado, laminado o sometido a ambos procesos para ser llevado a su tamaño final y después calentado para reducir los efectos del proceso en frío [1] (Ver **Figura A.1**.).

Alambre de cobre duro o rígido (tipo D): Es el alambre de cobre que ha sido estirado en frío a su tamaño final, afín de que alcance la resistencia a la tracción máxima especificada [1] (Ver **Figura A.1**.).

Alambre de cobre semiduro (tipo SD): Es el alambre de cobre que ha sido sometido a un determinado proceso, con el objeto de producir características mecánicas intermedias entre las del cobre recocido y las del cobre duro. [1]

Alambre desnudo: Es el alambre sin revestimiento, conformado por un solo alambre sólido de cobre. Por lo general se utiliza para la conexión a tierra pero es poco común. [1]

Alambrón para uso eléctrico: Es el producto macizo de sección circular, producido por laminación o extrusión en caliente, que se suministra generalmente en rollos. [1]

Ampacidad: la ampacidad de un cable es su capacidad de conducción continua de corriente eléctrica bajo condiciones específicas. [2]

Armadura: Es una protección metálica contra agentes mecánicos, constituida por alambres de sección circular o rectangular, bandas (flejes) o trenzados, colocados sobre un cable. [1]

Cable: Es un conductor retorcido, trenzado o cableado con aislantes y otras cubiertas o sin ninguna de ellas (cable de un conductor), o combinación de conductores aislados entre sí (cable de varios conductores) [1] (Ver **Figura A.1**.).

Cableado: Es la disposición helicoidal de los alambres o conjuntos de alambres que forman un conductor. [1]

Cableado compuesto: Es el cableado formado por conjuntos de alambres. [1]

Cableado simple: Es el cableado formado por alambres. [1]

Cable aislado con material termoplástico: Es el cable en el que el aislamiento de los conductores lo constituye un compuesto termoplástico. 3.2.24 Cable aislado con caucho natural o sintético. Es el cable en el que el aislamiento de los conductores lo constituyen compuestos de caucho natural o sintético [1] (Ver **Figura A.1**.).

Cable flexible: Es el conductor con mayor presencia en el mercado ferretero. El cable está hecho de varios alambres delgados cubiertos por un aislamiento plástico. A diferencia de los conductores anteriores, el tener varios alambres más delgados en lugar de un solo alambre grueso permite que los cables sean más flexibles [1] (Ver **Figura A.1**.).

Conductor: Es el alambre o conjunto de alambres no aislados entre sí, destinados a conducir la corriente eléctrica. [1]

Conductor aislado: Es el conductor recubierto con un material que desempeña una función básicamente aislante. [1]

Conductor superflexible: Es el conductor constituido por un núcleo central formado por un elemento o elementos torcidos o cableados en forma concéntrica, alrededor del cual se han colocado una o más capas helicoidales de tales elementos. [1]

Conductor unifilar: Es el conductor formado por un solo alambre [1]

Cordón: Consiste de dos o más cables o alambres aislados y envueltos juntos, a veces en una segunda capa de plástico. El ejemplo más común es el cordón dúplex que consiste de dos cables unidos y que se usa para fabricar extensiones o para la alimentación de aparatos eléctricos. Otro ejemplo es el cordón de uso rudo que trae, dentro de un aislamiento plástico, tres cables aislados [1] (Ver **Figura A.1**.).

Cubierta: Es un revestimiento continuo y ajustado, destinado a proteger la aislación del cable.[1]

Cubierta metálica: Es la envoltura constituida usual mente por metales o sus aleaciones, destinada a proteger al cable contra agentes físicos y químicos. [1]

Cubierta termoplástica: Es la envoltura constituida usualmente por poli (cloruro de vinilo) (PVC) o por polietileno (PE). [1]

Diámetro nominal: Es el diámetro teórico del conductor que sirve para designarlo. [1]

Diámetro real: Es el diámetro del conductor determinado por mediciones. [1]

Esfuerzo dieléctrico: Es el esfuerzo que ocurre en un material aislante debido a la acción de un campo eléctrico. [1]

Espesor de la aislación: Es la medida radial de la aislación de un conductor o de cada uno de los conductores aislados de un cable multipolar. [1]

Muestra o Espécimen: Es un trozo de alambre o cable tomado de cada carrete, rollo o bobina de la muestra que se utiliza para los ensayos. [1]

Pantalla: Es la cubierta conductora, o levemente conductora, aplicada sobre un conductor aislado o no, o sobre un conjunto de conductores aislados, destinada a eliminar corrientes inductivas. [1]

Rigidez dieléctrica: Es la propiedad de un material aislante para resistir el esfuerzo dieléctrico. [1]

Resistividad de masa: En un metal en forma de alambre de cualquier longitud y de sección uniforme, es el producto de la resistividad volumétrica por la densidad del metal. [1]

Resistividad volumétrica: En un metal en forma de alambre, de cualquier longitud y sección uniforme, es el producto de la resistencia eléctrica por su sección, dividido por su longitud. Las magnitudes se expresan de la manera siguiente: resistencia eléctrica en ohmios, sección transversal en milímetros cuadrados y la longitud en metros. [1]

Sección especificada del conductor: Es la suma de las secciones transversales de los alambres del conductor, calculada en función de los diámetros nominales de los mismos. [1]

Sección nominal: Es la sección transversal del conductor que sirve para designarlo. [1]

Sección transversal del conductor: Es la suma de las secciones transversales de los alambres componentes del conductor, medidas perpendicularmente a sus respectivos ejes. [1]

Temperatura ambiente: Para efectos de ensayo, es la temperatura comprendida entre 10°C y 40°C. (Se sugiere el trabajo con 20°C). [1]

Trefilar: es la operación de conformación en frío consistente en la reducción de sección de un alambre o varilla haciéndolo pasar a través de un orificio cónico practicado en una herramienta llamada hilera o dado. Los materiales más empleados para su conformación

mediante trefilado son el acero, el cobre, el aluminio y los latones, aunque puede aplicarse a cualquier metal o aleación dúctil. [1]

Voltaje alterno: Para efectos de ensayo, es la tensión de forma de onda prácticamente sinusoidal, cuya frecuencia está comprendida entre 49 y 61 Hz. Si no se indica lo contrario, se entiende que la expresión se refiere al valor eficaz. [1]

Voltaje continúo: Para efectos de ensayo, es la tensión cuyo valor instantáneo no difiere en más del 10 % del valor medio. [1]

Voltaje de aislamiento: Es la tensión para la cual se diseñan las diferentes partes del dieléctrico. [1]

Voltaje máximo de un sistema: Es el máximo valor eficaz de la tensión entre los conductores de una línea, o entre fases, en un sistema polifásico, que puede ser mantenido permanentemente en condiciones normales de funcionamiento en cualquier punto del sistema. Este valor excluye las variaciones transitorias de tensión debidas a fallas, a la interrupción brusca de cargas importantes o a descargas atmosféricas. [1]

Voltaje nominal de un sistema: Es el valor eficaz de la tensión entre los conductores de una línea, o entre fases, en un sistema polifásico, para el cual ha sido proyectado el sistema. [1]

1 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 210:2013 Primera revisión/ CONDUCTORES, ALAMBRES Y CABLES PARA USO ELÉCTRICO. DEFINICIONES / 2013-06.

2 GUÍA PRÁCTICA PARA CÁLCULO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS, BASADO EN NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS NOM–001–SE-1994 incluye NEC-1996 / ENRÍQUEZ HARPER/ MÉXICO /2004.

INTRODUCCIÓN

El aislamiento de un cable es considerado, técnicamente, por los profesionales electricistas un factor importante a la hora de elegirlo para la construcción de una Instalación o Sistema Eléctrico, debido a que este puede dar mayor confiabilidad y seguridad a la instalación eléctrica.

Considerando que el aislante se degrada con el tiempo debido a las distintas fatigas a las que se encuentra sometido durante su vida normal de trabajo, este está diseñado para resistir por un cierto periodo de tiempo**.** La fatiga anormal puede llevar a un incremento en este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la vida útil del aislamiento. Por esta razón es buena práctica realizar pruebas regularmente para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento. Y en lo posible se trata de identificar si existen efectos reversibles o no en el aislamiento de un determinado cable.

Por otro lado, los cables de las instalaciones eléctricas pueden llegar a una condición de funcionamiento extremo debido a la implementación de cargas eléctricas (sobrecargas) o al darse un cortocircuito, generando sobrecorrientes las cuales afectan de forma directa al aislamiento de los conductores aislados y por ende su vida útil.

Se presenta la necesidad de realizar el análisis de la degradación del aislamiento de los conductores eléctricos más utilizados en la actualidad en las Instalaciones Civiles de la Ciudad de Cuenca, con el propósito de identificar la variación de la degradación del aislante eléctrico de los conductores ante sobrecargas eléctricas y tratar de tomar acciones adecuadas para corregirlo, mejorarlo o mitigarlo.

Por esta razón, el proyecto de investigación planteado tiene como primera instancia la realización de una Encuesta dirigida a Técnicos o Ingenieros Electricistas (contratistas) y otra a los Proveedores (Almacenes eléctricos, ferreterías o cualquier comercializador) de cables para la construcción de instalaciones eléctricas civiles, con lo cual se seleccionará(n) un número de cables determinado por medio de algún Método o Análisis Estadístico.

Luego de identificar los cables que serán usados para las pruebas, se realizará un análisis de sus diferentes tipos de aislamiento, con el fin de identificar sus respectivas

características físicas y eléctricas. Para luego, por medio de un Circuito Eléctrico realizar las pruebas de sobrecarga eléctrica a los diferentes cables de ensayo. Estás pruebas se realizaran una vez diaria y el tiempo de aplicación de la sobrecarga es analizado en el Capítulo II, al igual que la duración del ensayo.

Con los datos analizados se procederá a determinar un Método Estadístico que sirva para el cálculo del Tiempo de degradación o envejecimiento del aislamiento del cable (Tiempo de Vida Útil).

Finalmente se establecerán las respectivas conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

CAPÍTULO 1

1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Un alambre o cable, ya sea para llevar energía eléctrica o señales, tiene el propósito de transmitir la corriente eléctrica hacia un dispositivo o ubicación prevista. Para esto se proporciona un conductor el cual es el adecuado para llevar la corriente impuesta, que con el aislante eléctrico (dieléctrico) ayuda a mantener la corriente fluyendo por el conductor proporcionado en lugar de otros caminos o superficies por la cual la corriente podría fluir, por lo tanto se podría decir que cualquier conductor que sirva de transporte de señales eléctricas o de potencia es un conductor aislado y se llama cable al conjunto de estos dos **[1].**

1.1. CONDUCTORES ELÉCTRICOS AISLADOS

1.1.1. CONDUCTORES

La preocupación primordial de un conductor es transmitir la corriente económica y eficientemente, para esto la elección de un adecuado material conductor, tamaño y diseño tiene que tener en cuenta características como: ampacidad, estrés de tensión en el conductor, regulación de voltaje, pérdidas del conductor, radio de curvatura y flexibilidad, propiedades mecánicas, entre otras **[1].**

Existen varios metales de baja resistividad o alta conductividad que pueden ser usados como conductores para cables eléctricos, algunos ejemplos de baja resistividad a 20°C se muestran en la ***Tabla 1-1.***

Tabla 1-1: Propiedades de los Metales Conductores **[1].**

METAL	Ohm-mm^2 /m x10^{-8}	Ohm-cmil/ft x 10^{-6}
Plata	1,629	9,80
Cobre recocido	1,724	10,371
Cobre estirado en frío	1,777	10,69
Cobre estañado	1,741-1,814	10,47-10,91
Aluminio suave, 61,2% cond,	2,803	16,82
Aluminio ½ duro a duro	2,828	16,946
Sodium	4,3	25,87
Nickel	7,8	46,9

Considerando la resistividad de los materiales presentada en la tabla 1-1 y el costo de cada material, el cobre y el aluminio se convierten en las opciones más lógicas de elegir. Por esto se han convertido en los metales más utilizados por la industria de cables de poder **[1].**

1.1.2. PROPIEDADES IMPORTANTES DE LOS CONDUCTORES

a. Resistencia DC

La conductividad del aluminio es aproximadamente 61,2 a 62 porciento la del cobre, por lo cual un conductor que es de aluminio debe tener una sección transversal 1,6 veces que la de un conductor de cobre para obtener una resistencia DC equivalente **[1].**

b. Peso

La baja densidad es otra de las ventajas que presenta el aluminio aparte de ser económico, una unidad de longitud de alambre de aluminio desnuda pesa el 48 por ciento que una misma longitud de alambre de cobre que tiene un resistencia DC equivalente. Sin embargo parte de esta ventaja se pierdo al momento de aislar el conductor, debido a que se necesita a mayor volumen de material aislante para cubrir mayor circunferencia de aluminio **[1].**

c. Regulaciones de voltaje y corto circuito

En circuitos de corriente alterna que poseen conductores de hasta #2/0 AWG y en todos los circuitos de corriente continua el efecto de la reactancia en el cable es despreciable. La tensión equivalente cae debido a que un conductor de aluminio tiene una sección transversal 1,6 veces que la sección transversal de un conductor de cobre. En circuitos CA (corriente alterna) con conductores más grandes el efecto piel y la proximidad influencian en el valor de la resistencia y el efecto de la reactancia se vuelve importante **[1].**

Las condiciones de corto circuito hay que tener en cuenta debido a que los conductores de cobre tienen mayores capacidades de funcionamiento en corto circuito, para esto se debe considerar los límites térmicos de materiales en contacto con el conductor.

d. Variaciones de la resistencia con la temperatura

El cobre y el aluminio, así como la mayoría de los materiales metálicos tienden a aumentar su resistencia cuando aumenta la temperatura en su superficie. El carbono y sus derivados experimentan lo contrario, es decir, va disminuyendo su resistencia conforme se aumenta la temperatura **[1,2].**

e. Otros factores importantes

Se debe tener especial cuidado al hacer instalaciones con conductores de aluminio, éste no solo tiende a expandirse sino también a oxidarse rápidamente. El aluminio no se utiliza en generadoras, subestaciones o cables portátiles debido a que no siempre responden a los requisitos mecánicos que necesitan ese tipo de instalaciones. Sin embargo el aluminio es la elección abrumadora para conductores aéreos en distribución debido a su alta conductividad y peso **[1].**

1.1.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CONDUCTORES

1.1.3.1. PROPIEDADES DE UN CONDUCTOR

Varios factores deben tenerse en cuenta al momento de elegir un buen conductor, la plata, por ejemplo, podría representar una buena posibilidad de cable conductor. Su alto costo y la falta de fuerza física necesaria para el tendido de cables son razones de importancia para ir buscando otros candidatos. Para conductores eléctricos y cables de poder los más utilizados en la industria son el cobre y el aluminio.

a. Cobre

El cobre es un material que presenta un color rojizo, se caracteriza por ser dúctil y maleable, cuando se lo deforma en frío duplica su resistencia metálica y dureza, esta deformación se aprovecha para muchas aplicaciones y se ve obligado a que hay que recocerlo cuando se lamina o se estira. El agua pura no lo ataca a ninguna temperatura pero los agentes atmosféricos hacen que se forme en la superficie del cobre una lámina verdosa constituida por sulfato de cobre, lo cual reduce el proceso de oxidación del material **[2].**

b. Aluminio

Es un metal de color plateado que presenta poca resistencia mecánica, gran ductilidad y maleabilidad lo que permite que el material sea forjado, trefilado y laminado en pequeños diámetros y espesores. Presenta conductividad eléctrica relativamente alta, su gran afinidad por el oxígeno presente en el aire lo hace inalterable en este medio, pues se recubre de una capa fina de óxido de aluminio que puede ser adherente y permeable que actúa como protección y presenta resistencia al vapor de agua, ácido nítrico y gases y humos industriales **[2].**

En la ***Tabla 1-2*** se encuentran resumidas las características generales de los dos conductores mencionados.

Tabla 1-2: Características Generales del Cobre y Aluminio **[2].**

CARACTERÍSTICAS	COBRE	ALUMINIO
Peso específico **[gr/cm^3]**	8,96	2,7
Conductividad eléctrica a 20°C **[SIEMENS x m/mm^2]**	59	35,36
Conductividad eléctrica a 20°C **[ohm/mm^2 /m]**	0,01673	0,02828
Conductividad calorífica **[cal-gr/°C/cm^2 /cm]**	0,941	0,53
Coeficiente de dilatación lineal	16,5 x 10^{-6} por °C	23,6 x 10^{-6} por °C
Punto de fusión **[°C]**	1083	660
Calor específico medio **[cal/gr x °C]**	0,092	0,215
Punto de ebullición **[°C]**	2595	2450
Módulo de elasticidad **[kg/mm^2]**	12700	7200
Resistencia a la tracción **[kg/mm^2]**	15 a 20	16 a 20
Alargamiento a la rotura **[%]**	0,3	30

Para la conducción eléctrica se utilizan varias clases de cobre, aleaciones de cobre y aluminio. Entre las clases de cobre se encuentran **[2]:**

- Cobre electrolítico
- Cobre recocido
- Cobre semiduro
- Cobre duro

Las aleaciones de cobre mejoran en propiedades mecánicas y térmicas pero disminuyen sus propiedades eléctricas; las aleaciones de aluminio se las realiza para conferirle al material las características necesarias para la utilización del conductor, éstas aleaciones deben ser sometidas a adecuados tratamientos térmicos **[2].**

1.1.4. MATERIALES DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO

El aislante se reconoce como todo material que presenta la propiedad de conductividad tan baja que el paso de la corriente a través de él pueda ser despreciado. Las funciones de un aislante, entre otras, son las de permitir aislar eléctricamente los conductores entre si y de tierra y modificar en gran proporción el campo eléctrico que lo atraviesa **[3].**

Los materiales aislantes de los que se mencionará brevemente en esta sección son dieléctricos imperfectos, ya que cuando son sometidos a una diferencia de potencial presentan **[3]:**

- Corrientes de desplazamiento
- Absorción de corriente
- Paso de la corriente de conducción

Los materiales aislantes tienen la función de proteger al conductor físicamente y proporcionarle cierto margen de seguridad, estos materiales están compuestos de cualquier tipo de polímero ya sea sintético o natural. El material polimérico seleccionado puede variar según la clase de tensión que vaya a soportar el cable **[1, 3].**

1.1.4.1. PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Es necesario que los materiales aislantes presenten algunas propiedades que les permitan mantenerse sin deteriorarse en el medio en el que se encuentran instalados, entre las propiedades eléctricas se señalan las siguientes**:**

- **Resistencia de aislamiento**, es la resistencia que un material aislante ofrece al paso de una corriente eléctrica, la cual se denomina de fuga **[3]**
- **Rigidez dieléctrica**, es la propiedad de los aislantes de oponerse a ser perforados por una corriente eléctrica y está relacionada con el efecto capacitivo de los cables y se caracteriza a través de la constante dieléctrica **[3]**

- **Factor de pérdidas dieléctricas**, se utiliza para medir la potencia eléctrica que se pierde a través de los aislantes **[3]**
- **Resistencia al arco**, esta resistencia se mide a través del tiempo que un material aislante es capaz de soportar los efectos destructivos de un arco antes de inutilizarse por haber formado un camino carbonizado **[3]**

1.1.4.2. TIPOS DE AISLAMIENTO

Los aislantes para cables son numerosos, para lo cual en la ***Tabla 1-3*** se presenta en forma resumida las ventajas y desventajas más importantes de los tipos de materiales aislantes que más se utilizan en la industria.

Tabla 1-3: Tipos de aislamiento y sus características **[1,3].**

TIPO DE AISLAMIENTO	INFORMACIÓN CLAVE
PE (Polietileno de baja densidad)	Bajas pérdidas dieléctricas
	Sensible a la humedad bajo estrés de tensión
XLPE (Polietileno reticulado)	Pérdidas dieléctricas un poco más altas que PE
	Menos sensible a la humedad, envejece mejor que PE
EP (EPR/EPD;)	Pérdidas dieléctricas más altas frente a XLPE o TRXLPE
	Más flexible y menos sensible a la humedad de XLPE o PE
	Requiere carga inorgánica
TR-XLPE	Similar a XLPE pero presenta un poco más de pérdidas
	Debido a los aditivos las pérdidas son menores en comparación con el EPR
	Envejece mejor que el XLPE y menos sensible a la humedad
PILC	Alta fiabilidad
	Posee cubierta de plomo
PVC	Debe contener un plastificante para flexibilidad
	Pérdidas dieléctricas más altas
	No arde, pero produce gases tóxicos

Los polímeros como el polietileno, polipropileno, etileno co-propileno y ter-polímeros son polímeros de hidrocarburos y se los conoce como poliolefinas. El

polipropileno y el polietileno son conocidos como homo-polímeros; el EPR es conocido como un co-polímero o también que se compone de dos polímeros diferentes en su estructura química **[1,3].**

Las poliolefinas han sido material aislante preferido debido a sus propiedades generales superiores como **[1,3]:**

Excelentes propiedades eléctricas: constante dieléctrica baja, factor de potencia bajo y alta rigidez dieléctrica

- Excelentes propiedades eléctricas: constante dieléctrica baja, factor de potencia bajo y alta rigidez dieléctrica
- Excelente resistencia a la humedad
- Transmisión de vapor de humedad extremadamente baja
- Alta resistencia a productos químicos y disolventes
- Facilidad de procesamiento y extrusión

Aparte de usarse como aislamiento primario, los polímeros se utilizan también como componentes de conductores y aislantes escudos. Estos materiales para escudos son co-polímeros de etileno que poseen cantidades de carbono negro para proporcionarle a los escudos aislantes las propiedades semiconductoras necesarias. El co- polímero, visto como un portador, debe poseer la propiedad de adherencia controlada al aislamiento **[1,3].**

En la actualidad, casi todos los cables están cubiertos por una chaqueta exterior la cual puede ser de dos tipos: aislante o semiconductora. Son compuestos por uno de los varios tipos de polietileno y también contienen ´pequeñas cantidades de carbono negro. El carbono negro presente en las chaquetas es diferente del que se presenta en los escudos aislantes y está presente en cantidades más pequeñas; el propósito de la chaqueta es reducir la entrada de humedad al conductor, proteger mecánicamente al cable y proporcionar resistencia a la luz solar y a la luz ultravioleta **[1,3].**

1.2. TIPOS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS AISLADOS

En la industria y el mercado se estableció una unidad estándar de la medida del tamaño de los conductores eléctricos. Generalmente en América los conductores

están dimensionados por el Sistema de medida de alambres de América o por sus siglas en inglés AWG, el cual se basa en las siguientes definiciones **[1].**

- El diámetro del tamaño #0000 AWG, escrito por lo general 4/0 AWG es de 0.4600 pulgadas para un conductor sólido
- El diámetro del tamaño #36 AWG es de 0,0050 pulgadas
- Hay 38 tamaños que se rigen por un progresión geométrica

Desde un punto de vista de fabricación, los calibres AWG tienen una propiedad conveniente de que tamaños sucesivos representan aproximadamente una reducción del tamaño en la operación de diseño del alambre. Tamaños más grandes que el #4/0 AWG se especifican en términos de la sección transversal total del conductor y se expresan en milésimas circulares. Un circular mil es una unidad de área igual al área de un círculo que tiene un diámetro de un mil el cual es igual a 0,001 pulgadas **[1].**

Aunque no son todos los tamaños de los conductores eléctricos objeto de estudio de este trabajo, en la ***Tabla A.1***., se muestra, en su mayoría, los tamaños de los conductores existentes en AWG y sus dimensiones.

Con el fin de determinar el tipo o los tipos de cables eléctricos aislados que se utilizarán para ejecutar los respectivos ensayos para la degradación de sus diferentes aislamientos eléctricos, se procedió a realizar 2 diferentes tipos de encuestas:

1. Una que está dirigida hacia los ingenieros eléctricos y/o electrónicos que están dedicados a la construcción de Instalaciones Eléctricas Civiles que comprenden viviendas, edificios de departamentos y comercios pequeños en la ciudad de Cuenca. Los diferentes ingenieros eléctricos seleccionados son miembros activos del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Azuay (CIEELA).
2. Y otra está dirigida a los distintos comercios y/o almacenes situados en la ciudad de Cuenca, que se dediquen a distribuir o vender cables eléctricos aislados para la construcción de instalaciones eléctricas civiles. Los diferentes distribuidores de cables se seleccionaron de igual manera al realizar una encuesta a los mismos ingenieros del inciso 1.

1.2.1. ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRAS PARA LA ENCUESTA

Frecuentemente en el desarrollo de investigaciones se presenta la necesidad de conocer o saber, no a ciencia cierta sino probabilísticamente, cuán grande debería ser una muestra de cierta población ya sea esta finita o infinita pero siempre considerando cierto margen de error en dicha estimación del tamaño maestral.

Para el caso de análisis partiendo con la **Selección del tamaño de la muestra** se determina que tan grande se requiere que sea la muestra (número de encuestas), para asegurar que el error al estimar p sea menor que la cantidad especificada e. El tamaño muestral se determina por medio de la ecuación (1.1), donde se tiene una confianza de $(1-\alpha)*100\%$ de que el error será menor que una cantidad específica e cuando el tamaño de muestra sea n. La fracción $\mathbf{1-\alpha}$ se llama coeficiente de confianza o grado de confianza **[4].**

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} \qquad (1.1)$$

Dónde:

- $\boldsymbol{n}$**:** Es el tamaño de la muestra.
- $\boldsymbol{Z}$: Es una contante obtenida mediante los niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al nivel de confianza deseado que está a criterio del investigador, comúnmente tabulado.
- $\boldsymbol{p}$: Es la probabilidad a favor.
- $\boldsymbol{q}$: Es la probabilidad en contra $(1-p)$.
- $\boldsymbol{e}$: es el error deseado.

Cabe destacar que la ecuación (1.1) tiene un cierto grado de incertidumbre, ya que se debe utilizar p para determinar el tamaño n de la muestra; toda probabilidad p se calcula a partir de la muestra. Si se puede hacer una estimación cruda de p sin tomar una muestra, se podría utilizar este valor para determinar n. Pero a falta de tal estimación, se podría tomar una muestra preliminar de tamaño $n \geq 30$ para proporcionar una estimación de p para luego por medio de la ecuación (1.1) determinar de forma aproximada cuántas observaciones se necesitan para brindar el

grado de precisión que se desea. Para esto los valores fraccionarios de n deben redondear al siguiente número entero **[4].**

Destacando que la ecuación (1.1) se utiliza solo cuando no se tiene un tamaño definido (desconocido) de la población N (población infinita); para el caso en el que la población sea finita se tiene 2 casos, para los cuales se debe calcular el tamaño de la muestra n considerando que la ecuación (1.1) debe ser reajustado de la siguiente forma:

Se considera, primeramente, que:

$$n_0 = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} \qquad (1.2)$$

Luego el reajuste del tamaño muestral cuando se conoce la población, es:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}} \qquad (1.3)$$

Reemplazando (1.2) en (1.3) se tiene que el tamaño de la muestra es:

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

$$n = \frac{N * \frac{Z^2 * p * q}{e^2}}{\frac{Ne^2 + Z^2 * p * q - e^2}{e^2}} = \frac{Z^2 * p * q * N}{Ne^2 + Z^2 * p * q - e^2}$$

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{(N-1)e^2 + Z^2 * p * q} \qquad (1.4)$$

Donde:

- $\boldsymbol{n}$**:** Es el tamaño de la muestra.
- $\boldsymbol{Z}$: Es una contante obtenida mediante los niveles de confianza.
- $\boldsymbol{p}$: Es la probabilidad a favor.
- $\boldsymbol{q}$: Es la probabilidad en contra $(1 - p)$.
- $\boldsymbol{e}$: es el error deseado.
- $\boldsymbol{N}$: Es el tamaño del Universo o Población de donde se obtendrá la muestra.

- Para el primer caso, cuando la población N sea conocida y al mismo tiempo sea pequeño, se utiliza la ecuación (1.4) para estimar el Tamaño de la muestra n:
- Para el otro caso, cuando la población N sea conocida y sea grande, se utiliza la ecuación (1.5) para estimar el Tamaño de la muestra n:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * e^2 + Z^2 * p * q} \qquad (1.5)$$

Se considera una población grande cuando (1.6) se aproxime a la unidad.

$$\frac{N}{N-1} \qquad (1.6)$$

Aplicando la ecuación (1.4) a la presente investigación se obtuvo el número de encuestas que se deben realizar, que es:

- $\boldsymbol{n} =$ 49 $[Ingenieros\ Encuetados]$

Considerando que:

- $\boldsymbol{Z = 1,96}$ para un nivel de confianza del $\mathbf{95}\%$ y un error del $\mathbf{5}\%$.
- $\boldsymbol{p = 95\% = 0,95.}$
- $\boldsymbol{q = 5\% = 0,05.}$
- $\boldsymbol{N = 148}$ $[Socios\ Activos\ del\ CIEELA]$
- $\boldsymbol{e}$: es el error deseado.

Se utilizó la ecuación (1.4) debido a que la población de encuestados (número de socios activos del CIEELA) es relativamente pequeño. Aunque el utilizar cualesquiera de las ecuaciones (1.4) o (1.5), para el caso en estudio no representa mayor diferencia en los resultados finales. En la **Tabla 1-4** se puede observar los diferentes resultados obtenidos en las encuetas realizadas a los socios activos del CIEELA.

Tabla 1-4: Cantidad y Porcentaje de aceptación de los diferentes cables aislados por parte de los ingenieros eléctricos miembros activos del CIEELA

TIPO DE AISLAMIENTO	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
THHN RÍGIDO	22	44
THHN FLEXIBLE	**43**	86
SOLO THHN FLEXIBLE	25	50
SOLO THHN RÍGIDO	**2**	4
NO THHN FLEXIBLE O RÍGIDO (SOLO OTROS TIPOS)	2	4
THHN FLEXIBLE Y RÍGIDO	18	36
OTROS	**5**	10
TOTAL DE ENCUESTADOS	**50**	**100**

En la ***Tabla 1-4*** se puede observar que la mayor parte de ingenieros eléctricos en la ciudad de Cuenca optan por usar cables eléctricos aislados flexibles con un tipo de aislamiento y chaqueta protectora THHN, en sus diferentes construcciones eléctricas civiles. Por lo cual, en la ***Tabla 1-5*** se desglosa este tipo de cable pero atendiendo a sus diferentes características constructivas (como son el color especifico del aislamiento y el calibre) y características de uso (como es en el tipo de instalaciones en las que se utiliza entre las que tenemos: acometidas, Circuitos de iluminación, fuerza o especiales).

Tabla 1-5: Cantidad de aceptación de los diferentes cables aislados por parte de los ingenieros eléctricos miembros activos del CIEELA, considerando características constructivas y de uso de los mismos.

TIPO DE AISLAMIENTO	TIPO DE INSTALACIÓN	CALIBRES AWG	CANTIDAD								
			FASE			NEUTRO		TIERRA		RETORNO	
			AZUL	NEGRO	ROJO	BLANCO	OTROS	VERDE	OTROS	AMARILLO	OTROS
THHN RÍGIDO	ACOMETIDAS	6	11	12	12	12	0	12	1	12	2
		8	17	20	20	19	0	20	2	19	3
		10	7	9	9	8	0	9	1	8	2
	FUERZA	10	9	9	9	9	0	9	0	9	0
		12	19	22	22	21	0	22	2	21	3
	ILUMINACIÓN	12	5	5	5	5	0	5	0	5	0
		14	18	21	21	20	0	21	2	20	3
	CIRCUITOS ESPECIALES	6	1	1	1	1	0	1	0	1	0
		8	10	11	11	10	0	11	1	10	1
		10	15	18	18	17	0	18	2	17	3
		OTROS	1	1	1	1	0	1	0	1	0
THHN FLEXIBLE	ACOMETIDAS	6	18	21	21	21	0	21	1	20	3
		8	34	40	40	40	1	39	1	38	4
		10	12	15	15	15	0	15	0	15	3
	FUERZA	10	15	18	18	18	1	17	0	16	1
		12	35	41	41	41	1	40	1	39	4
	ILUMINACIÓN	12	9	10	10	10	1	9	0	9	0
		14	37	38	38	38	0	38	1	37	4
	CIRCUITOS ESPECIALES	6	3	4	4	4	1	3	0	3	0
		8	17	17	17	17	0	17	0	17	0
		10	32	33	33	33	1	32	1	31	4
		OTROS	1	1	1	1	0	1	0	1	0
OTROS	ACOMETIDAS	6	2	2	2	2	0	2	0	2	0
		8	3	4	4	3	0	4	1	3	1
		10	3	4	4	3	0	4	2	3	2
	FUERZA	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		12	4	5	5	4	0	5	2	4	2
	ILUMINACIÓN	12	1	1	1	1	0	1	0	1	0
		14	3	4	4	3	0	4	2	3	2
	CIRCUITOS ESPECIALES	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8	1	2	2	1	0	2	1	1	1
		10	3	4	4	3	0	4	1	3	1
		OTROS	1	1	1	1	0	1	1	1	1

De la ***Tabla 1-5*** se puede determinar que el Cable Flexible con aislamiento tipo THHN es el más utilizado en las Instalaciones Civiles de la Ciudad del Cuenca, con lo cual los cables utilizados para realizar los ensayos de degradación de su aislamiento serán los que se muestran en la ***Tabla 1-6***. En esta tabla se observan datos básicos como son el calibre, color y en el tipo de instalación eléctrica que se utilizan.

Tabla 1-6: Cables de prueba para someterlos a ensayos de degradación de sus aislamientos ante Sobrecargas Eléctricas.

TIPO DE AISLAMIENTO	TIPO DE INSTALACIÓN / USO	CALIBRE	COLOR	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
THHN FLEXIBLE	**ACOMETIDAS**	**8**	**NEGRO**	40	80
			AMARILLO	38	76
	FUERZA	**12**	**ROJO**	41	82
			BLANCO	41	82
	ILUMINACIÓN	**14**	**AZUL**	37	74
			ROJO	38	76
	CIRCUITOS ESPECIALES	**10**	**AZUL**	32	64
			BLANCO	33	66

Cabe destacar que los diferentes colores de los cables se eligieron de acuerdo al código de colores establecido por la primera edición del **Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 021:2008** que trata a cerca de conductores y alambres para uso eléctrico aislados con material termoplástico, y además a los colores que tenían en inventario los distintos almacenes u distribuidores seleccionados de igual forma mediante una encuesta.

La norma **INEN 021:2008** establece que: el conductor para electrodomésticos o circuitos eléctricos que estén destinados para usarlos como conductor de puesta a tierra, se debe identificar mediante un color verde, con o sin franjas rectas o helicoidales de color amarillo. El conductor para electrodomésticos o circuitos eléctricos que estén destinados para usarlos como conductor neutro, se debe identificar mediante un color blanco o gris natural fácilmente distinguible. Finalmente, conductores que estén destinados para usarlos como conductor activo (fases) para electrodomésticos o circuitos eléctricos deben identificarse por medio de un color o la combinación de colores distintos y que contrasten del blanco, gris natural, verde o verde con franjas amarillas. Todos estos colores deben de cumplir características que se establecen en la **Norma UL 83** o en su remplazo a la **Norma**

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2345 titulada CONDUCTORES Y ALAMBRES AISLADOS. CON MATERIAL TERMOPLÁSTICO. REQUISITOS, que establece si el código de color del alambre con aislamiento termoplástico es acabado por medio de un revestimiento de superficie, el revestimiento deberá cumplir con cada uno de los siguientes requisitos:

- El revestimiento de superficie de un conductor con aislamiento termoplástico, deberá cumplir con los requisitos de carga de rotura y última elongación, antes y después del envejecimiento aplicado al aislamiento en un horno de aire durante 168 h.
- El revestimiento no deberá resquebrajarse sobre la superficie del aislamiento, cuando las muestras del alambre son dobladas a temperatura ambiente, tanto antes como después del envejecimiento aplicado al aislamiento en el horno de aire durante 168 h.
- El revestimiento de superficie no deberá emigrar, cuando sea probado de la siguiente forma: dos muestras de cualquier longitud conveniente y en colores contrastantes, una con revestimiento de superficie de color y otra sin recubrimiento, son trenzadas juntas por seis o más vueltas, con un paso que no exceda 20 veces el diámetro total medido de una muestra. Los conductores trenzados son suspendidos dentro de un horno con circulación forzada de aire y acondicionados durante 7 horas, a una temperatura de $70\ °C\ \pm\ 1\ °C$. Las muestras son retiradas del horno y se mantendrán al aire, para que se enfríen a temperatura ambiente durante 1 hora, luego de la cual son desenrolladas y examinadas. Si el revestimiento de la muestra coloreada se ha transferido en cualquier insignificante cantidad (ancho y/o longitud o ambos más de $0{,}38\ mm$) a la muestra sin cubierta, el revestimiento no es aceptado.

Para la selección de los conductores también se consideró que la sección minia transversal de los conductores para aparatos no deben de tener una sección menor a $0{,}82\ mm^2$ o $18\ AWG$, que establece igualmente la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN 2345.**

1.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CABLES DE ENSAYO

Como se puede observar en la ***Tabla 1-6,*** las muestras de los cables para los diferentes ensayos de sobrecarga serán con un tipo de aislamiento THHN, por lo cual a continuación se analizarán algunas de las más importantes de sus características constructivas de los mismos como son los materiales que componen dicho aislamiento.

1.3.1. COMPONENTES DE LOS CABLES THHN, THWN Y THWN-2

Las siglas THHN derivan del inglés Thermoplastic High Heat-resistant Nylon-coated [3] que significa Cable aislado recubierto de Nylon termoplástico de alta resistencia al calor, que es apropiado para usar en lugares tanto secos como húmedos, que además tiene el mismo uso del cable aislado tipo THWN (siglas de Thermoplastic Heat and Water-resistant Nylon-coated que significa Cable recubierto de Nylon termoplástico resistente al calor y la humedad)[3]. Los cables y conductores de este tipo son de cobre o aluminio (sólido o trenzado), con un rango de tensiones eléctricas comprendido entre 110 y 600 voltios.

A diferencia de los Alambres y Cables THW (Aislados), que están compuestos solo por cobre recocido y aislamiento de PVC; los Alambres y Cables THHN o THWN/THWN-2 (Aislados) poseen una chaqueta adicional de Nylon como se puede observar en la **Fig. 1-1**.

3 CADA LETRA DE LOS CABLES THHN O THWN/THWN-2 TIENEN EL SIGUIENTE SIGNIFICADO **[32]**:

- T (THERMOPLASTIC): AISLAMIENTO TERMOPLÁSTICO
- H (HEAT RESISTANT): RESISTENTE AL CALOR HASTA 75° CENTÍGRADOS (167° F)
- HH (HEAT RESISTANT): RESISTENTE AL CALOR HASTA 90° CENTÍGRADOS (194° F).
- W (WATER RESISTANT): RESISTENTE AL AGUA Y A LA HUMEDAD

Figura 1-1: Partes de cables con aislamiento THW y THHN o THWN-2 **[15].**

1.3.1.1. COBRE

El Cobre (Con Símbolo Cu y número atómico 29) es un metal maleable y dúctil de color rojizo, que se lo puede vaciar, forjar, laminar, estirar y maquinar. El cobre trabajado en frío se endurece pero el recocerlo se lo suaviza; es decir disminuye su resistencia a la tensión y se incrementa su ductilidad. La densidad varía ligeramente con el estado físico (8,89 gr/cm^3es su valor promedio a 20°C o de 8,9 gr/cm^3 a 0°C). La densidad de muestras de cobre de lata conductividad varia simultáneamente de 8,87 a 8,91 gr/cm^3 y ocasionalmente entre 8,83 y 8,94 gr/cm^3, estas variaciones pueden ser causadas por defectos microscópicos o por la presencia de escama o por algún otro defecto **[5].**

El cobre se funde a 1083 °C y en este estado posee un color verde marino. Se lo puede combinar con varios otros metales para formar aleaciones. Posee conductividad eléctrica muy sensible a la presencia de ligeras impurezas. El Cu se óxida, pero este oxido es una capa protectora, además de ser un proceso no progresivo. Este metal conductor de electricidad no pierde sus propiedades al enfriarlo rápidamente después de recocerlo o laminarlo **[5].**

El cobre recocido debido a que es un buen conductor de electricidad, se lo utiliza en *Instalaciones Eléctricas*, paro lo cual debe de cumplir ciertas características **[6]**, como son:

- Resistividad volumétrica a la temperatura de 20°C.

$$\rho = \frac{1}{58} = 0{,}017241\left(\frac{\Omega * mm^2}{m}\right) = 1{,}7241 * 10^{-8}\ (\Omega * \mathrm{m}\ ) \qquad (1.7)$$

El valor de la resistividad volumétrica indicado corresponde a una conductividad

$$\sigma = 58 * 10^6\ \left(\frac{\mathrm{S}}{m}\right) \qquad (1.8)$$

La cual, por convención, es considera igual a 100%.

- Densidad a la temperatura de 20ºC.

$$\delta = 8{,}89\ \left(\frac{gr}{cm^3}\right) = 8{,}89 * 10^3\ \left(\frac{kg}{m^3}\right) \qquad (1.9)$$

- Coeficiente de dilatación lineal a la temperatura de 20°C:

$$0{,}000017\ \left(\frac{1}{°C}\right) \qquad (1.10)$$

- Coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura a 20ºC, a masa constante y a dilatación libre.

$$\alpha_{20°C} = 0{,}00393\ \left(\frac{1}{°C}\right) \qquad (1.11)$$

- Resistividad de masa a la temperatura de 20ºC. Como consecuencia de 2.1.1 y 2.1, la resistividad de masa es:

$$\rho_M = \frac{1}{58} * 8{,}89 = 0{,}15328\left(\frac{\Omega * gr}{m^2}\right)$$
$$= 1{,}5328 * 10^{-4}\ \left(\frac{\Omega * kg}{m^2}\right) \qquad (1.12)$$

1.3.1.2. POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El PVC es un compuesto termoplástico cuyo constituyente característico es policloruro de vinilo o un copolímero de policloruro de vinilo y acetato de vinilo. Un

termoplástico por otro lado es un Material polimérico que puede ablandarse repetidamente por calentamiento y endurecerse por enfriamiento, y que en estado blando puede formarse mediante la aplicación de fuerza **[7]**.

- **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

La temperatura máxima para Cubiertas Termoplásticas como son el PVC (Policloruro de vinilo) y el ZI (compuestos de PE), admisible en la pantalla o cubierta (aislamiento) en condiciones de:

- Régimen permanente oscila entre 70 y 85 grados centígrados (°C); Considerando por un lado que la temperatura admisible es la que resulta de una temperatura máxima de funcionamiento en régimen permanente del cable, que fue tomada a un valor aproximado de 20°C inferior a la temperatura del conductor. Las normas de cubierta no especifican el valor dela temperatura en la pantalla en régimen permanente **[8]**
- Y por otro lado, en condiciones de régimen de Cortocircuito con una duración máxima de 5 minutos es de 200 °C para el PVC y 180 °C para el ZI, así mismo teniendo en cuenta que se admite una temperatura superior siempre que se pueda demostrar por ensayo que el diseño del cable la puede soportar **[8].**

Se puede decir que las temperaturas iniciales de corto circuito son las temperaturas que se tienen en régimen permanente y las temperatura finales de cortocircuito son las admisibles en corto circuito por no más de 5 minutos.

1.3.1.3. NYLON

Este material esta aplicado directamente sobre la superficie del aislamiento. La chaqueta de nylon de un conductor THHN o THWN Y THWWN-2 debe de considerar que previamente se realiza un ensayo sobre un mandril de la siguiente manera: se escoge un espécimen de cable terminado de calibre 14, 12, o 10 AWG para luego envolverlo cuatro veces alrededor de un mandril de metal liso de un diámetro de seis veces la de la muestra. Los extremos de la muestra son asegurados al mandril de manera que estén cuatro vueltas completas para seguidamente exponerlos 24 horas a un horno de aire circulante que opera a una temperatura de $95 \pm 1\,°C$, al culminar este tiempo el mandril es extraído del horno y se lo enfría

durante 1 h en un desecador a $24 \pm 3\,°C$. Finalmente la muestra debe ser desenrollada a una velocidad de 4 segundos por vuelta inmediatamente después de retirarlos del desecador y ser inspeccionados con el fin de examinar si la muestra tiene o no grietas superficiales. Cualquier agrietamiento en la chaqueta de la muestra constituye un incumplimiento en las características constructivas o constitutivas de la misma **[9].**

La chaqueta de Nylon hace que los cables sean más:

- Resistentes a la abrasión y que tenga un bajo coeficiente de fricción, facilitando su instalación en ductos o tuberías. [4]
- Resistentes a la propagación de la flama (VW-1 y FV2). [4]
- Resistentes al calor (120°C), humedad, grasas, aceites y gasolinas, así como a los agentes químicos y algunos solventes. [4]

1.3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CABLES DE ENSAYO

Se puede decir que los cables de ensayo (THHN, THWN y THWN – 2) están sometidos a ciertas pruebas de fábrica que permiten establecer una base para desarrollar una metodología que permita elaborar con coherencia y relevancia las pruebas o ensayos; dichas pruebas de fábrica están sistematizadas en Normas Internacionales como es la UL 83 y UL 1581, además de normas ecuatorianas como la NORMA TÉCNICA NTE INEN 2 345:2004, esta última es una sistematización de la norma UL 83.

- La norma UL 83 “Thermoplastic-Insulated Wiresn and Cables” (Alambres y cables con aislamiento termoplástico); abarca temas relacionados con los requisitos básicos para los productos cubiertos por Underwriters Laboratories Inc. (UL). Estos requisitos se basan en sólidos principios de ingeniería, investigación, registros de pruebas, experiencia de campo, y una evaluación de los problemas de la fabricación, instalación y uso, todos estos derivados de la consulta y la información obtenida de los fabricantes, usuarios, autoridades de control, y otros que tienen experiencia especializada.

- ***4*** ALAMBRES Y CABLES DE BAJA TENSIÓN PARA CONSTRUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN/ EMPRESA LATINCASA/ www.conductoreslatincasa.com.mx

Los contenidos de la norma **UL 83** siempre están sujetos a revisión a medida que hay más experiencia e investigación (avance tecnológico). Además la UL, en el desempeño de sus funciones de conformidad con sus objetivos, no asume o se comprometen a cumplir cualquier responsabilidad del fabricante o cualquier otra parte. Los requisitos de la UL 83 cubren los calibres # 14 - 4/0 AWG y 250-2000 MCM de 600-V, de conductores simples y cables con aislamiento termoplástico para ser usados en concordancia con el Código Eléctrico Nacional. Estos requerimientos no cubren los aislamientos termoplásticos en cordones flexibles o alambres mixtos **[11].**

- Por otra parte, la Norma UL 1 581 "Reference Standard for Electrical Wires, Cables, and Flexible Cords" (Estándar de Referencia para Alambres, Cables y cordones flexibles eléctricos), que trata de temas relacionados con los detalles específicos de los conductores, aislamientos, chaquetas y demás revestimientos, además de los métodos de preparación de la muestra, selección, acondicionamiento, medición y el cálculo de la muestra que se requieren en las Normas para el Aislamiento Termoestable de Alambres y Cables (UL 44), Aislamiento Termoplástico de Alambres y Cables (UL 83), Cordones Flexibles y Alambres Mixtos (UL 62), y los Cables de Entrada de Servicio (UL 854). Por ejemplo, los requisitos para Ensayos de voltaje sostenido (esfuerzo dieléctrico) están detallados dentro de la UL 1581; que consiste que una muestra terminada pueda soportar 60 segundos la aplicación de un voltaje eficaz esencialmente sinusoidal entre 48 y 62 HZ (con una magnitud de 1500 V para calibres 14 – 9 AWG y 2000 V para calibres 8 -2 AWG) sin presentar ninguna ruptura dieléctrica. Antes de someterlos a ensayo las muestras deben de ser sumergida por lo menos 6 horas en agua a temperatura ambiente. Para mayor información ver los incisos 820.1 – 820.5 de la norma UL 1581 **[10].**

En la ***Tabla 1-10*** se puede observar los valores reales (impresos en las chaquetas de los cables de ensayo), los valores mínimos admisibles y nominales de los diámetros y áreas de los distintos conductores de los cables de prueba. Los valores mínimos estas referidos a la Norma UL 1581 **[10].**

Tabla 1-7: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CABLES DE ENSAYÓ **[10, 11]**

SECCIONES DE LOS CONDUCTORES DE LOS CABLE DE PRUEBA									
CALIBRES (AWG)	COLOR	NUMERO DE HILOS REALES	NUMERO MÍNIMO DE HILOS en combinación UNILAY	NUMERO MÍNIMO DE HILOS cableados (compacto)	DIÁMETRO DEL CONDUCTOR			ÁREA DEL CONDUCTOR	
					Real en mm	Nominal en mm	Mínimo en mm	Real en mm^2	Mínimo en mm^2
14	ROJO ÓXIDO	26	19	-	1,628	1,63	1,613	2,08	2,04
	AZUL	26	19	7	1,628	1,63	1,613	2,08	2,04
12	BLANCO	19	19	7	2,053	2,05	2,03	3,31	3,24
	ROJO	41	19	7	2,053	2,05	2,03	3,31	3,24
10	AZUL	64	19	7	2,588	2,588	2,56	5,26	5,16
	BLANCO	25	19	7	2,588	2,588	2,56	5,26	5,16
8	AMARILLO	7	19	7	3,264	3,264	3,23	8,37	8,20
	NEGRO	7	19	7	3,264	3,264	3,23	8,37	8,20

Para determinar el número de hilos (alambres) que posee un cable según al Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2345. No deberá tener un número inferior al mostrado en la ***Tabla 1-7*** y además no deben de ser menor a un calibre 36 AWG, cabe destacar que no es necesario que un conductor con cableado concéntrico (con varios hilos o alambres) del mismo calibre o diámetro. Cuando los cables sean flexibles con varios alambres en combinación Unilay para los calibres 8 - 14 AWG deben de ser solamente de cobre, y cuando sean cableados compactos se permitirá menor número de hilos cuando se incluyan pruebas de conectividad y de flexión **[9]**.

Tabla 1-8: CORRIENTE ADMISIBLE POR CADA CABLE DE PRUEBA **[12].**

CAPACIDAD DE CORRIENTE (A)					
CALIBRE		NATIONAL ELECTRICAL CODE (NEC)			
		TW (60°C O 140°F)	THW (75°C O 167°F)	THHN, THWN Y THWN-2 (90°C O 194°F)	PROTECCIÓN
AWG	mm^2	ADMISIBLE	ADMISIBLE	ADMISIBLE	AMPERIOS
14	2,08	16	18	21	15
12	3,30	20	24	27	20
10	5,25	27	33	36	30
8	8,36	36	43	48	-

Si no se permite otra cosa específicamente en otro lugar de este Código, la protección contra sobrecorriente de los conductores no debe superar los 15 amperios para el conductor de sección transversal 2,08 mm2 (14 AWG); 20 amperios para 3,3 mm2

(12 AWG) y 30 amperios para 5,25 mm2 (10 AWG), todos de cobre, una vez aplicados todos los factores de corrección por temperatura ambiente y por número de conductores **[12]**. Ver la ***Tabla 1-8***.

1.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AISLAMIENTO DE LOS CABLES DE ENSAYO

Un alambre o cable THHN o THWN deberán estar aislados en toda su longitud con el aislamiento especificado para la construcción en la ***Tabla 5.1, 5.2, o 5.3***, según corresponda. El aislamiento se aplica directamente a la superficie del conductor o para cualquier separador, se referirá el conductor o cualquier separador por completo, y no deberán tener defectos visibles con visión normal o corregida sin aumento. El aislamiento de PVC del tipo de THW-2 y THW cables es para ser aplicado en una capa o dos capas distintas e inseparables (diferentes compuestos). Aislamiento de PVC que se aplica en un máximo de 3 capas integrales de diferentes colores (el mismo compuesto) para facilitar los cambios de color debe ser tratado como una sola capa. Llene THWN-2, THHN, y cables THWN se tienen cada uno, además, una chaqueta de nylon (véase la nota b a las ***Tablas 5.1*** y ***5.2***) se aplica directamente a la superficie del aislamiento **[10,11].**

Tanto el cable con aislamiento THWN como con aislamiento THHN permiten tener instalaciones con alambres y cables con mayor capacidad de corriente con un nivel más alto de resistencia a la abrasión y/o a agentes contaminantes externos del aislamiento como son el aceite, la grasa y/o la gasolina, además de tener conductores más livianos debido a que con un menor calibre se puede transportar igual corriente que otros de mayor calibre (como el TWH que resiste menores temperaturas de operación permanente y menor capacidad de corriente) que permitiendo con esto además albergar más conductores por un mismo ducto y por ende minimizar considerablemente los costos de implementación de una instalación eléctricA.2

Los conductores o cables aislados con un tipo de aislamiento THWN-2, THHN y THWN de baja tensión (0,6/1 KV) según la Norma UL-83 deben de tener los espesores mínimos de su aislamiento y chaqueta mostrados en la ***Tabla 1-9***, según el calibre del cable o alambre.

Tabla 1-9: Espesores del aislamiento para los cables THWN-2, THHN y THWN **[10, 11].**

ESPESORES MÍNIMOS DE LOS AISLAMIENTOS								
CALIBRES (AWG)	COLOR	NUMERO DE HILOS	**AISLAMIENTO CON PVC**				**EN CUALQUIER PUNTO DE LA CHAQUETA DE NYLON**	
			PROMEDIO		EN CUALQUIER PUNTO			
			MILS	mm	MILS	mm	MILS	mm
14	ROJO ÓXIDO	26	15	0,38	13	0,33	4	0,10
	AZUL	26	15	0,38	13	0,33	4	0,10
12	BLANCO	19	15	0,38	13	0,33	4	0,10
	ROJO	41	15	0,38	13	0,33	4	0,10
10	AZUL	64	20	0,51	18	0,46	4	0,10
	BLANCO	25	20	0,51	18	0,46	4	0,10
8	AMARILLO	7	30	0,76	27	0,69	5	0,13
	NEGRO	7	30	0,76	27	0,69	5	0,13

Nota: Cualquier reparación o unión que se va a realizar en el aislamiento se deberá efectuar con un acabado perfecto en todas las partes que resulten afectadas en el proceso, cumpliendo con los mismos ensayos eléctricos que el resto del aislamiento. El espesor del aislamiento en las partes separadas o juntas deberá cumplir con los requisitos de la ***Tabla 1-9*** **[9]**.

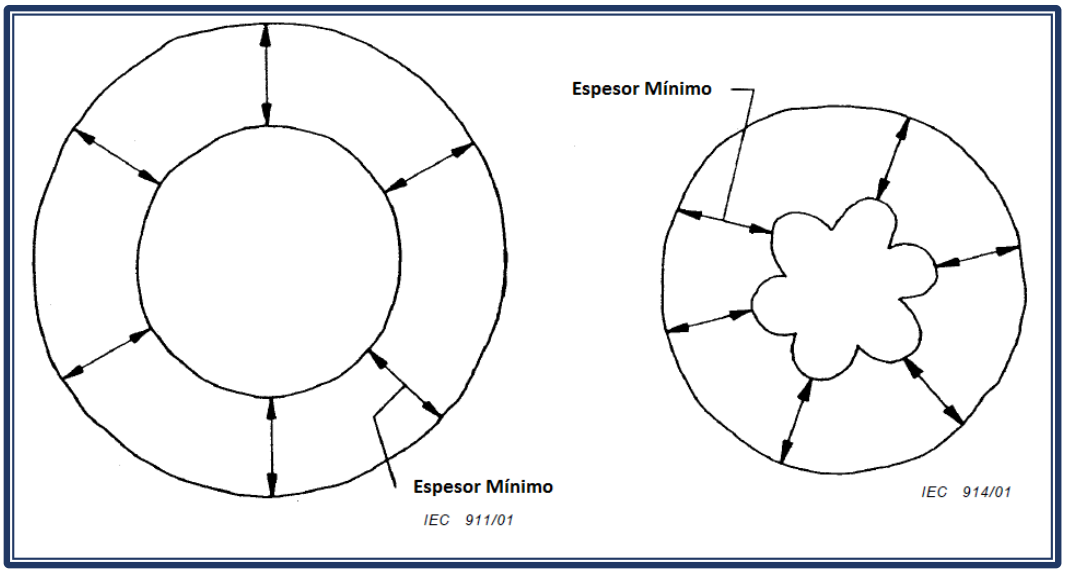

Figura 1-2: Medición del Espesor Mínimo del aislamiento en cables aislados **[16].**

Los valores mínimos de aislamiento se miden en relación a la norma internacional **IEC 60811-1-1** edición 2.1 del 07 de 2011, relacionada con Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos y cables ópticos, como se observa en la **Fig 1-2.**

1.4.2.1. RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO A CORTO TIEMPO EN AGUA PARA CABLES THWN Y THWN-2

Pruebas de resistencia de aislamiento a corto tiempo en agua a una temperatura de 15.6°C, este ensayo consiste en tener una muestra de cable sumergido en agua durante 6 horas, al finalizar este tiempo se procede a Meggar el cable todavía sumergido, estos valores no deben de ser menores a los valores mostrados en la ***Tabla 1-10*** están refiriéndonos a la columna con una temperatura mínima de 60°C. Las pruebas de resistencia de aislamiento para cables THHN y THWN – 2 se realizan sin la chaqueta de nylon, cabe destacar que la temperatura de aislamiento que se va a ensayar difiere en más de 2,8° C de la temperatura del agua en la cual se sumerge el aislamiento, por lo cual los resultados del ensayo después de 6 h de inmersión, no son exactos **[10,11].**

Tabla 1-10: Valores de resistencia de aislamiento para cables THHN y THWN – 2 a 60° F (15,6°C) en Agua **[10, 11].**

CALIBRE AWG	MEGOHMIOS ($M\Omega$) BASADOS EN 1 KM DE CONDUCTOR		
	MÍNIMA RESISTENCIA A CORTO TIEMPO A TEMPERATURA AMBIENTE	MÍNIMA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ACEPTABLE A TEMPERATURA ELEVADA	VALOR MÍNIMO ACEPTABLE A LARGO TIEMPO A 97°C
	TIPO THWN-2 Y THWN	TIPO THWN A 75°C Y THWN-2 A 90°C	TIPO THHN
14	205 (665)	0,035	0,080
12	175 (560)	0,030	0,070
10	180 (405)	0,035	0,070
8	185 (415)	0,035	0,075

Nota: El valor entre paréntesis representa la resistencia de aislamiento basada en 304 metros o 1000 pulgadas.

El ensayo a temperatura ambiente, pero no el ensayo a 60°C, 75°C o 90°C, se realiza inmediatamente después de la de aplicación del voltaje dieléctrico pero, en cualquier caso, la bobina o las bobinas deberán tener conexión a tierra y estar completamente descargadas previamente a la medición de la resistencia de aislamiento. Además se aplicará un potencial de corriente continua de 100 a 500 V al aislamiento por 60 s **[10, 11].**

1.4.2.2. RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO A LARGO TIEMPO EN AIRE A 97°C PARA CABLES THHN

El Valor mínimo aceptable del aislamiento sobre alambres tipo THHN deben tener el efecto de que el alambre, sin la chaqueta de nilón en el caso del tipo THHN, pero siempre y cuando tenga una pantalla de cobre externa de tejido tupido de cobre, tenga una resistencia de aislamiento en el aire a $97\ °C \pm 1\ °C$ que no sea inferior a la indicada en la ***Tabla 1-10.*** a cualquier tiempo, durante un período prolongado en un horno con circulación de aire en las siguientes condiciones. El período en el horno será de 12 semanas o más, si la resistencia de aislamiento durante las últimas seis del período, es superior a 3 Megohmios, con base en un kilómetro de conductor. El período en el horno será de 24 a 36 semanas, si la resistencia de aislamiento es inferior a 3 Megohmios con base en un km de conductor, pero igual o superior al valor indicado en la ***Tabla 1-10.*** **[10,11].**

Un voltaje eficaz esencialmente sinusoidal de 600 V a 48 – 62 Hz deberá ser aplicado al aislamiento en cualquier momento, diferente a cuando se están tomando las lecturas de resistencia de aislamiento **[10, 11, 12].**

El Máximo grado de reducción aceptable del aislamiento THHN deberá también tener el efecto que, durante el período prolongado en el horno a $97\ °C \pm 1\ °C$, la reducción máxima en la resistencia de aislamiento para cada período continuo de tres semanas durante la última mitad del período de tiempo especificado en el horno no será mayor al 4%, siempre y cuando, la resistencia de aislamiento con base en $1\ km$ de conductor sea 3 Megohmios o más, y no será mayor al 2% siempre y cuando la resistencia de aislamiento sea inferior a 3 Megohmios con base en 1 kilómetro de conductor, pero superior al valor indicado en la ***Tabla 1-10.*** **[10, 11, 14].**

El ensayo para determinar si el aislamiento cumple o no con estos requisitos, son hechos sobre tres o más bobinas de 20 metros de alambre THHN sin envejecer, sin la chaqueta de nilón con una pantalla exterior de cobre ajustada de tejido tupido. El ensayo se debe realizar con el equipo y métodos descritos en los parágrafos 920.1 - 920.6 de la norma **UL 1581.**

Tabla 1-11: Resistencia de aislamiento mínima aceptable a largo tiempo de cables tipo THHN a 97° C **[9].**

CALIBRE DEL CONDUCTOR	MEGAOHMIOS CON BASE EN 304 m DE CONDUCTOR	MEGAOHMIOS CON BASE EN 1 KILÓMETRO DE CONDUCTOR
14	0,265	0,080
12	0,220	0,070
10	0,230	0,070
8	0,235	0,075

La resistencia del aislamiento para cables tipo THHN, está calculada por medio de la ecuación (1.13) **[9]**:

$$R_a = K * 1{,}20 * 10^{-4} * log_{10}\left(\frac{D}{d}\right) \qquad (1.13)$$

Donde:

- $\boldsymbol{R_a}$ es la resistencia de aislamiento a $97\ °C$ en Megaohmios con base en $304\ m$ de conductor al $102\ \%$ del grado de temperatura absoluta del alambre en lugares secos.
- $\boldsymbol{K}$ es la constante para el material de aislamiento a $15{,}6°C$ en Megaohmios con base en $304\ metros$ $(1\ 000\ pies)$ de conductor,
- $\mathbf{1{,}20\ x\ 10^{-4}}$ es el multiplicador necesario para reducir "K" a 15,6°C en Megahomios con base en $1\ 000\ pies$ (304 metros) de conductor al valor que tendría a $97{,}0°C$ basado en 1 km de conductor. Si por otro lado esta medida está basada en 1 kilómetro de conductor es $\mathbf{3{,}94\ x\ 10^{-4}}$**.**
- $\boldsymbol{D}$ es el diámetro sobre el aislamiento en mm, y
- $\boldsymbol{d}$ es el diámetro del metal del conductor en mm.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

Metodología es todo un conjunto de métodos y técnicas que permiten abordar cada una de las actividades presentes en los proyectos de investigación de una forma homogénea y abierta. Una metodología define actividades y roles, artefactos, prácticas y técnicas recomendadas **[15]**. A continuación se plantea los pasos a seguir para analizar cómo se degrada el aislamiento ante sobrecargas eléctricas de los cables de mayor utilización en las instalaciones civiles de la ciudad de Cuenca, que en el capítulo 1 se establecieron como los conductores THHN calibres 8, 10, 12 y 14 AWG.

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

2.1.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO

Para describir el caso o cable en estudio se tiene que tomar en cuenta algunos factores que sirven para lograr un mejor análisis del comportamiento de dicho caso **[16]**. Estos factores son:

- Tipo de aislamiento, que se estableció en el Capítulo 1
- Voltaje nominal que soporta en voltios (V)
- Corriente nominal que soporta en amperios (A)
- Temperatura nominal que soporta en °C
- Configuración básica del sistema en estudio, para obtener una visión más real del caso en estudio **[16]**
- Factibilidad de medición, con esto presentar todas las posibilidades para realizar las mediciones y el equipo con el que se cuenta **[16]**

El voltaje, la corriente y temperatura nominal que soporta cada cable se encuentra en los catálogos de fabricantes y están especificados según el calibre y el tipo de aislamiento.

2.1.2. NORMATIVIDAD A USARSE

Las normativas y regulaciones pueden ser muy variadas en el campo de la electricidad por eso hay que tener en claro a que están dirigidas y cuál es su rango de acción **[17]**. Para el proyecto de estudio se reunieron varias normas que pueden ser útiles y que dan la pauta necesaria para implementar el ensayo adecuado en el

laboratorio de electricidad. Los documentos más utilizados para este proyecto son los emitidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), Comisión Electro-técnica Internacional (IEC), American National Standard (ANSI), Underwriters Laboratories (UL), Normas Mexicanas adaptadas de normas internacionales antes mencionadas. Los datos que se obtienen de las pruebas y lo que no se refleje en normas o guías internacionales, debe estar sujeto a un análisis estadístico adecuado, que permita obtener procesos válidos de la experimentación a realizarse.

2.1.2.1. UL 1581: ESTÁNDAR DE REFERENCIA PARA ALAMBRES ELÉCTRICOS, CABLES Y CORDONES FLEXIBLES.

Esta norma contiene detalles específicos de los tipos de conductores, tipos de aislamiento, de las chaquetas y otros tipos de revestimiento así como los métodos de preparación de la muestra, de la selección y acondicionamiento de la muestra, así como de mediciones y cálculos que se requieren en otras normas como cables aislados y termo-estables, cables termo plásticos y cables aislados, cables flexibles y alambres de fijación y los cables de entrada de servicio **[10]**.

2.1.2.2. IEEE STD 1143-1994: GUÍA PRÁCTICA PARA EL BLINDAJE DE CABLES DE BAJO VOLTAJE

La función de esta guía es informar y familiarizar a los lectores con la práctica del blindaje, sistemas y métodos de prueba. Estas pruebas no pueden ser estandarizadas; sin embargo, se incluyen para ofrecer una visión general de lo que se hace para caracterizar el blindaje **[18]**.

El objetivo principal de esta guía es mostrar como el blindaje se puede utilizar para minimizar los efectos de interferencia en los cables de baja tensión y proporcionar antecedentes de información sobre la necesidad e importancia de apantallamiento. La pantalla del cable es una parte de la barrera electromagnética que separa los circuitos protegidos de las fuentes externas de interferencias electro magnéticas **[18]**.

2.1.2.3. IEEE STD 101-1987(R2010): GUÍA PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DE PRUEBA DE VIDA TÉRMICA

Esta guía indica que los procedimientos de ensayo acelerado requieren un número de especímenes determinado para ser envejecido a cada una de las temperaturas por encima de las temperaturas de funcionamiento normales. Las altas temperaturas se eligen para producir fallos de muestra de acuerdo con criterios de fallo específicos que por lo general van de una semana hasta alcanzar, en ocasiones, el año **[19]**.

El objetivo del ensayo es determinar la dependencia de la vida media de un material con la temperatura a partir de datos y para estimar, por extrapolación, la vida media esperada a temperatura de servicio. Esta guía presenta los métodos necesarios para el análisis de éstos datos, así mismo de la comparación de los datos de prueba en diferentes materiales **[19]**.

2.1.2.4. IEC 60071-1: COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

Esta parte de la norma se aplica a las redes trifásicas de corriente alterna y tensiones superiores a 1kV, especifica el procedimiento para la elección de tensiones soportadas normalizadas para el aislamiento fase-tierra, el aislamiento entre fases y el aislamiento longitudinal del material e instalaciones en este tipo de redes **[20]**. Para la experimentación del proyecto de grado presentado, se utiliza esta guía o norma para establecer tiempos de duración de prueba ante sobrecargas eléctricas para envejecimiento del material de aislamiento.

2.1.2.5. IEEE STD 43-2000: PRÁCTICA RECOMENDADA PARA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE MAQUINARIA ROTATIVA

Este documento describe el procedimiento para la medición de la resistencia de aislamiento de la armadura y bobinados de campo de máquinas rotativas síncronas, de inducción, corriente continua y condensadores síncronos que van desde un 1 hp, 750 W o mayores **[21]**.

Describe las características típicas de resistencia de aislamiento de la rotación de bobinados de máquinas y recomienda valores mínimos aceptables de resistencia de aislamiento AC y DC de los bobinados de la máquina **[21]**.

El propósito de esta guía es definir resistencias de aislamiento y pruebas de índice de polarización del bobinado de una máquina rotativa, revisar los factores que afectan o cambian las características del aislamiento, recomendar métodos uniformes para medir la resistencia de aislamiento con las precauciones necesarias para evitar resultados erróneos. En particular esta norma describe los problemas típicos de aislamiento detectado por la prueba de resistencia de aislamiento **[21]**. Aunque la norma se refiere a máquinas rotativas, éstas igual presentan aislamiento del tipo sólido en sus bobinados, que para el presente caso de estudio sirve como base debido a que el aislamiento en los cables de análisis son también del tipo sólido, pudiendo obtener buenas aproximaciones en los resultados requeridos.

2.1.2.6. NORMAS MEXICANAS NMX-J-309-1981 Y NMX-J-294-1984

La NMX-J-309-1981 está relacionada a CONDUCTORES AISLADOS- MÉTODO DE PRUEBA DE TENSIÓN DE IMPULSO A LA RUPTURA y la norma NMX-J-294-1984, por otro lado, está referida a PRODUCTOS ELÉCTRICOS-CONDUCTORES- RESISTENCIA DE AISLAMIENTO- MÉTODO DE PRUEBA. La primera norma NMX-J-309-1981 tiene por objeto establecer un método de prueba de tensión de impulso a la ruptura en conductores aislados. Estas pruebas se utilizan como de diseño o desarrollo pero no pueden utilizarse como pruebas de especificación o de rutina en producción y tiene como base la norma internacional IEEE Std. 82-1963: Pruebas de Voltaje de impulso en conductores aislados, procedimientos de prueba. **[22]**.

La norma NMX-J-294-1984 establece el método de prueba adecuado para determinar la resistencia de aislamiento en conductores aislados con materiales del tipo termoplástico y tiene como base la norma internacional ICEA S-51-402-1982: Termoplásticos - Alambres y cables aislados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica **[23]**.

De éstas normas se pretende utilizar el procedimiento de prueba planteado para proveer una base y así, apegándose a normas internacionales, preparar el ensayo a realizarse en el laboratorio de electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

2.1.3. MEDICIONES A REALIZAR

Para el análisis de degradación del aislamiento se deben considerar varios parámetros, sin embargo los más importantes dentro del ámbito de este proyecto de grado se necesitan:

- Temperatura ambiente antes de iniciar prueba
- Humedad presente en el ambiente
- Corrientes que fluye por los cables
- Temperatura de calentamiento de los cables en °C
- Resistencia de aislamiento antes y después de la prueba

Estas variables serían necesarias para llevar un histórico de datos de todas las muestras sometidas a pruebas las cuales pueden llevar a obtener una estimación más confiable de cómo se degrada el aislamiento de los cables utilizados en estas pruebas.

Para el trabajo de grado presentado se han utilizado algunos equipos de medición los cuales ayudan a obtener los valores de las variables antes mencionadas como por ejemplo:

- Amperímetros y voltímetros
- Medidor de temperatura y humedad
- Cámara termo-gráfica y
- Medidor de resistencia MEGGER

Este último de la lista es el más importante porque ayuda a obtener medidas de resistencia, que para el caso particular de este proyecto, es la resistencia de aislamiento de los cables sometidos a prueba de envejecimiento por sobrecarga eléctrica.

Si bien hay varios equipos que permiten la medición de este parámetro, debido a que la investigación y realización del proyecto se lleva a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, el equipo de medición de resistencia con el que cuenta es de la familia FLUKE tipo MEGGER 1550.

2.1.4. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En esta parte se analizan y evalúan los datos obtenidos en las mediciones del experimento, que es la medida de resistencia del aislamiento de los cables de muestra antes y después de las pruebas; se analiza en que afecta la sobrecarga eléctrica, la temperatura y la humedad en el aislamiento del cable y los posibles comportamientos de la muestra a lo largo de la prueba realizada. Por lo tanto se pone a consideración los siguientes puntos:

- Validación de datos
- Análisis de datos
- Análisis de los problemas hallados

A partir de lo señalado anteriormente se procede a analizar el comportamiento de las curvas que se originan de los datos obtenidos durante la experimentación y cuál es el mejor método matemático para obtener un modelo que pudiera indicar el comportamiento del aislamiento ante sobrecargas eléctricas en los cables sometidos a prueba.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO A IMPLEMENTARSE EN EL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD

En esta sección se detalla cuáles son los diferentes pasos a desarrollar en los ensayos con los distintos cables de prueba, como son la elección del número de pruebas a las que deben ser sometidos, tamaño de la muestra (longitud del cable) de los diferentes cables de prueba, tiempos de prueba (tiempo de sobrecarga diaria) y duración de los ensayos (días de duración de los ensayos), método de medida de la resistencia del aislamiento, entre otros aspectos técnicos.

Las sobrecargas serán generadas a través de fuentes de Corriente Alterna o transformadores que nos generen una corriente mínima de 25 Amperes y una corriente máxima de 150 A. Para el caso de experimentación planteada se utiliza una Soldadora alimentada a 220 Voltios, que en las más bajas condiciones de funcionamiento produce una corriente de aproximadamente 37,5 Amperios, razón por la cual se tuvo que utilizar una fuente adicional de corriente que como máximo entregaba 30 Amperios (que no garantizaba su uso para el ensayo de 1 hora deseado, es decir, la fuente no era muy robusta para soportar una hora en cortocircuito), en consecuencia de esto, se tiene un rango de aproximadamente de 7,5 Amperios que no

pueden ser solventadas más que con un aumento de sobrecarga inicial para los cable # 14 y 12 AWG, mayor al resto de muestras de cables # 8 y 19 AWG, en gráficas posteriores de sobrecarga se mostraran estos defectos.

El circuito para poder realizar las sobrecargas a los diferentes cables de prueba se observa en la Fig. 2-1, en el cual se observan que los empalmes de los cables con la soldadora se realizarán directamente con el uso de los terminales eléctricos tipo lagarto de la misma soldadora y por otro lado para los empalmes entre cable y cable se realizaran por medio de un Terminal Tipo Talón.

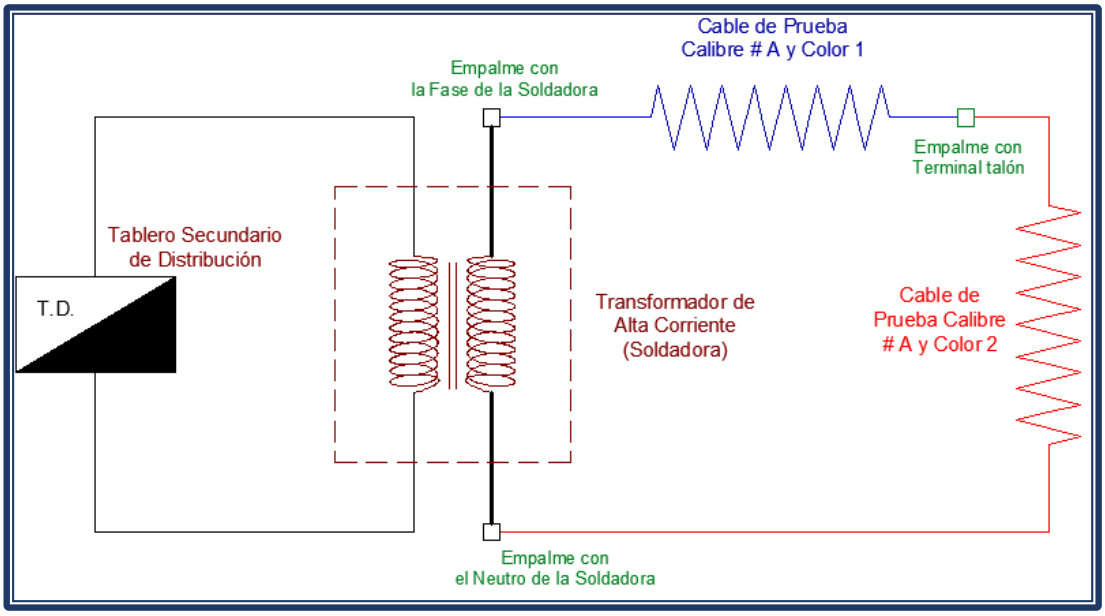

Figura 2-1: Circuito para ensayo.

2.2.1. DURACIÓN DE ENSAYO

La duración del ensayo implica el número de pruebas a las que serán sometidos los diferentes cables eléctricos THHN hasta degradar su aislamiento mediante sobrecargas.

2.2.1.1. NÚMERO DE PRUEBAS

Las pruebas de una hipótesis estadística se conocen con absoluta certeza cuando examinemos toda la población, pero esto es prácticamente, imposible realizarlo en la mayoría de las situaciones. Es por ello que se toman muestras aleatorias de la población de interés, y se utilizan los datos contenidos en esta muestra para proporcionar evidencia que apoye o no la hipótesis. La evidencia de la muestra que

sea inconsistente con la hipótesis que se establece conduce al rechazo de ésta. Considerando que una **Hipótesis Estadística** se conoce como una aseveración o conjetura con respecto a una o más poblaciones **[4].**

La decisión de aceptar o rechazar cierta hipótesis depende de la noción que tenga el investigador de la probabilidad de obtener una **Conclusión Errónea**. Es decir debe distinguir, que el rechazo de una hipótesis implica que la evidencia de la muestra la refuta o rechaza. Por otro lado, el rechazo significa que hay una pequeña probabilidad de obtener la información muestral observada cuando, de hecho, la hipótesis es verdadera **[4].**

La estructura de la **Prueba de Hipótesis** se formulará usando el término hipótesis nula, el cual se refiere a cualquier hipótesis que deseamos probar y se denota con H_0. El rechazo de H_0 conduce a la aceptación de una hipótesis alternativa, que se denota con H_1. La hipótesis alternativa H_1, por lo general, representa la pregunta que debe responderse, la teoría que debe probarse y, por ello, su especificación es muy importante. La hipótesis nula H_0 anula o se opone a H_1 y a menudo es el complemento lógico para H_1 **[4].** Se llega a una de las siguientes dos conclusiones:

- Rechazar H_0: a favor de H_1 debido a evidencia suficiente en los datos.
- No rechazar H_0: debido a evidencia insuficiente en los datos.

Teniendo en cuenta que, se comete un error al rechazar H_0 a favor de H_1 cuando, de hecho, H_0 es verdadera. Tal error se llama error tipo I, es decir; el rechazo de la hipótesis nula cuando es verdadera se llama error tipo I. y en cambio se comete otro error si aceptamos H_0 cuando de hecho es falsa. Éste se llama error tipo II, es decir, no rechazar la hipótesis nula cuando es falsa se llama Error Tipo II. La probabilidad de cometer un error tipo I, también llamada nivel de significancia, se denota con la letra griega α. Por otro lado, la probabilidad de cometer un Error Tipo II, que se denota con β, es imposible de calcular a menos que se tenga una hipótesis alternativa específica. Además, se debe de considerar que la probabilidad de cometer ambos tipos de errores se puede reducir al aumentar el tamaño de la muestra **[4]**. Se deben considerar algunas propiedades importantes de una prueba de hipótesis:

- Los errores tipo I y tipo II están relacionados. Por lo general, una disminución en la probabilidad de uno (α o β) tiene como resultado un incremento en la probabilidad del otro **[4].**
- El tamaño de la región crítica y, por lo tanto, la probabilidad de cometer un error tipo I, siempre se puede reducir al ajustar el(los) valor(es) crítico(s) **[4].**
- Un aumento en el tamaño muestral n reducirá a α y β de forma simultánea **[4].**
- Si la hipótesis nula es falsa, β es un máximo cuando el valor real de un parámetro se aproxima al valor hipotético. Cuanto más grande sea la distancia entre el valor real y el valor hipotético, β será menor **[4].**

LA ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA PROBAR MEDIAS

El tamaño de la muestra está íntimamente racionado con el nivel significancia α y la potencia de la prueba, esto con el fin de alcanzar un cierto estándar de calidad. La potencia de una prueba es la probabilidad de rechazar H_0 dado que una alternativa específica es verdadera. La potencia de una prueba se puede calcular como $1 - \beta$. El tamaño de la muestra se establece para lograr una buena potencia para una α fija y una alternativa específica fija. Esta alternativa fija puede estar en la forma de $\mu - \mu_0$ en el caso de una hipótesis que incluya una sola media, de o $\mu_1 - \mu_2$ en el caso de un problema que implique dos medias **[4].**

Para el caso de análisis; como son muestras únicas de cable y no se tiene ninguna experimentación preliminar (no se posee base de datos como referencia), aplica las Pruebas de Hipótesis sobre una Sola Media con varianza desconocida; que nos dice que:

*"Las pruebas sobre una media poblacional μ con σ^2 desconocida, como la estimación del intervalo de confianza, debería incluir el uso de la distribución **t de Student** la cual se desarrolla con las siguientes suposiciones" **[4]**:*

Las variables aleatorias $X1, X2, \ldots, X_n$ representan una muestra aleatoria de una distribución normal con μ y σ^2desconocidas. Entonces, la variable aleatoria tiene una distribución **t de Student** con $n - 1$ grados de libertad. La estructura de la prueba es idéntica a la del caso con σ conocida, con la excepción de que el valor σ en el estadístico de prueba se reemplaza con la estimación de S calculada, y la distribución

normal estándar se reemplaza con una distribución $\boldsymbol{t}$ [**4**]. Como resultado, para la hipótesis bilateral

$$H_0 : \mu = \mu_0,$$
$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

el rechazo de H_0 en un nivel de significancia α resulta cuando un estadístico $\boldsymbol{t}$ calculado

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \qquad (2.1)$$

excede $t_{\alpha/2,n-1}$ o es menor que $-t_{\alpha/2,n-1}$. Recordando que la distribución t es simétrica alrededor del valor cero. Así, esta región crítica de dos colas (bilateral) se aplica de forma similar a la del caso de σ conocida. Para la hipótesis bilateral (que considera Error de Tipo I y Tipo II) en un nivel de significancia α, se aplican las regiones críticas de dos colas. Para $H_1 : \mu > \mu_0$, el rechazo resulta cuando $t > t_{\alpha,\ n-1}$. Para $H_1 : \mu < \mu_0$, la región crítica está dada por $t > t_{\alpha,\ n-1}$.

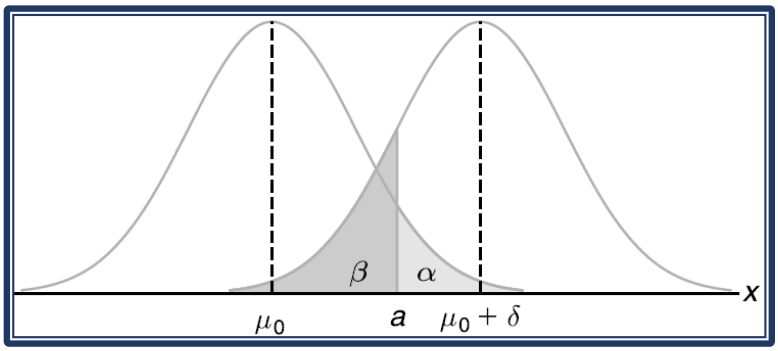

Figura 2-2: Prueba de $\mu = \mu_0$ contra $\mu = \mu_0 + \delta$ **[4].**

Supongamos que deseamos probar la hipótesis

$$H_0 : \mu = \mu_0,$$
$$H_1 : \mu > \mu_0$$

Con un nivel de significancia α cuando se conoce la varianza σ^2. Para una alternativa específica, $\mu = \mu_0 + \delta$, en la **Fig. 2-2**, se muestra que la potencia de la prueba es

$$1 - \beta = P(\bar{X} > \boldsymbol{a} \text{ Cuando } \mu = \mu_0 + \delta)$$

Por lo tanto,

$$\beta = P(\bar{X} < \boldsymbol{a} \text{ Cuando } \mu = \mu_0 + \delta)$$

$$\beta = P\left[\frac{\bar{X} - (\mu_0 + \delta)}{\sigma/\sqrt{n}} < \frac{a - (\mu_0 + \delta)}{\sigma/\sqrt{n}} \text{ Cuando } \mu = \mu_0 + \delta)\right]$$

Bajo la hipótesis alternativa μ= μ0 + δ, el estadístico

$$\frac{\bar{X} - (\mu_0 + \delta)}{\sigma/\sqrt{n}} \qquad (2.2)$$

es la variable normal estándar Z. Por lo tanto,

$$\beta = P\left(Z < \frac{\bar{a} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}} - \frac{\delta}{\sigma/\sqrt{n}}\right) = P\left(Z < Z_\alpha - \frac{\delta}{\sigma/\sqrt{n}}\right)$$

De donde:

$$-Z_\beta = Z_\alpha - \frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma} \qquad (2.3)$$

Y despejando el tamaño de la muestra: n, nos queda:

$$n = \frac{\left(Z_\beta + Z_\alpha\right)^2 \sigma^2}{\delta^2} \qquad (2.4)$$

El resultado es también verdadero cuando la hipótesis alternativa es $\mu < \mu_0$.

En el caso de una prueba de dos colas, obtenemos la potencia $1 - \beta$ para una alternativa específica cuando:

$$n \approx \frac{\left(Z_\beta + Z_{\alpha/2}\right)^2 \sigma^2}{\delta^2} \qquad (2.5)$$

- Finalmente, cuando se desconoce la varianza poblacional, la elección del tamaño de la muestra no es directa. Al probar la hipótesis $\mu = \mu_0$ cuando el valor real es $\mu = \mu_0 + \delta$, el estadístico

$$\frac{\bar{X} - (\mu_0 + \delta)}{\sigma/\sqrt{n}} \qquad (2.6)$$

no sigue la distribución t central, sino sigue la distribución t no central. Para ello, existen tablas o gráficas que se basan en la distribución t no central para determinar el tamaño adecuado de la muestra, si se dispone de alguna estimación de σ o si δ es un múltiplo de σ. En la ***Tabla 2.1*** se da conocer algunos de los tamaños muestrales necesarios para controlar los valores de α y δ para diversos valores de (2.7) para pruebas de una o dos colas; unilateral o bilateral respectivamente.

$$\Delta = \frac{|\delta|}{\sigma} \qquad (2.7)$$

Considerando que:

$$\Delta = \frac{|\delta|}{\sigma} = 0{,}5 \quad \text{y} \quad \beta = 0{,}20$$

Y además, como el caso de análisis está en relación a la prueba de hipótesis de una media y basado en pruebas bilaterales ($\alpha = 0{,}05$), tenemos que el Tamaño muestral para la prueba t de la media será de 34; es decir el tamaño muestral o de ensayos es de **34 Pruebas**, para cada muestra de cable como se observa en la ***Tabla 2-2.***

Tabla 2-1: Tamaño Muestral para la prueba t de la media **[4].**

NIVEL DE PRUEBA t																
PRUEBA UNILATERAL		$\alpha = 0{,}005$					$\alpha = 0{,}01$					$\alpha = 0{,}025$				
PRUEBA BILATERAL		$\alpha = 0{,}01$					$\alpha = 0{,}02$					$\alpha = 0{,}05$				
β		0,01	0,05	0,10	0,20	0,50	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50	,01	0,05	0,10	0,20	0,50
$\Delta = \frac{\lvert\delta\rvert}{\sigma}$	0,20										139					99
	0,25					110					90				128	64
	0,30				134	78				115	63			119	90	45
	0,35			125	99	58			109	85	47		109	88	37	34
	0,40		115	97	77	43		101	85	66	37	117	84	68	51	26
	0,45		92	77	62	37	110	81	68	53	30	93	67	54	41	21
	0,50	100	75	63	51	30	90	66	55	43	25	76	54	14	34	18
	0,55	83	63	53	42	26	75	55	46	36	21	63	45	37	28	15
	0,60	71	53	45	36	22	63	47	39	31	18	53	38	32	24	13
	0,65	61	46	39	31	20	55	41	34	27	16	46	33	27	21	12
	0,70	53	40	34	28	17	47	35	30	24	14	40	29	24	19	10
	0,75	47	36	30	25	16	42	31	27	21	13	35	26	21	16	9
	0,80	41	32	27	22	14	37	28	24	19	12	31	22	19	15	9
	0,85	37	29	24	20	13	33	25	21	17	11	28	21	17	13	8
	0,90	34	26	22	18	12	29	23	19	16	10	25	19	16	12	7
	0,95	21	24	20	17	11	27	21	18	14	9	23	17	14	11	7
	1,00	28	22	19	16	10	25	19	16	13	9	21	16	13	10	6

Tabla 2-2: Número de pruebas para cada muestra de cable**.**

CALIBRE AWG	NUMERO DE PRUEBAS
14	34
12	34
10	34
8	34
TOTAL	**136**

2.2.1.2. TIEMPO DE PRUEBA

Con relación al tiempo de duración de la prueba se determinó por medio de la norma IEC 60071-1 que nos dice: que para una tensión normalizada a baja frecuencia (frecuencia industrial de 50 o 60 Hz) con forma de onda sinusoidal (como en la ***Fig. 2-3***) con valor eficaz constante, para que cumpla con la condición de ser aplicada "permanentemente" tiene que ser 3600 segundos o 1 hora aplicada de dicha forma de tensión a los bornes de una configuración de aislamiento.

Este tiempo esta fomentado también, cuando se tiene que el objetivo de la prueba es conocer la ocurrencia del fracaso de un circuito que está fuera de servicio, para ello un tiempo extendido por lo general se toma hasta 1 hora. Por otro lado Si el objetivo es sólo para evaluar el circuito, entonces el tiempo se mantiene generalmente muy corto (unos pocos segundos). La experiencia también es la consideración en la decisión de tiempo en algunos casos. **[1].**

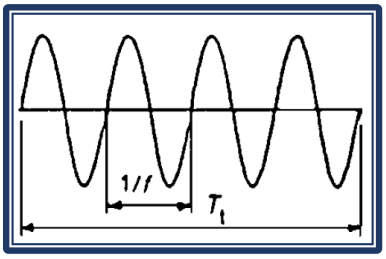

Figura 2-3: Forma de la onda de tensión a frecuencia industrial **[20].**

2.2.3. MUESTRA DEL CABLE

2.2.3.1. LONGITUD

La longitud o tamaño de la muestra del cable se determinó con analogía a la norma IEEE 82 que dice que para pruebas de resistencia del aislamiento mínima es 4,6

metros o 15 pies. Es por ello que para la experimentación se utilizó una longitud de cada cable de 5 metros.

2.2.3.2. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

La prueba se efectúa sobre la longitud total de la muestra y se debe realizar en seco para cables monoconductores con pantalla o cubierta metálica y en cables multiconductores; en tanto que para cables monoconductores sin pantalla o cubierta metálica se debe efectuar con la muestra sumergida en el tanque con agua, dejando fuera de ésta 60cm aproximadamente de cada extremo. Caso contrario si no se realzan pruebas en tanque se debe recubrir el cable con un material conductor para mejorar la medición **[10]**, en la experimentación se utilizó un recubrimiento de papal aluminio, simulando a una pantalla metálica de cables de alta tensión, la longitud de recubrimiento con papel aluminio de cada cable era de mínima 4.6 metros (Ver **Fig 2-4**).

A cada par de cables de igual calibre tomados como muestra se los introdujo dentro de una tubería de PVC (manguera negra de PVC), que son las que más comúnmente se utilizan en las Instalaciones Civiles de la ciudad de Cuenca, en especial en viviendas, pequeños edificios y/o comercios. Cabe señalar que la manguera solo cubría 4 metros de toda la longitud del cable, esto debido a que era mucho más fácil realizar las pruebas de sobrecarga y medición del aislamiento de los dichos cables (Ver **Fig 2-4**). El número de cables por tunería se basó en la norma internacional NEC y se muestra en la ***Tabla 2-3.***

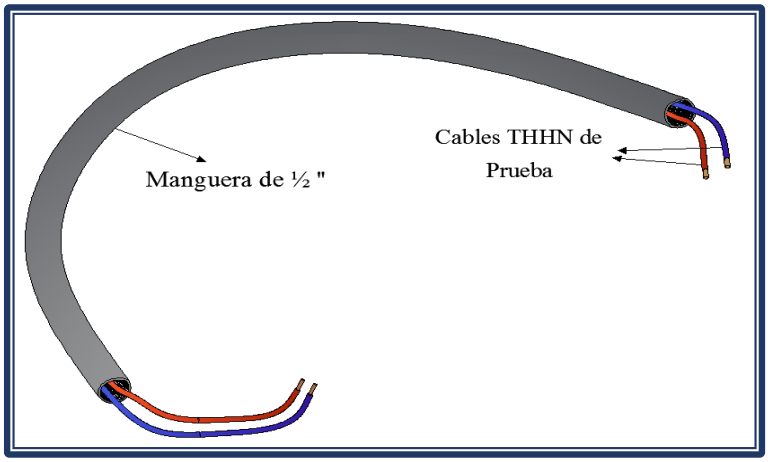

Figura 2-4: Cables preparados para el ensayo.

Tabla 2-3: Máximo número de cables THHN/THWN/THWN-2 de 90°c admisibles en tubería eléctrica no metálica **[12]**.

CALIBRES		CAPACIDAD DE CONDUCTORES POR TUBERÍA		
		NATIONAL ELECTRICAL CODE (NEC)		
		TUBERÍA DE 1/2" PULGADA	TUBERÍA DE ¾ DE PULGADA	TUBERÍA DE 1 PULGADA)
AWG	mm^2	MÁXIMA	MÁXIMA	MÁXIMA
14	2,08	11	21	34
12	3,30	8	15	25
10	5,25	5	9	15
8	8,36	3	5	9

2.2.4. TÉCNICA DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

Para la medición de la Resistencia de Aislamiento de los distintos cables se procederá a utilizar un instrumento electrónico conocido como MEGGER. Hay que considerar que dicho medidor de resistencia del aislamiento requiere cumplir con:

- Un error máximo de 10%
- Pueda leer (mostrar) un mínimo de 10 $M\Omega$,
- Suministre un potencial constante de 500 $Volts$ de $C.D$.

La normativa sugiere que el potencial a aplicar para la medición sea de 500 Vcd. Pero este valor de tensión también se seleccionó porque el aislamiento y chaquetas de los cables están diseñados para soportar un máximo de 600 V.

2.2.4.1. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La medición o valoración de la resistencia del aislamiento de un cable se puede realizar por medio de un probador o medidor de aislamiento llamado o conocido como **MEGGER,** que es un instrumento portátil que proporciona una lectura directa de la resistencia de aislamiento en ohms, mega-ohms o tera-ohms, independientemente del voltaje seleccionado **[24].**

Para un buen aislamiento, la resistencia generalmente da lectura en el rango de mega-ohms o más alto. El MEGGER es esencialmente un medidor de resistencia (óhmmetro) de rango alto con un generador de cd incorporado. El generador del

instrumento, que puede operarse por manivela manualmente, batería o por línea, desarrolla un voltaje de cd alto que ocasiona varias corrientes pequeñas a través y sobre la superficie del aislamiento que se prueba. La corriente total la mide el óhmmetro que lleva una escala de indicación analógica, lectura digital o ambas **[27].**

Para realizar la medición de aislamiento el MEGGER aplica un Tensión $(\boldsymbol{E})$ de prueba a través de una pieza de aislamiento, luego por medición de la corriente resultante $(\boldsymbol{I})$ y aplicando la ecuación (1.2), se puede calcular la resistencia de aislamiento $(\boldsymbol{R})$. Desdichadamente, fluye más de una corriente, que tiende a complicar las cosas **[25].**

Ley de Ohm:

$$R = \frac{E}{I} \qquad (2.8)$$

2.2.4.2. COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE PRUEBA

- **CORRIENTE DE CARGA CAPACITIVA**

Está familiarizado con la corriente requerida para cargar la capacitancia del aislamiento (cable) que se está probando. Esta corriente inicialmente tiene un valor elevado pero dura un tiempo relativamente corto, cae exponencialmente a un valor cercano a cero conforme el objeto en prueba se va carga. El material aislante se carga del mismo modo que el dieléctrico de un capacitor **[25].**

- **CORRIENTE DE ABSORCIÓN O POLARIZACIÓN**

La corriente de absorción está compuesta realmente hasta por tres componentes, que decaen con un índice de decrecimiento a un valor cercano a cero en un periodo de varios minutos.

1. La primera es ocasionada por una deriva general de electrones libres a través del aislamiento bajo el efecto del campo eléctrico **[25].**
2. La segunda es ocasionada por distorsión molecular por la que el campo eléctrico impuesto distorsiona la carga negativa de las capas de electrones que circulan alrededor del núcleo hacia el voltaje positivo **[25].**

3. La tercera se debe a la alineación de moléculas polarizadas dentro del campo eléctrico aplicado. Esta alineación es casi aleatoria en un estado neutro, pero cuando se aplica un campo eléctrico, estas moléculas polarizadas se alinean con el campo a un mayor o menor grado **[25].**

Las tres corrientes se consideran generalmente una sola y son afectadas principalmente por el tipo y las condiciones del material de unión usado en el aislamiento. Aunque la corriente de absorción se aproxima a cero, el proceso toma mucho más tiempo que con corriente capacitiva **[25].**

- **CORRIENTE DE FUGA SUPERFICIAL**

La corriente de fuga superficial se presenta porque la superficie del aislamiento está contaminada con humedad o con sales. La corriente es constante con el tiempo y depende del grado de ionización presente, que depende a la vez de la temperatura. Con frecuencia se ignora como corriente separada y se incluye con la corriente de conducción como la corriente de fuga total **[25].**

- **CORRIENTE DE CONDUCCIÓN**

La corriente de conducción es estable a través del aislamiento y generalmente se representa por un resistor de valor muy alto en paralelo con la capacitancia del aislamiento. Es una componente de la corriente de fuga, que es la corriente que se mediría cuando el aislamiento está totalmente cargado y tiene lugar la absorción plena. Nótese que incluye la fuga superficial, que puede reducirse o eliminarse por el uso de la terminal de guarda (que se analizará más tarde) **[25].**

La corriente total es la suma de estas componentes. (La corriente de fuga se muestra como una corriente). Esta corriente es la que puede medirse directamente por medio de un micro amperímetro o, en términos de Mega-Ohms, a un voltaje particular por medio de un probador de aislamiento MEGGER. Algunos instrumentos ofrecen las alternativas de desplegar una medición en términos de corriente o como una resistencia **[25].**

Debido a que la corriente total depende del tiempo que se aplica el voltaje, la Ley de Ohm (sólo se mantiene, teóricamente, para un tiempo infinito (lo que implica esperar para siempre al tomar una lectura). También es altamente dependiente del arranque

de un nivel base de descarga total. El primer paso en cualquier prueba de aislamiento es, por tanto, asegurar que el aislamiento esté completamente descargado **[25].**

2.2.4.3. CONEXIÓN DEL MEGGER FLUKE 1555

Antiguamente los instrumentos de medida para realizar eficientemente su función debía el medidor considerar su polaridad (positivo y negativo) debido a que se presenta un fenómeno poco conocido llamado electro-endósmosis que ocasiona una lectura más baja con la terminal positiva conectada al lado a tierra del aislamiento que se está probando que con la con la terminal negativa. En la actualidad debido al avance tecnológico en lo que a instrumentos de medida de resistencia de aislamientos se trata este fenómeno, aunque no es descartado, no produce mayores errores en las mediciones por lo que no interesa mucho su polaridad de conexión, pero siempre hay que considerarla para obtener los mejores resultados posibles, en la **Fig. 2-5** se puede observar como conectar el MEGGER a un cable conectado a tierra. En cambio en la **Fig. 2-6** se observa como conectar el MEGGER a un cable blindado **[24, 25].**

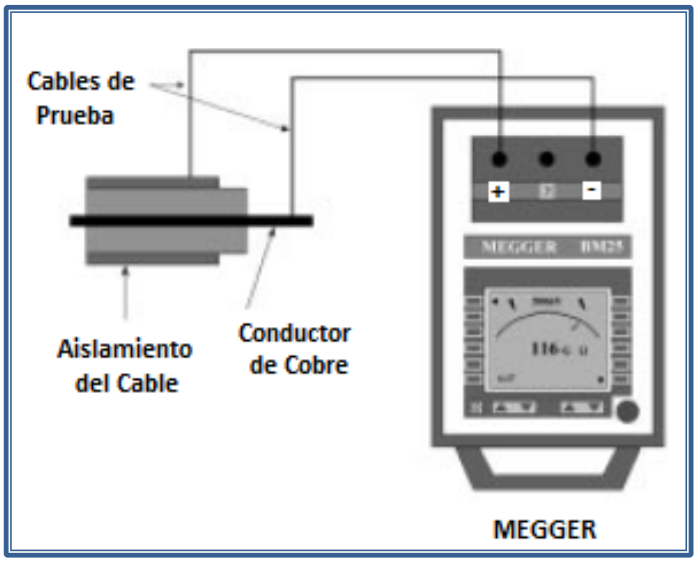

Figura 2-5: Conexión del MEGGER para medir la resistencia de aislamiento de un cable aterrado **[25].**

Cuando se utilizan medidores analógicos, conforme se incrementa el voltaje de prueba y el objeto (Cable) bajo prueba se aproxima a la ruptura, la descarga por efecto corona ocasionará que la aguja "tiemble", lo que indica al operador que se está acercando al voltaje máximo que resiste el objeto. Esta advertencia sucede a tiempo para terminar la prueba antes de que ocurra la ruptura real, y disminuyendo la vida

útil del objeto a prueba e incluso destruyéndolo. En cambio en los medidores digitales no presentan tal problema, ya que informan al operador exactamente (dentro de las especificaciones de exactitud de la unidad) que medición se ha tomado. Y se debe recordar, que la mayoría dará un valor de capacitancia al final de la prueba **[25].**

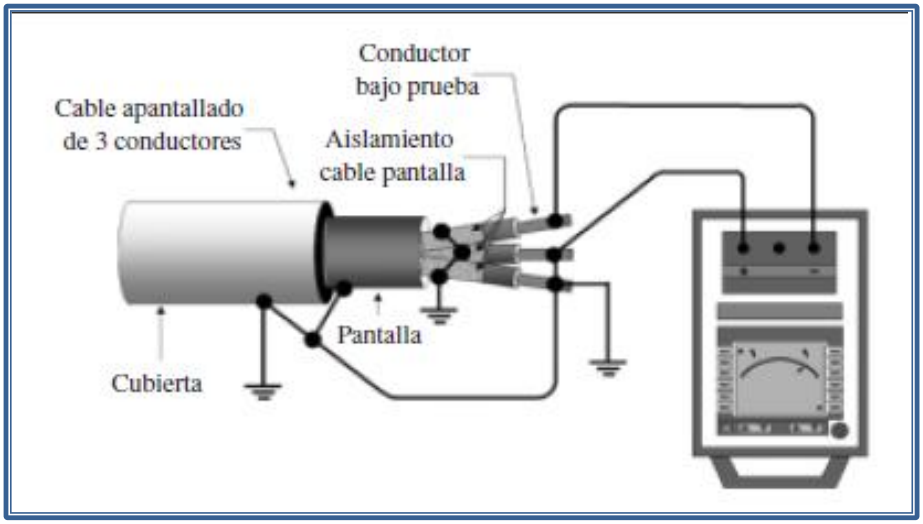

Figura 2-6: Conexión del MEGGER para medir la resistencia de aislamiento entre un conductor y tierra **[25].**

2.2.4.4. CARACTERÍSTICAS DEL MEGGER FLUKE 1555

- Pantalla grande de cristal líquido (LCD)
- Seis valores de tensión de prueba preestablecidos: 250 V, 500 V, 1.000 V, 2.500 V, 5.000 V y 10.000 V (sólo en el modelo 1555)
- Tensiones de prueba programables: de 250 V a 10.000 V (en incrementos de 50/100 V)
- Medición de resistencia: de 200 Kω a 2 TΩ
- Índice de polarización (PI)
- Índice de absorción dieléctrica (DAR, por sus siglas en inglés)
- Modo de rampa que incrementa linealmente (100 V/s) la tensión de prueba aplicada
- Temporizador de comprobación y memorización de los resultados de la comprobación con etiqueta de ID definida por el usuario
- Indicación de tensión de ruptura
- Batería recargable de plomo-ácido

- Corte automático después de 30 minutos de inactividad
- Puerto de infrarrojos (IR) para descargar datos de comprobación
- Software de PC (incluido)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MEGGER FLUKE 1555

La exactitud del Comprobador se ha especificado para 1 año una vez calibrado a temperaturas de funcionamiento de entre 0 °C y 35 °C. Para temperaturas de funcionamiento que se encuentren fuera del rango (de -20 °C a 0 °C y de 35 °C a 50 °C), sume el ±0,25% por °C, excepto en las bandas con un 20%, donde deberá sumar el ±1% por °C **[25].**

CARACTERÍSTICAS DE VOLTAJE DEL MEGGER FLUKE 1555

El voltaje de salida de un probador de aislamiento está en función de la resistencia que está midiendo. A resistencias bajas, el voltaje será cercano a cero, tal vez algunos volts. Conforme la resistencia de la carga se incrementa, así el voltaje de prueba se incrementará hasta que alcanza el voltaje requerido. Conforme la resistencia crece más, el voltaje de prueba aumenta hasta que se alcanza un valor estable. Este valor probablemente estará ligeramente en exceso del voltaje nominal requerido (por ejemplo, 5104 V cuando se selecciona 5000 V) **[24, 25].**

2.2.5. TIEMPO DE APLICACIÓN DEL POTENCIAL

Haciendo Referencia a la norma Mexicana NMX j 294 1984 luego de aplicada la tensión de prueba, después de un minuto tomar la lectura. En la mayoría de los equipos de medición se requiere aplicar inicialmente un tiempo de carga el cual generalmente es de 15 segundos, antes de aplicar el potencial al circuito de medición. El tiempo de carga requerido debe quedar incluido dentro del minuto total de la tensión aplicada. Pero como se obtuvieron datos de IP, el tiempo de Meggado fue de **10 minutos.** El propósito de medir el índice de polarización se detalla de mejor manera en la Sección 2.3.8.

Nota: Si el equipo para medir no está diseñado para medir automáticamente el IP. Debe de tomar el dato de resistencia al primer minuto y al final de la medición (10 min) y aplicar la ecuación (2.10). Aunque la debido al avance tecnológico la mayoría de los equipos modernos realiza este cálculo automáticamente, como es el caso del MEGGER FLUKE 1555, utilizado en este experimento.

2.2.5.1. PASOS PARA LA MEDICIÓN

1. Conectar la terminal negativa del equipo de medición al conductor bajo prueba
2. Conectar la terminal positiva del equipo a los demás conductores, pantallas, cubiertas metálicas o a la tina con agua según sea el caso y al electrodo de tierra.
3. Conectar el terminal de tierra si es necesario.
4. Tomar la lectura de la temperatura ambiente o la del agua, según sea el caso.
5. Verificar que las puntas del cable a medir su resistencia de aislamiento no estén haciendo tierra con ningún elementos como el piso, materiales conductores, entre otros.
6. Configura el equipo (Megger) para la respectiva medición del Índice de polarización (IP), iniciar la medición.
7. Guardar la medida en el equipo al terminar la medición (luego de 10 minutos), si lo requiere.

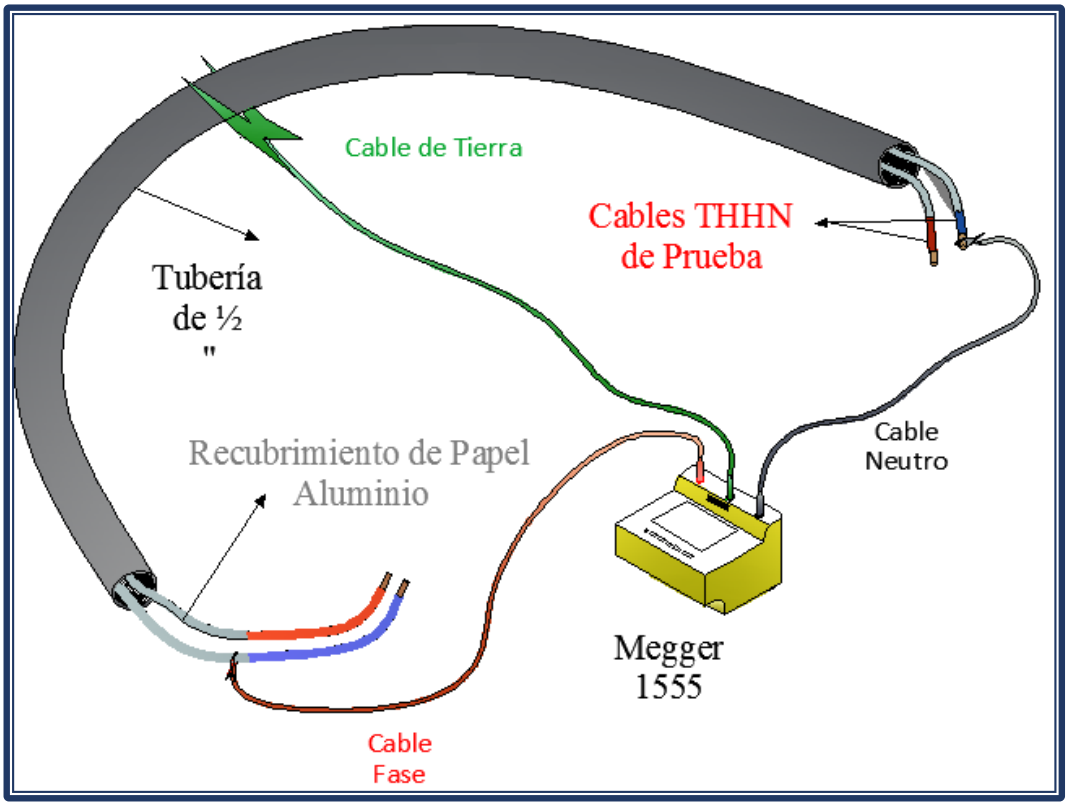

Figura 2-7: Esquema de MEGGADO de un cable de prueba**.**

Al final debe de quedar la conexión como se observa en la **Fig. 2-7.** Si no le convence la medición realizada puede esperar aproximadamente 5 minutos para que se descargue el Megger y vuelva a iniciar con la medición.

2.3. DECRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS A TOMAR

Una base de datos se utiliza para guardar grandes cantidades de información de forma organizada que luego permite encontrar de forma fácil y rápida cualquier registro de la información almacenada. Se compone de una o más tablas las cuales tienen una o más columnas, que son los campos y filas donde se registra la información, las columnas guardan parte de la información sobre cada elemento que se requiere en la tabla y las filas conforman todo un registro [1].

Como se describió en las secciones anteriores es importante tomar en cuenta ciertas cuantificaciones para el análisis de la degradación del aislamiento en los cables de estudio, es por eso que la base de datos a tomar cuenta con los siguientes parámetros, considerados importantes, para llegar a obtener los objetivos deseados del presente trabajo.

2.3.1. CONDICIONES AMBIENTALES

- **TEMPERATURA AMBIENTE**

La experiencia indica que la temperatura ambiente del aire en el exterior en lugares donde se utiliza equipo eléctrico no superan los 40°C. El promedio que alcanza durante cualquier periodo de 24h es generalmente de 5°C - 10°C más baja que el máximo; a efectos de asignación el valor de 40°C es el valor elegido como máximo al que llega la temperatura ambiente del aire en el exterior. Las pruebas para aislamiento sólido con MEGGER pueden hacerse a temperaturas que van desde los 10°C hasta los 40°C **[27].**

- **HUMEDAD**

Debido a que la humedad es un factor muy importante al momento de medir la resistencia no solo de aislamiento sino de cualquier elemento o aparato, es necesario tener una noción de su variación durante la medición. Cuando aumenta la humedad disminuye la resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad, es decir que la humedad es inversamente proporcional a la resistividad del elemento, en este caso del aislamiento y chaqueta del cable.

2.3.3. CONDICIONES ELÉCTRICAS

- **TENSIÓN, POTENCIA Y CORRIENTE DE PRUEBA**

La diferencia de potencial (tensión) aplicada a los extremos del cable es otro de los factores importantes que son necesarios medir en las pruebas de sobrecarga de un cable. Como los ensayos solo son de sobrecarga (sobrecorriente) y no de sobretensiones este parámetro puede mantenerse casi constante y pequeñas variaciones se pueden admitir, solo se debe de tener sumo cuidado en no superar el nominal de los cables que en este caso es de 600 V.

La corriente es el factor más importante a considerar en este ensayo y este va íntimamente ligado con potencia aplicada al circuito (manteniendo una tensión constante), se dice que es el más importante debido a que la temperatura del cable (la sobrecarga) es directamente proporcional al valor de corriente que circule por un conductor, esto por el efecto Joule.

2.3.7. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia al flujo de corriente directa por el material aislante es conocida también como resistencia del aislamiento y existen dos posibles caminos por donde la corriente puede fluir cuando se realiza una medición de resistencia de aislamiento **[26]:**

- La resistencia del aislamiento tipo volumétrica o la que fluye a través del cuerpo del aislamiento
- Sobre la superficie del material aislante o resistividad superficial

La **resistencia de aislamiento volumétrica** de un cable es la resistencia de corriente directa que ofrece el aislamiento a una tensión continua para producir un flujo radial de fuga a través del material aislante. Esta medida está expresada en mega ohmios por 1000 pies de cable para un diámetro de conductor dado y un espesor de aislamiento. Mientras más largo es el cable menor es el valor de la resistencia que se lee para un metro ya que existen más caminos paralelos para que fluya la corriente al suelo. La fórmula básica para encontrar la resistencia del aislamiento en un conductor de forma cilíndrica está expresada en (2.9) **[26]:**

$$IR = log10\frac{KD}{d} \qquad (2.9)$$

Dónde:

- IR= mega ohmios para 1000 pies de cable
- K= constante de resistencia de aislamiento
- D= diámetro sobre el aislamiento (bajo blindaje del conductor)
- D= diámetro debajo el aislamiento (cobre el blindaje del conductor)

Con el fin de obtener buenas medidas de la resistencia de aislamiento de un cable, éste debe ser encerrado en un escudo metálico con conexión a tierra o también sumergido en agua. Las mediciones de resistencia de aislamiento están muy influenciadas por la temperatura, mientras más alta es la temperatura, menor es la resistencia que presenta el material aislante del cable. La ecuación (2.9) se basa en valores e temperatura a 60°F **[26].**

Según la literatura los cables tienen dos terminaciones, las cuales pueden tener circulación de corriente sobre la superficie del material que se está realizando la prueba cuando se aplica voltaje al conductor. Esta corriente, que se suma a la que fluye a través del volumen del aislamiento, reduce aparentemente la resistencia del aislamiento a menos que las medidas estén destinadas a eliminar este flujo de corriente mientras las mediciones que se describieron anteriormente se estén realizando. Para esto se suele utilizar un circuito de guardia que elimina las corrientes de fuga de la superficie de medición de la resistencia volumétrica del aislamiento, en especial cuando las mediciones se las realiza en un laboratorio **[26].**

2.3.8. ÍNDICE DE POLARIZACIÓN

La resistencia del aislamiento se obtiene dividiendo la tensión directa aplicada durante cierto tiempo a un material aislante y la corriente total resultante (IT), ésta corriente se presenta como la suma de cuatro componentes que son: la corriente capacitiva (IC),la corriente de absorción o polarización (IP), la corriente de fuga superficial (IF) y la corriente de conducción (IO). El circuito equivalente a esta descripción se muestra en la **Fig. 2-8 [28].**

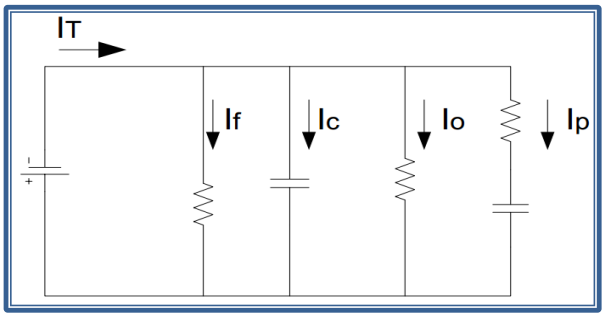

Figura 2-8: Circuito Equivalente de las Componentes de la Corriente total en DC **[31].**

El índice de polarización es el coeficiente entre la resistencia medida después de haber aplicado voltaje o tensión directa durante diez minutos y la resistencia medida después de haber aplicado tensión directa durante un minuto, como se expresa en (2.10):

$$IP = \frac{R_{en\ 10\ min}}{R_{en\ 1\ min}} \qquad (2.10)$$

También es posible definir tiempos de medición diferentes según se requiera para poder estimar el IP. La medida del índice de polarización es un indicativo de la velocidad a la que varía el valor de la resistencia del aislamiento en un cable, ya que por lo general la corriente tiende a disminuir con el tiempo pero la velocidad a la que ésta disminuye cambia según el estado en que se encuentre el material aislante al que se está aplicando la prueba **[28].**

2.3.9. TEMPERATURA DEL CABLE

La temperatura de un sistema de aislamiento se establece mediante pruebas, que es lo que se quiere determinar mediante la experimentación para este proyecto de grado; o por la experiencia de servicio de un sistema de aislamiento en particular. La limitación de la temperatura de aislamiento es útil como punto de referencia o índice que ayuda a la selección de los límites prácticos del aumento de temperatura observable, incluidas en normas de equipos específicos que están por ser probados y calificados. Normalmente no se puede medir este tipo de límites en el transcurso ordinario de pruebas o en la operación del equipo eléctrico **[27].**

Las temperaturas más importantes a tener en cuenta son la que el cable llega dentro de la tubería y la que alcanza sin tubería, estas 2 sin recubrimiento del cable con papel aluminio. Con el fin de tener mejores datos para su posterior análisis, la plantilla permitirá tomar datos de las temperaturas mencionadas anteriormente cada 5

minutos; esto tanto para cuando se está calentando el cable (cable en prueba de sobrecarga aplicando corriente), como para cuando se está enfriando.

Todos los parámetros descritos, conforman la base de datos a tomar para luego realizar el análisis respectivo de la degradación del aislamiento de los cables en estudio, en la ***Tabla 2-4*** se muestra el esquema de mencionada base de datos.

Adicionalmente, la plantilla de datos constara con datos como:

- Fecha y hora de prueba.
- Número de prueba.

Tabla 2-4: Esquema de base de datos a tomar.

TEMPERATURA AMBIENTE	HUMEDAD	CORRIENTE	TENSIÓN	POTENCIA	RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO EN ENFRIAMIENTO		ÍNDICE DE POLARIZACIÓN EN ENFRIAMIENTO	RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO EN FRIO		ÍNDICE DE POLARIZACIÓN FINAL EN FRIO	TEMPERATURA DEL CABLE SIN TUBERIA	TEMPERATURA DEL CABLE EN TUBERIA	TIEMPO
					1 MIN	10 MIN		1 MIN	10 MIN				
GRADOS CENÍGRADOS (°C)	%	AMPERIOS (A)	VOLTS (V)	VATIOS (W)	GIGA - OHMS	GIGA - OHMS		GIGA - OHMS	GIGA - OHMS		GRADOS CENTÍGRADOS (°C)	GRADOS CENTÍGRADOS (°C)	(Min)
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
											*	*	5
											*	*	10
											*	*	15
											*	*	20
											*	*	25
											*	*	30
											*	*	35
											*	*	40
											*	*	45
											*	*	50
											*	*	55
											*	*	60
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0
											*	*	5
											*	*	10
											*	*	15
											*	*	20
											*	*	25
											*	*	30
											*	*	35
											*	*	40
											*	*	45
											*	*	50
											*	*	55
											*	*	60

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las siguientes secciones se presentan los resultados de las mediciones de resistencia de aislamiento de conductores eléctricos aislados, corrientes y temperaturas máximas soportadas e Índice de Polarización obtenidos a partir de los ensayos realizados para analizar la degradación del aislamiento en los cables de mayor utilización en las instalaciones civiles de la ciudad de Cuenca, todo en base a la metodología planteada en el *Capítulo II*. Para la determinación de vida útil del cable se contemplan por medio de regresiones matemáticas temperatura debido a que las temperaturas alcanzadas en cada ensayo son diferentes a la temperatura de operación normal de un cable en particular.

3.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

3.1.1. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ENSAYO

Las mediciones de la resistencia del aislamiento, después de la prueba de sobrecarga eléctrica, se realizaron en 2 muestras tomadas de cada cables Calibres números 14, 12, 10, 8 AWG; los cuales ya fueron establecidos en el Capítulo 1.

Se tomó una medida base para saber el valor al que se encontraba la resistencia del aislamiento de los cables de muestra antes de ser sometidos a las pruebas de envejecimiento a partir de sobrecarga eléctrica, además de los tener los respectivos valores normalizados, que están en aproximadamente $175\ M\Omega$ en su valor más bajo para las cuatro muestras (Medida hecha en agua a temperatura ambiente de 15,6°C). Con el fin de identificar las variaciones o tendencias de cómo se degrada el aislamiento de los cables observados, se tomaron mediciones en enfriamiento, refiriéndose a las medidas obtenidas minutos (entre 20 y 30 minutos) después de la prueba; y mediciones en frío, horas después de la sobrecarga y minutos antes de la siguiente sobrecarga, es decir, medidas que se obtuvieron pasadas algunas horas de reposo después del test.

En las **Fig. 3.1 – Fig. 3.4** se presentan las curvas resultantes de las pruebas realizadas a los cuatro cables de muestra, en donde el eje de las ordenadas corresponde a la

resistencia del aislamiento en $Giga - Ohmios$ (GΩ) y el eje de las abscisas al tiempo de prueba que para este proyecto se establece como el número de días que se realizaron las pruebas de envejecimiento y posterior destrucción del aislante del conductor.

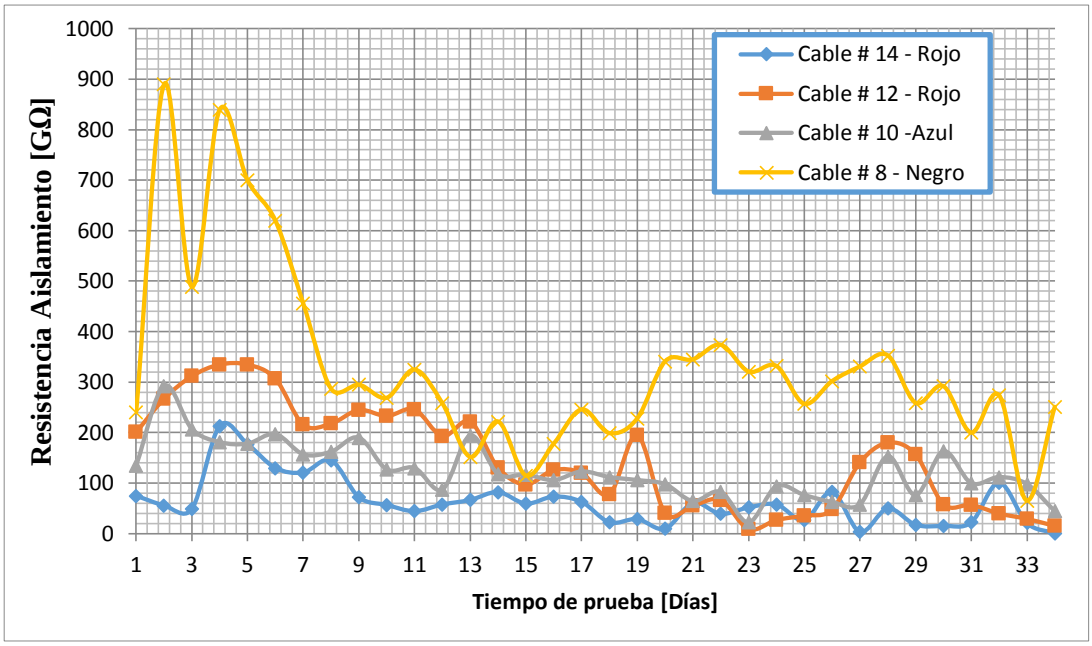

Figura 3-1: Medidas en frío de la degradación de la Resistencia del Aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan la fase en una instalación.

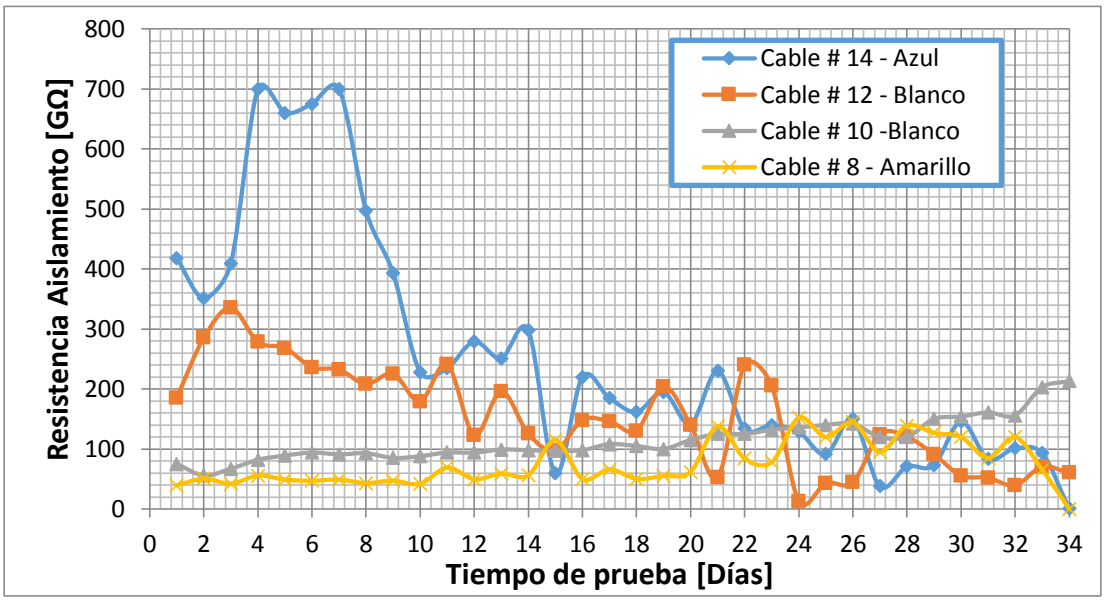

Figura 3-2: Medidas en frío de la Degradación de la Resistencia del Aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan el retorno en una instalación.

De las cuatro muestras sometidas a envejecimiento acelerado se observa que las primeras mediciones, en su mayoría entre el cuarto y quinto día de prueba, presentan

una variación súbita, con aumento de la resistencia de aislamiento antes de decrecer nuevamente con las pruebas siguientes. Es posible que este fenómeno se deba a que el proceso de secado de los cables se completó durante las primeras pruebas de sobrecargas eléctricas que se realizaron. Este proceso de secado existe por el cambio de las condiciones del aislante que recubre al cable; esto debido a varios factores que entre los cuales destacan, la temperatura y la humedad presentes en el ambiente, los cuales pueden reducir la características aislantes (GΩ) de los cables o muestras.

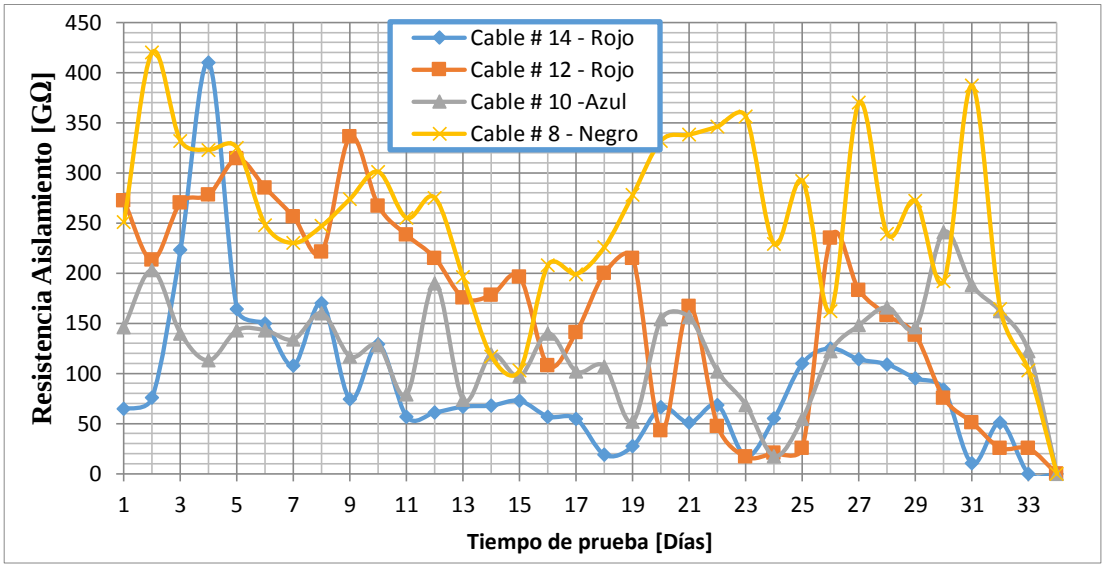

Figura 3-3: Medidas en Enfriamiento de la Degradación de la Resistencia del aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan la fase en una instalación.

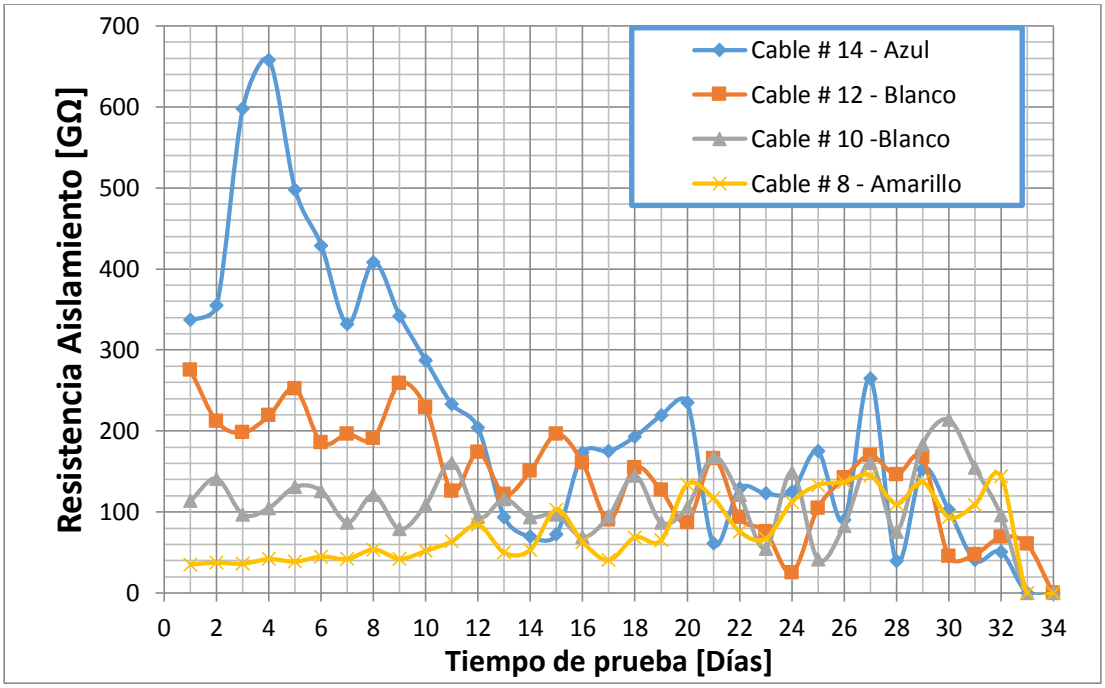

Figura 3-4: Medidas en Enfriamiento de la Degradación de la Resistencia del aislamiento en función del tiempo de prueba para los cables que simulan el retorno en una instalación.

A lo largo de las pruebas de envejecimiento acelerado todas las formas de las curvas de los cables tienden a decrecer conforme cada día se aumente la sobrecarga eléctrica, cuyo procedimiento se detalló en el Capítulo 2. En las gráficas presentadas, lo que más se destaca es la variabilidad de las curvas, las cuales también presentan picos extremos con valores atípicos al comportamiento de caída que se observa en la curva según aumentan los días en que se realizan las pruebas a las muestras. Este tipo de comportamientos se pudieron haber dado por las siguientes circunstancias:

- El material aislante recupera parte de las características pérdidas durante la prueba de sobrecarga eléctrica, lo cual no permite que haya un constante decrecimiento de la curva, presentando aumentos y disminuciones durante el proceso de envejecimiento.
- Los valores atípicos pueden estar justificados por errores en la medición de la resistencia del aislamiento después de la prueba, los cuales en su mayoría pueden ser errores por el factor humano debido a la falta de experiencia y precaución de todos los elementos a tomar en cuenta antes de realizar la medición.
- Variaciones en las condiciones ambientales (temperatura y humedad) del taller que se utilizó como laboratorio de ensayos de sobrecarga.

Como se introdujo, se tomaron mediciones durante el enfriamiento del cable, es decir, minutos después del test en donde el tiempo específico al cual se realizaron éstas fue variable de entre 20 y 30 minutos; y en frío en donde las medidas se obtuvieron horas después de haber sometido la muestra a la prueba de envejecimiento acelerado. Haciendo una comparación de todas las **Fig. 3.1 a 3.4**, las curvas obtenidas por las mediciones en enfriamiento de la resistencia de aislamiento (**Fig. 3-1** en especial) presentan un comportamiento muy variable y es casi imposible determinar una tendencia de decrecimiento, que nos aproxime lo más posible a la realidad el comportamiento de dicha resistencia de aislamiento en el tiempo. Estos cambios tan pronunciados que se presentan, lleva a enfrentarse ante una situación conflictiva para el análisis durante este periodo de medición., estos cambios probablemente son provocados por falta del tiempo necesario para el enfriamiento

completo de la muestra, el cual se podría fijar como mínimo de una hora (tiempo que según la **Fig. 3-19** mostrada en incisos posteriores, sería apropiada para la medición de la resistencia de aislamiento ya que el cable alcanza su temperatura nominal sin operación, temperatura que comúnmente esta próxima a la del ambiente**.**), esto no solo para que el cable alcance su temperatura mínima, sino para que el laboratorio de pruebas también alcance la temperatura ambiente; el porqué de esperar que el lugar llegue a esta temperatura, es decido a que:

- Se utilizó una soldadora de hasta 300 Amperios en su secundario (a 72 Voltios) y por ende los sistemas acoplados a la soldadora, producían una gran cantidad de viento caliente o tibio, dependiendo de la corriente que está suministrando al circuito de prueba.

La resistencia de aislamiento de un material es un término que abarca las mediciones que se realizan ante un conjunto específico de condiciones definidas, éste término está relacionado tanto con la resistencia volumétrica y la resistencia de superficie del material de aislamiento como se explicó en el capítulo II. La resistividad volumétrica, la resistencia de aislamiento y las otras propiedades indicadas anteriormente son influenciadas por el contenido de humedad, la tensión, el tiempo de la tensión aplicada y la temperatura **[1].**

Cabe destacar que el comportamiento de la resistividad volumétrica tiende a aumentar con la disminución gradual de la temperatura, lo cual indica que las condiciones de medición son de vital importancia para saber cómo comparar la información ante diferentes tipos de aislamientos, una razón más por la cual las curvas obtenidas de las mediciones en enfriamiento presentan cambios tan pronunciados y variables **[1].**

Es por esto que para obtener un análisis adecuado de los datos se priorizarán las curvas obtenidas por las mediciones de la resistencia del aislamiento de los cables de muestra en frío, además de que éstas condiciones se asemejan a los comportamientos reales de un cable, el cual puede estar sometido a sobrecargas eléctricas en una instalación común, donde el accionamiento de las protecciones pueden corregir este escenario de falla, sin embargo el aislamiento puede quedar sensible y perder parte de sus características aislantes, las cuales puede restituirlas en parte luego de cierto tiempo.

3.2.1. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE PRUEBA

El índice de polarización es la variación en el valor de la resistencia de aislamiento con el tiempo, es el cociente de la división entre la resistencia de aislamiento a un tiempo t_2 y la resistencia de aislamiento a un tiempo t_1, que generalmente es de 1 y 10 minutos, respectivamente Es también un indicativo de velocidad a la cual varía el valor de la resistencia del material aislante que rodea a un conductor, ya que la velocidad a la que disminuye la corriente de prueba cambia según el estado en que se encuentre el aislante del cable, como se explicó en la Sección 2.3.8.

La norma IEEE 43-2000 define valores mínimos de IP para aislantes sólidos en las máquinas rotativas, que para el caso en estudio se tomarían los mismos valores al tratarse de aislantes del tipo sólido presentes en los cables de muestra. De forma general un índice IP superior a 4 es señal de que el aislamiento se encuentra en excelente estado, mientras que un índice IP inferior a 2 indica un problema grave y que merece ser atendido. Las curvas obtenidas de la evolución del índice de polarización del material aislante de las muestras durante la realización de las pruebas de envejecimiento acelerado se muestran en las **Fig. 3.5 a 3.6.** Se consideran los valores de IP de la norma IEEE 43 debido a que como son motores y la mayor parte de estos trabajan en condiciones más estrictas que las instalaciones eléctricas, se puede decir que envejecerían con mayor impacto al aislamiento eléctrico de sus conductores. Esto se puede decir porque un motor opera en ambientes que contienen polvo, humedal, aceites., combustibles además de trabajar a nivel industrial a potencias y tensiones más elevadas que los cables de una instalación civil que comúnmente no poseen condiciones tan extremas, conociendo que a mayor contaminación del ambiente de trabajo se reduce el valor de su resistencia eléctrica.

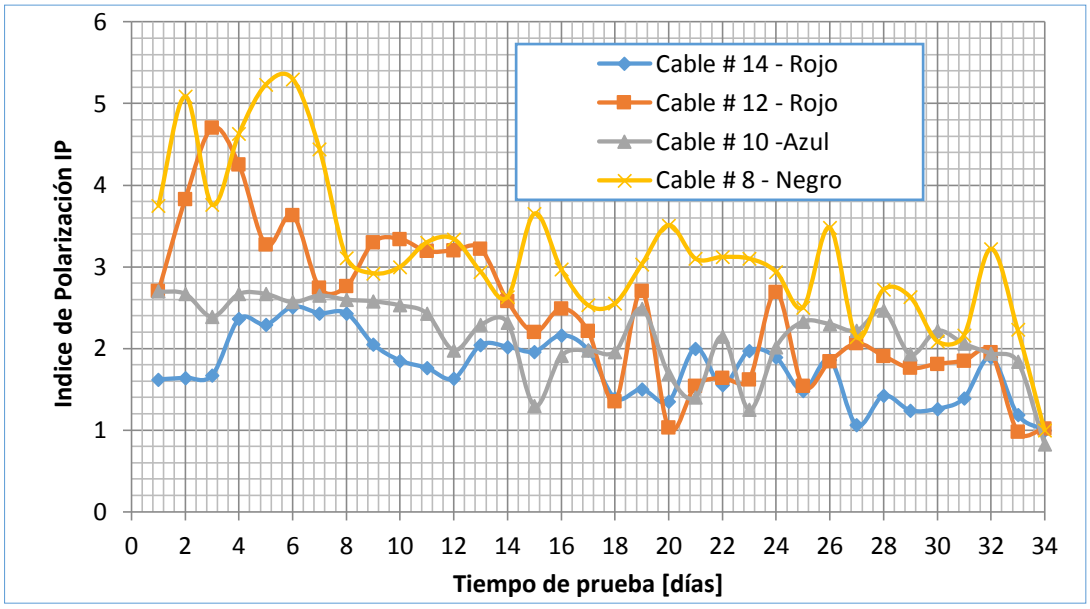

Figura 3-5: Medidas en frío de la Evolución del índice de Polarización *IP* en función del tiempo de prueba para los cables que simulan la fase en una instalación.

Según se muestra en las dos gráficas (**Fig. 3-5** y **3-6**), las curvas del índice de polarización muestran valores extremos según las medidas tomadas en las primeras pruebas. Éste fenómeno, así mismo, pudo ocurrir debido a que el cable por ser nuevo entro en proceso de secado hasta llegar a secarse completamente tal como se presentó en las mediciones de la resistencia del aislamiento, lo cual representa que tan ligadas están las medidas mencionadas con el índice de polarización.

Cabe diferenciar que los cables de calibres 8 y 12 AWG de los colores que representan la fase en una instalación y los calibres 14 y 12 AWG de los colores que representan el retorno presentan éstos puntos extremos durante las primeras mediciones en donde se puede argumentar que los cables necesitaron completar un proceso de secado para comenzar a bajar el índice de polarización del aislamiento con la aplicación de las pruebas siguientes. Aunque los valores extremos atípicos pudieron darse por causas mencionadas en la sección 3.1.1 las curvas presentan un notable decrecimiento conforme avanzan las pruebas hasta llegar a un punto en que el material aislante del cable de muestra ya no sirve.

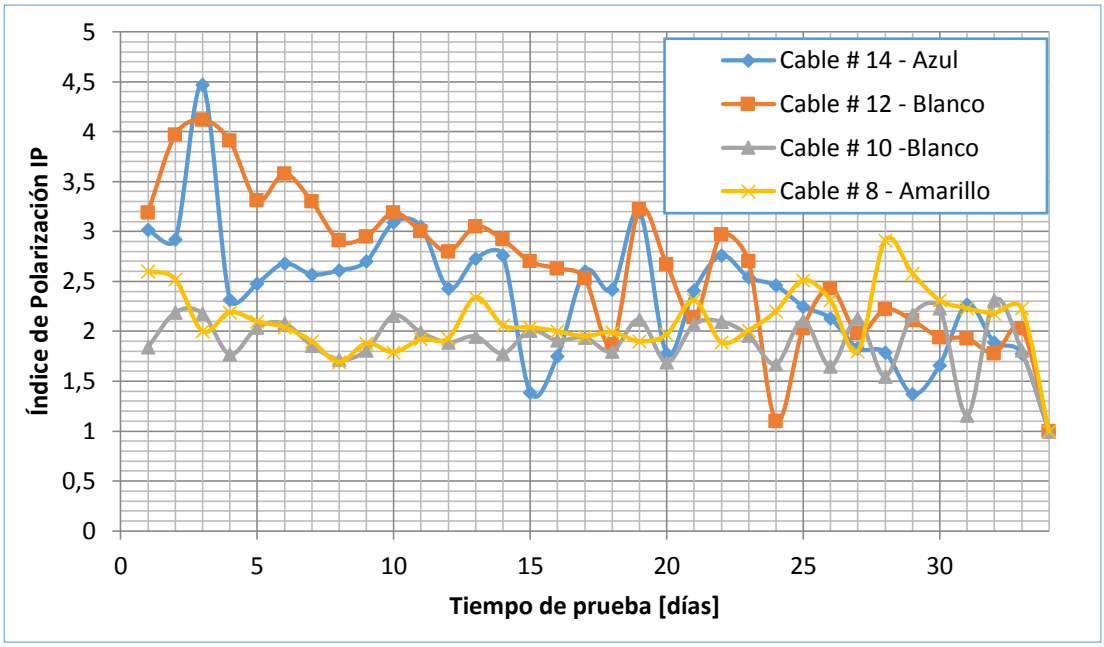

Figura 3-6: Medidas en frío de la Evolución del índice de Polarización *IP* en función del tiempo de prueba para los cables que simulan el neutro o retorno en una instalación.

Las curvas de los cables de calibres 10 y 14 AWG que simulan la fase, y los calibres 8 y 10 AWG que simulan el retorno presentan un decrecimiento moderado, bajo y constante en ciertos días de prueba hasta que el aislante se dañó completamente y cayeron las medidas a valores donde el IP indica que el aislamiento está completamente dañado.

Se puede observar que para los días de prueba 5 hasta 14 el IP no tiene variaciones significativas para todos los cables (están entre un rango de 1,69 y 3,58). Es decir cuando los cables alcanzan su valor de temperatura de operación Nominal de 90°C hasta los 100°C, esto a excepción del Cable # 14 que alcanzo temperaturas de hasta 120°C. Por otro lado, los valores pequeños de IP presentes en el cable # 8 Amarillo se podrían haber presentado ya que, en este rango de días de prueba (la mitad de días) aun no alcanzaba su temperatura nominal de 90°C y por lo podría haber estado todavía en un proceso de secado, que en el resto de cables fue más rápido por su menor calibre y las temperaturas alcanzadas en la sobrecarga, e incluso como eran casi todos los cable eran de distintos fabricantes podrían ser sus características constructivas, físicas o químicas, sin dejar de lado la ambientales.

Los valores IP mayores a 4 se presentaron posiblemente por el proceso inicial de secado, que en cables nuevos es lógico porque seguramente no han sido sometidos a

temperaturas de calentamiento interno o externo (sobrecarga o pruebas de fábrica en hornos, respectivamente). En cables viejos usados o en utilización este proceso puede ser que sea menos probable de observar, ya que con la circulación continua de corriente en condiciones normales puede secar poco a poco el cable.

3.1.3. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA CORRIENTE QUE SOPORTA EL CABLE

Con el fin de conseguir datos de diferentes escenarios de funcionamiento en **Sobrecarga** de cada uno de los Cables de Prueba (Números 14, 12, 10 y 8 AWG) la corriente (de sobrecarga) se fue elevando de la forma como la mostrada en la **Fig. 3-7.** En esta figura se puede notar que a los cables de menor calibre como son el 14 y 12 AWG la corriente se las aumento de una menos pronunciada que los calibres más gruesos como el 10 y 8 AWG.

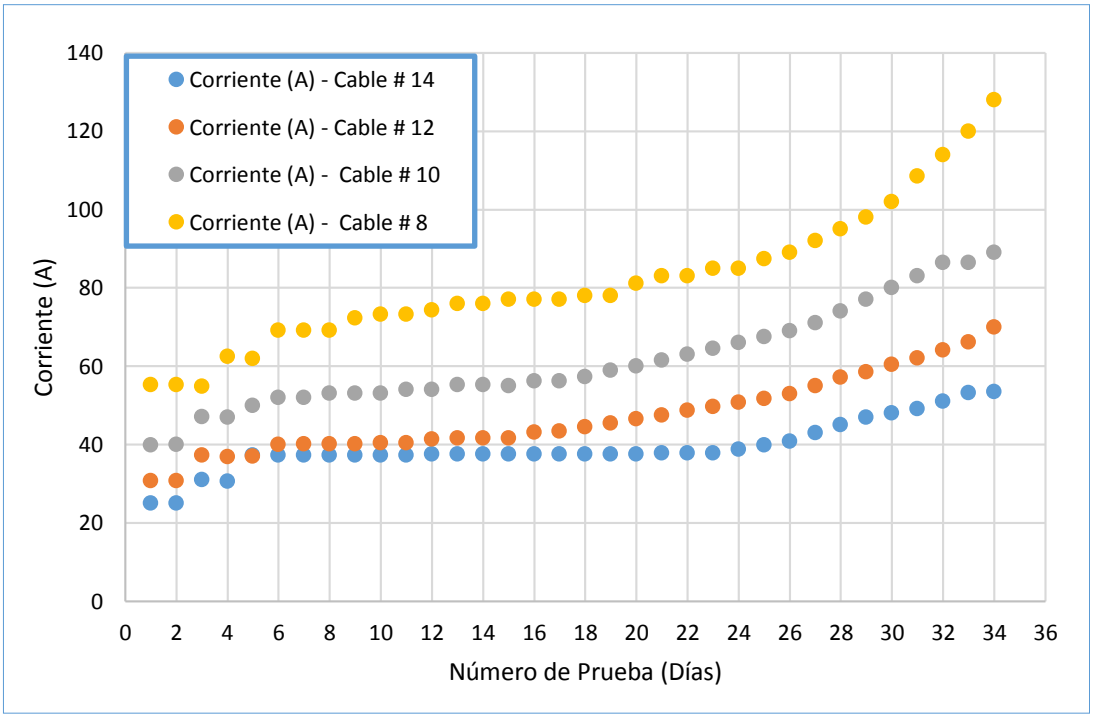

Figura 3-7: Comportamiento de la Corriente en relación al día de prueba.

El IP es una mejor medida del comportamiento del aislamiento no solo de un cable sino de cualquier elemento o equipo, ya que es una medida que **RELACIÓN DOS VALORES DE RESISTENCIAS** tomados en un tiempo considerablemente pequeño en donde se tiene menores probabilidades de cambios excesivos en el clima (Temperatura y Humedad), que, en cambio cuando se toma un solo valor de resistencia, ya sea a 1 minuto a o los 10 minutos las variaciones de resistencia serían más pronunciadas esto ya que de un día a otro (a la misma hora del día) la Temperatura y la Humedad son muy improbables que se aproximen y peor aún que sean iguales.

Una Sobrecarga produce sobrecorrientes, que no es más corriente de lo normal o nominal a la que trabaja cierto elemento o equipo (en este caso el valor nominal de los cables); las sobrecorrientes conllevan al calentamiento de los conductores y/o cables, cuando estos últimos son sometidos a la sobrecorriente pueden averiar su aislamiento. Si el deterioro del aislamiento es severo y progresivo puede producir un arco eléctrico provocando incendio, destruyendo total o parcialmente la instalación y equipos asociados a ella. Las sobrecargas son producidas por altas transferencias de energía que proporcionan aumentos considerables de corriente y que producen a su vez efectos mecánicos destructivos. Por otro lado una sobrecorriente puede ser una corriente de sobrecarga o generada a partir de un Cortocircuito **[33, 34].**

Conociendo que una Sobrecarga genera una Sobrecorriente que no es más que una corriente que sobrepasa la nominal del cable de prueba, se puede observar en la **Fig.3-8** el porcentaje de sobrecarga generado al aplicar las diferentes sobrecorrientes mostradas en la **Fig.3-7.**

En la **Fig.3-8** se observa que la sobrecarga que alcanzo cada uno de los cables supera el 100 %, pero cabe destacar que al sobrepasar este valor los cables están más propensos a que se dañe drásticamente su aislamiento (hasta se puede llegar a fundir completamente el termoplástico y el Nylon).

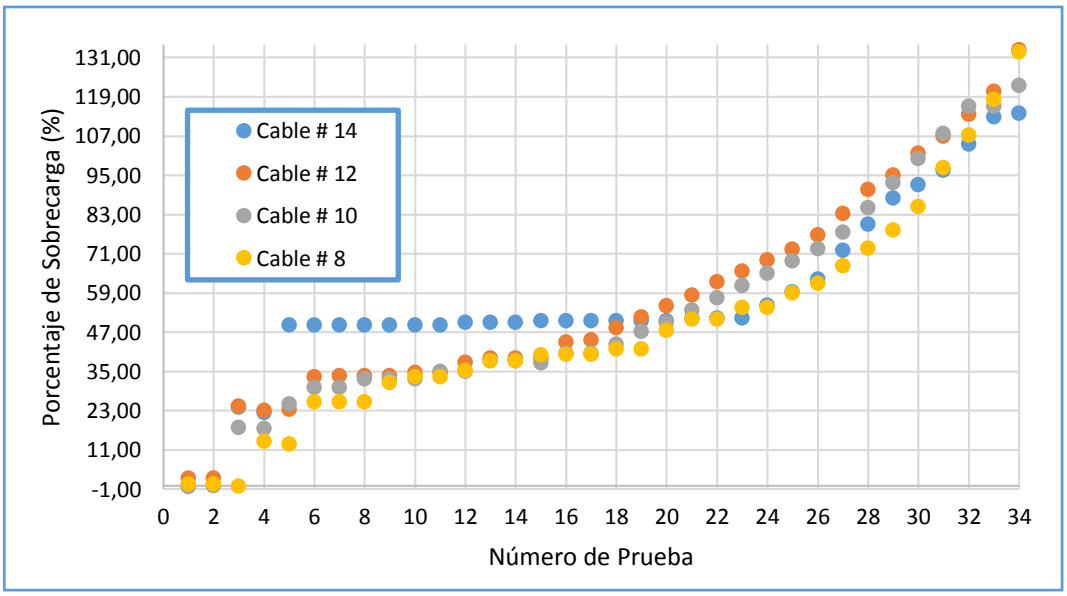

Figura 3-8: Sobrecarga a cada Cable de Prueba

Con este aumento progresivo de la corriente cada uno de los cables tiene una variación de su aislamiento que en la mayoría de los casos es notorio su reducción. Estas diferencias en las variaciones se explicarán a continuación.

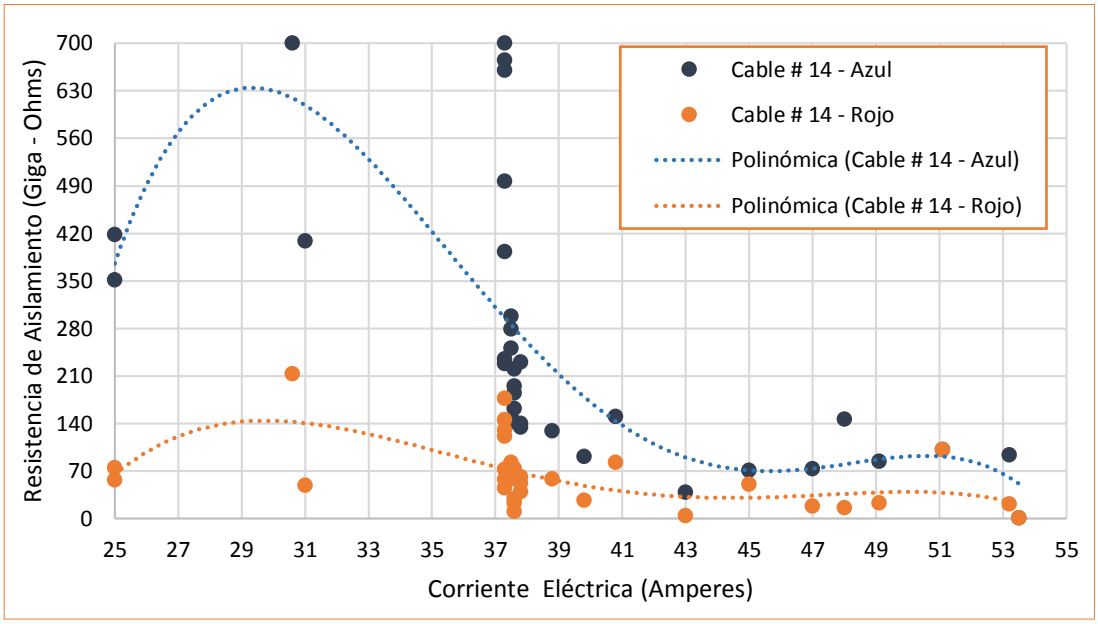

Figura 3-9: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los Cables $THHN$ # 14 AWG en relación a la Corriente de Sobrecarga.

En la **Fig. 3-9** se puede observar para un valor de entre 37,3 y 37,6 Amperios la Resistencia del Aislamiento del cable Azul # 14, oscila en un rango de 141,8 y 298 Giga – Ohms (GΩ), con lo que se podría decir que una sobrecarga de entre 49,2 % y 50,4 % para este cable es la máxima admisible ya que la resistencia se mantiene en ese rango y en algunos casos es mucho superior (llegando a valores de hasta 700 GΩ), lo cual da a conocer que el cable aún conserva buen aislamiento (ya que se tiene un IP promedio de 2.52), pero hay que considerar las condiciones de funcionamiento que para este caso fueron: una temperatura ambiente de alrededor de 20,82°C y una humedad de igual forma aproximada al 49,3 %.; estos dos parámetros son muy importantes al momento de realizar las mediciones de Resistencia del aislamiento, ya que, como se mencionado en secciones anteriores, una variación de estos genera una variación de la resistencia.

Por otro lado para el cable Rojo # 14 de igual manera en la **Fig. 3-9** se puede observar para valores de 37,3 y 37,5 Amperios la Resistencia del Aislamiento del cable Azul # 14, oscila en cambio en un rango de 44,6 y 145 Giga – Ohms (GΩ), con lo que se podría decir que una sobrecarga de entre 49,2 % y 50,0 % para este cable es

la máxima admisible ya que la resistencia se mantiene dentro de ese rango y que de igual forma puede llegar en algunos casos a valores de hasta 177 GΩ), lo cual nos da a conocer que el cable aún conserva un buen aislamiento (ya que se tiene un IP promedio de 2.0 y oscilante entre 1,63 a 2,51), pero en iguales condiciones de medida que el cable # 14 azul. Cabe destacar que para nosotros un buen aislamiento debe estar en rangos aceptables a los que nos dice la Norma UL 83 y 1581, además de basarnos en la medida inicial del cable; es decir cuando esta "nuevo".

A estos cables de prueba # 14, se les trato de distinta manera que al resto de muestras debido a que no se contaba con una fuente de corriente lo bastante robusta como para que soporte el tiempo de 1 hora de sobrecarga. Por lo que; al principio se le aplico al corriente nominal (en 2 pruebas) y luego se aplicó una sobrecarga brusca del 24 % y el 50% de igual manera en dos pruebas cada una, luego de alcanzar el 50 % de la sobrecarga (37,5 Amperios), como ya se contaba con una fuente robusta para generar esta sobrecarga (sin tener alteración en su normal funcionamiento durante todo el tiempo de prueba de 1 hora), se la fue elevando sustancialmente hasta llegar a tener una sobrecarga máxima del 114 % (53,5 Amperios), que fue donde el cable se fundió totalmente a su aislamiento (Ver **Fig. 3-7, 3-8 y 3-9**).

Durante los ensayos se puedo observar que al llegar a una temperatura de 184°C con una sobrecarga de 140,4 % (51,1 Amperios) el cable comenzó a fundirse a aproximadamente 1 hora de prueba.

Se puedo constatar que la chaqueta de nylon fue la primera en degradarse (se resquebrajaba o agrietaba, como se observa en la **Fig.A3.6**) antes del PVC. Este resquebrajamiento se debía a que se iba secando el cable y su chaqueta con cada prueba por las variaciones bruscas de temperatura, esto se puede deducir con el simple hecho de que el aislamiento al final de las pruebas tenía una contextura más sólida (dura) que al inicio de las pruebas; en otras palabras el cable era mucho más fácil de pelarlo para realizar cualquier empalme al inicio que al final de las pruebas.

Existe una gran diferencia en el valor de las resistencias de aislamiento entre los cables # 14 Rojo y Azul, esto debido a que poseen distintas características de fabricación.

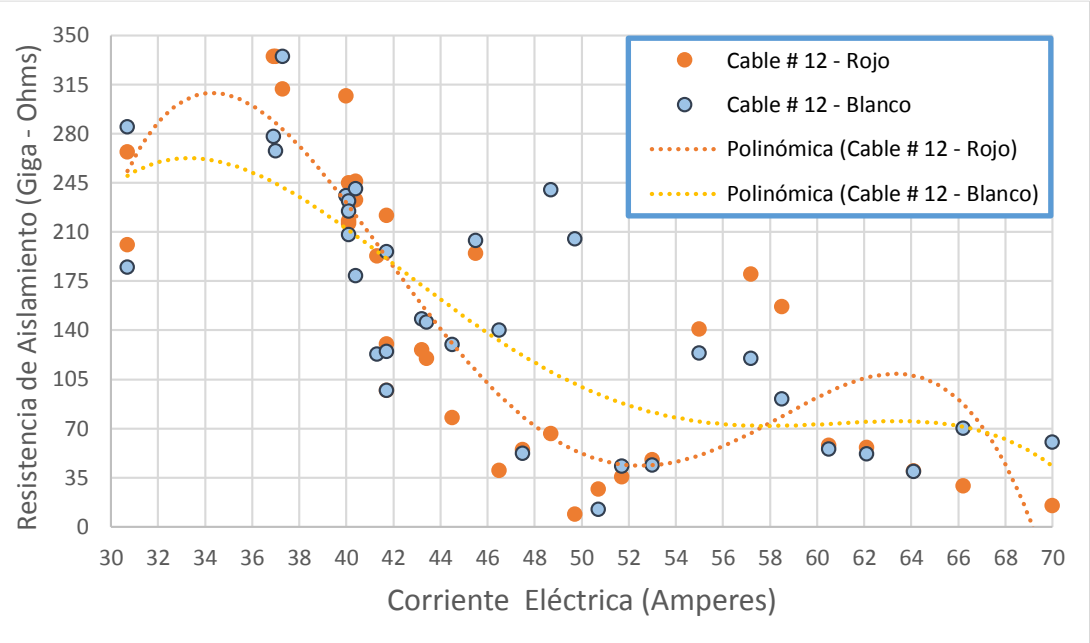

Figura 3-10: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los Cables THHN # 12 AWG en relación a la Corriente de Sobrecarga.

Haciendo referencia a la **Fig. 3-10** la resistencia de aislamiento para el cable # 12 AWG de Color Rojo, se puede decir, que no sufre grandes modificaciones (se mantiene dentro de un margen limitado por 135,4 y 246 GΩ) entre un rango de 40 y 41,7 Amperio (con una sobrecarga de 33,3 y 39 % de sobrecarga, respectivamente), esto con relación al resto de sobrecargas. De igual, manera dentro de este rango la resistencia puede llegar a valores mucho más altos de hasta 307 GΩ, cabe destacar que las condiciones ambientales para este cable de prueba # 12 fueron: un promedio de 20,69 °C con una humedad de 49,11 %. De igual manera se puede decir que estos valores de resistencia son buenos ya que se tuvieron valores de IP entre 2,58 y 3,63 (con un promedio de 3,11 de IP), como se observa en la **Fig. 3-6.**

Por otro lado, con relación al Cable Blanco # 12, se tiene un comportamiento muy parecido al Cable Rojo # 12, y se observa en la **Fig. 3-10** que su valor de resistencia de aislamiento está oscilando en un rango de 179 y 245 GΩ, esto se produjo cuando se tienen corrientes de sobrecarga dentro del mismo rango que el Cable # 12 Rojo. Para este cable Blanco el IP tiene valores oscilantes entre 2,20 a 3,63 (y promedio de 2,66), lo que significa que el Aislamiento de este cable está en buena condición.

De igual manera con el fin de demostrar que el cable pierde su humedad excesiva, posiblemente al inicio de su vida útil de funcionamiento, se realizaron 2 pruebas con el mismo valor de corriente, estos valores de 30,7, 37,3 y 40,1 Amperios se observan

en la **Fig. 3-10.** Anotaremos, que el salto de aproximadamente de 7 amperios entre la prueba 2 y 3 se debe a que como se dijo anteriormente no se contaba con una fuente de corriente bastante robusta como para soportar una hora de prueba en Cortocircuito. Par el resto de días de prueba, la sobrecarga se fue aumentando de manera aproximadamente lineal como se observa en la **Fig. 3-8.**

Las variaciones de los valores de medida de las resistencias de aislamiento para los Cables # 12 (Azul y Blanco) son bastante parecidas, y se podrían haber presentado porque puede ser de las mismas características de fabricación.

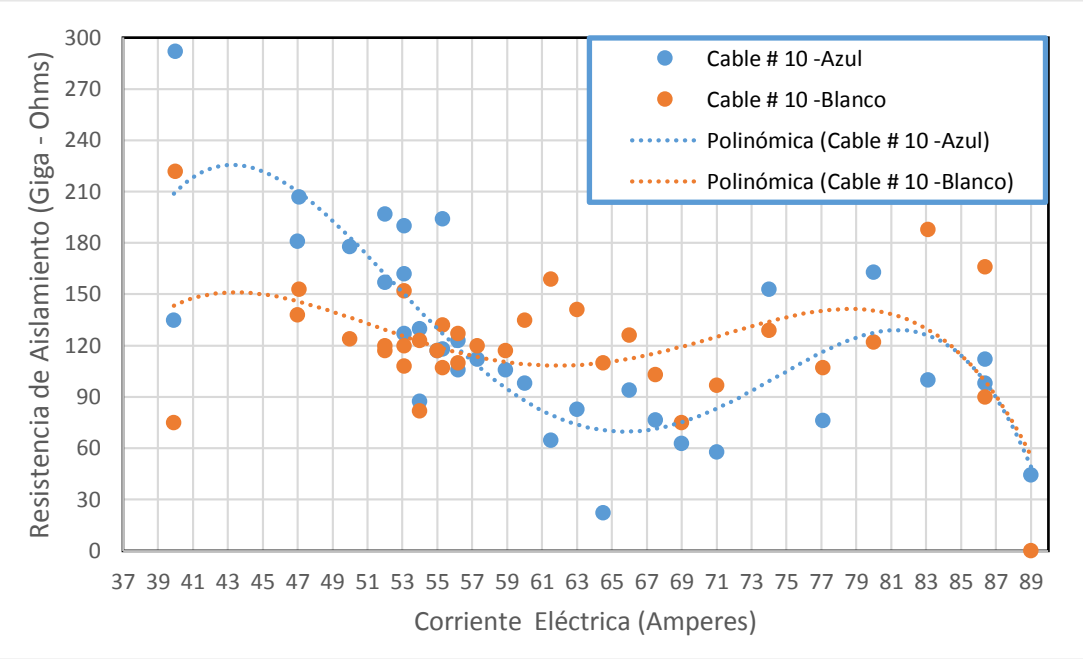

Figura 3-11: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables THHN # 10 AWG en relación a la Corriente de Sobrecarga.

Con relación al Cable # 10 AWG Blanco, con una sobrecarga dentro de un rango de valores de 52 a 57,3 Amperios con una sobrecarga respectiva de 30 % y 43,25 %, se tienen valores de resistencia de aislamiento oscilando entre 107 y 132 GΩ. Todos estos valores se presentaron cuando la temperatura ambiente fue aproximadamente 21,12 °C y la Humedad del 50,93 %. La resistencia de aislamiento es buena de este cable ya que se tienen valores de IP entre 1,8 y 2,16 (con una media de 1,97), como se observa en la **Fig. 3-6.**

La el caso del cable de color Azul # 10, no se obtuvo una variación de la resistencia "concentrada o agrupada" como en los casos anteriores, pero de igual manera se puede observar en la **Fig. 3-11** con una sobrecarga de entre 25% y 43,25 % (con sus valores respectivos de corriente entre 50 y 57,3 Amperios) la resistencia de

aislamiento de este cable oscila entre 87,6 y 197 GΩ. Las condiciones ambientales para este cable de igual forma son iguales a la del cable # 10 Blanco.

Se observa un comportamiento similar para los dos cables de prueba # 10, es decir las resistencias de los dos cables oscilan durante todo el ensayo por valores similares. Como en el caso de los cables # 12 y 14 se observa en la **Fig. 3-11** las pruebas iniciales nos sirven para el efecto de secado del aislamiento, de igual manera se realizaron pruebas iniciales con la aplicación de dos veces la misma corriente. Para luego ir elevando la corriente tendencialmente hasta llegar a fundir el aislamiento y chaqueta del cable.

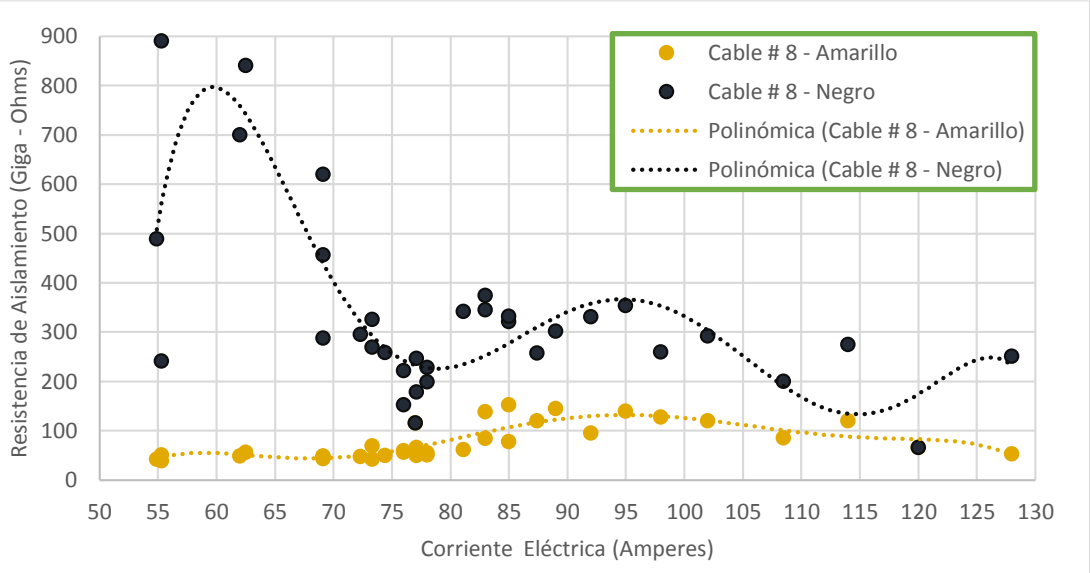

Figura 3-12: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los Cables THHN # 8 AWG en relación a la Corriente de Sobrecarga.

El cable de prueba de Color Negro # 8 tiene un comportamiento, en el cual la resistencia tiene un valor oscilante entre 115 y 325 GΩ, para cuando se tiene una sobrecarga de 25,64 y 41,82 % (con valores de corrientes entre 69,1 y 78 A). Con estos valores de resistencia del aislamiento podemos decir que el cable todavía está en buenas condiciones de funcionamiento ya que además de valores altos de resistencias se tienen valores de IP entre 2,53 y 3,65 (con promedio de $IP = 3$).

Por otro lado, para el caso de ensayo del Cable # 8 de color se puede destacar por alguna razón constructiva y/o constitutiva tiene una tendencia a elevar su valor de resistencia mientras se incremente la corriente para luego comenzar su descenso, este es un comportamiento como si estuviera en un proceso de secado, aunque no se pueda aseverar este singular comportamiento, pero en cambio se pudo observar que

este cable al final de la pruebas poseía unos pequeños puntos dentro de su aislamiento como si se hubiese secado, tal como se puede observar en la **Fig. A3.10**, para esta muestra de cable la resistencia se mantiene entre valores de 47,1 y 115 GΩ; para una sobrecarga y condiciones ambientales iguales a las del cable Negro # 8 AWG.

Las dos muestras de cable tuvieron estos valores cuando la temperatura ambiente estaba en un promedio de 20,86°C y con una humedad media de 50,92 %.

En estas dos muestras se puede observar que sus comportamientos en la resistencia de aislamiento son muy distintos, ya que en el caso del cable amarillo se tiene valores bajos y por otro lado, para el cable negro se tienen valores relativamente altos. Además, en estas muestras de cables se puede observar que probablemente no se poseen valores atípicos de resistencia de aislamiento como en el caso del cable # 12 AWG.

3.1.4. ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL AISLAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA QUE SOPORTA EL CABLE

Estos análisis nos permitirán observar como es el comportamiento de la resistencia de aislamiento de cada uno de los cables de prueba en relación a la temperatura a la que alcanzan al ser sobrecargados. Aunque cabe destacar que estas dos medidas son las más variables durante el ensayo, ya dependen de muchos agentes externos como son la temperatura y humedad.

En la **Fig.3-13** se observa que para el caso que una un cable número 14 AWG se ha sobrecargado (calentado) ascendentemente (con una pendiente muy baja) y su resistencia del aislamiento se reduce significativamente con una pendiente negativa mucho más pronunciada que la pendiente de sobrecarga. La reducción de la resistencia del aislamiento se da exclusivamente en rangos de temperatura de 106°C y 136°C para el cable Rojo y de 112°C y 136°C para el cable Azul.

A medida que se incrementa la temperatura máxima que alcanza el cable # 14, se degrada más el aislamiento del cable esto hasta llegar a fundirlo que se llegó a dar cuando se tuvo una temperatura de 184°C.

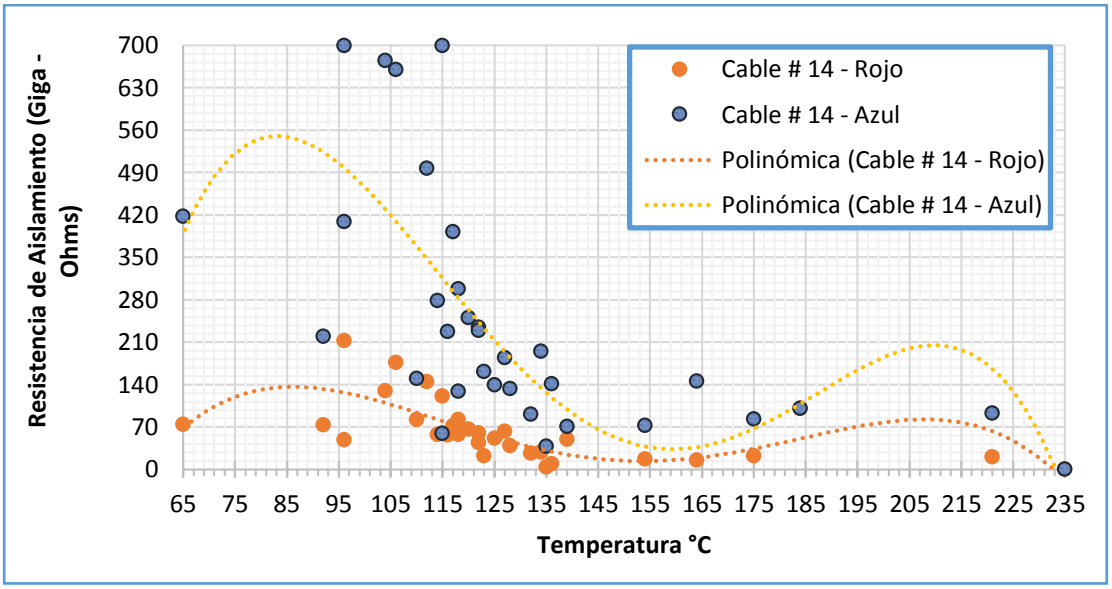

Figura 3-13: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables THHN # 14 AWG en relación a la Temperatura.

Refiriéndose, a la **Fig.3-14** para el caso del cable # 12 AWG que se ha sobrecargado ascendentemente (con una pendiente muy baja), su resistencia de aislamiento de igual manera que el cable número 14 se reduce significativamente con una pendiente negativa mucho más pronunciada que la pendiente de sobrecarga. La reducción de la resistencia del aislamiento se da en mayor grado entre los rangos de temperatura de 93°C y 142°C para los dos cables de prueba # 12. Estos cables se fundieron cuando alcanzaron una temperatura aproximadamente de 190 °C.

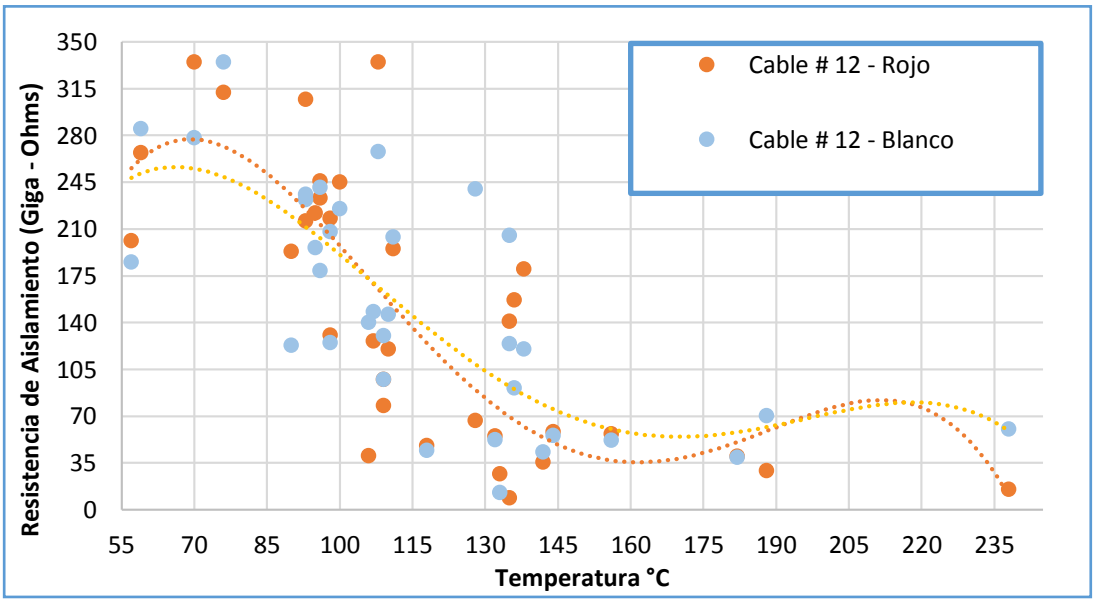

Figura 3-14: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables THHN # 12 AWG en relación a la Temperatura.

En relación a los Cables con calibres # 10 AWG mostrados en la **Fig.3-15** que al ser sobrecargado ascendentemente, su resistencia del aislamiento se reduce significativamente con una pendiente negativa más o menos pronunciada para ambas muestras. La reducción de la resistencia del aislamiento para él un caso se da exclusivamente en rangos de temperatura de 85°C y 125°C y para el caso del para el cable Blanco de 85°C y 108°C. Estas muestras de cables se llegaron a fundir cuando alcanzaron una temperatura de 203 °C.

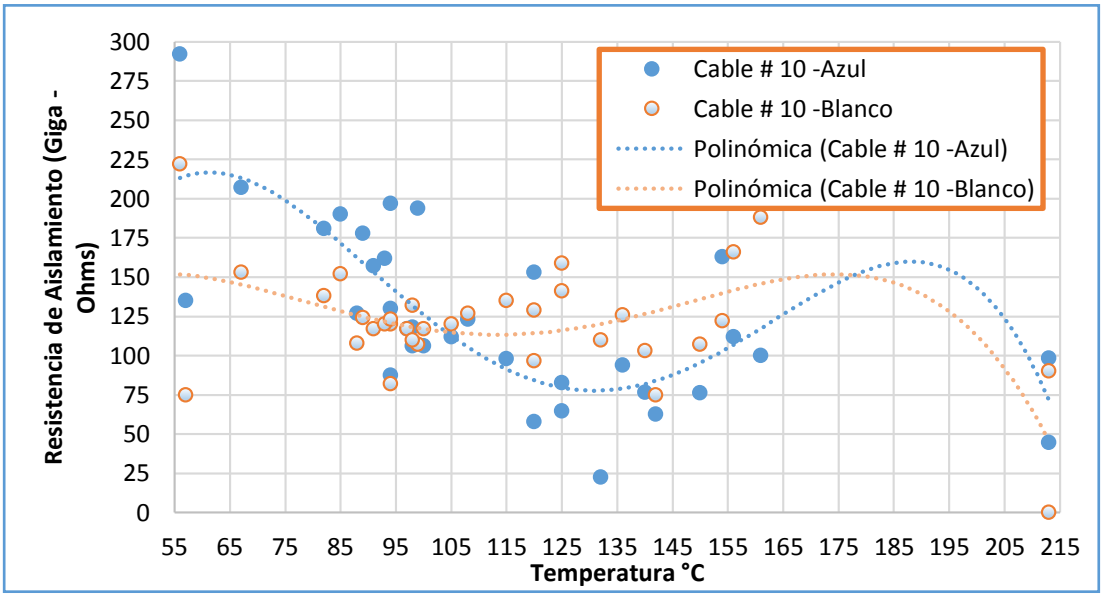

Figura 3-15: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables THHN # 10 AWG en relación a la Temperatura.

En los cables # 8 se observa que el rango de temperatura en el que se tiene una variación de resistencia no tan excesiva es entre 80°C y 118°C. El cable amarillo # 8 como se dijo anteriormente tiene un incremento en su valor de resistencia de aislamiento hasta cuando se logra obtener 220° C y de este valor comienza nuevamente su descenso, pero para comprobarlo se recomienda realizar más pruebas o ensayos con distintos cables THHN o THWN/THWN–2. Al final, se pudo destacar que el cable se funde al alcanzar temperaturas alrededor de 230°C.

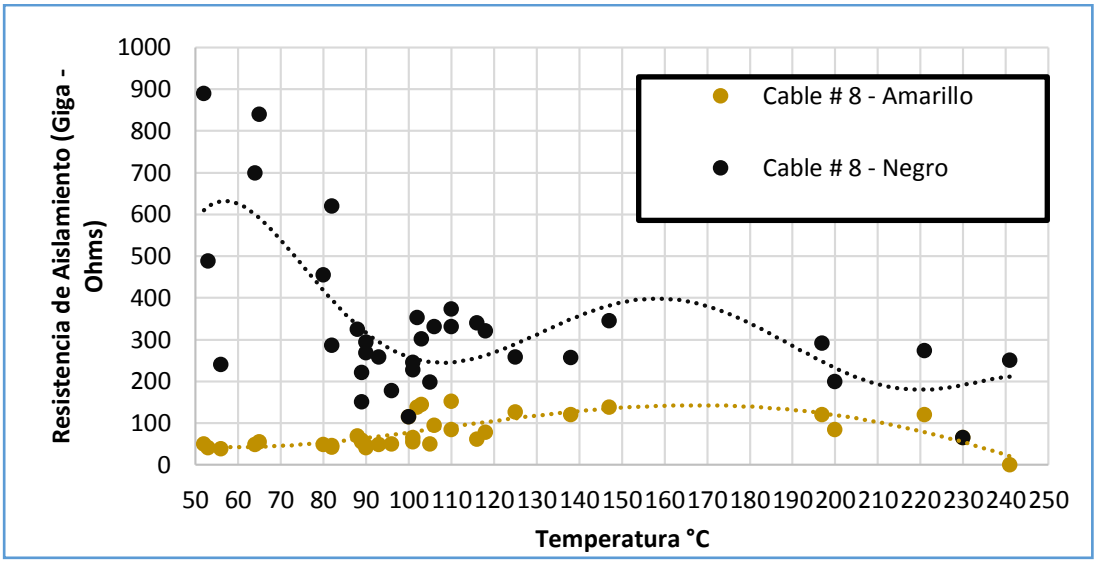

Figura 3-16: Variación de la Resistencia de Aislamiento de los cables THHN # 8 AWG en relación a la Temperatura.

En la **Fig. 3-17** se puede observar cómo va aumentando la temperatura en relación a cada día de prueba, en donde se puede apreciar que el cable # 8 es el que tiene variaciones de temperatura al final un poco más variables que el resto de muestras, esto debido a como es un cable mucho más grueso y durante las pruebas de medición del aislamiento se los tenía que sacar de la tubería con el fin revisar alguna anomalía en el recubrimiento del papel aluminio y luego, de la revisión insertarlo nuevamente en la tubería para la próxima sobrecarga, entonces su posición variaba de prueba a prueba , es decir en todas las pruebas se modifica su poción o estado (se producía menos o más trenzados entre los dos cables de prueba # 8).

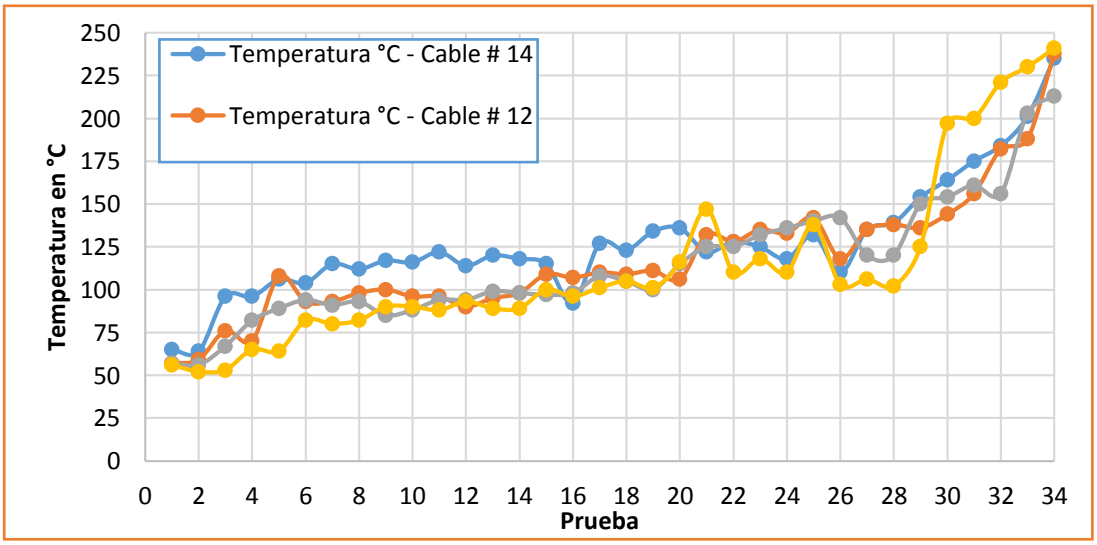

Figura 3-17: Variación de la Temperatura de los cables en relación a la los días de prueba

Se puede aseverar que la limitante de sobrecarga no serían solo los cables en una instalación eléctrica civil, sino también sus otros elementos, equipos, tuberías o canales por donde se pasan los cables. Para este caso, la limitante fue la manguera que solo soporta 90°C, ya que al sobrepasar este límite se comienza a derretir y en algunos casos a agrietar (como se observa en las ***Fig. A3.4*** *y* ***A3.6****).*

Teniendo en cuenta las condiciones de nuestro experimento, se puede decir, que máximo se podría sobrecargar un 20% a los cables # 14 AWG y un 30% a los cables número 12, 10 y 8 AWG. Cabe destacar, que para cada muestra de prueba, se tienen 2 cables del mismo calibre en una sola manguera.

Un calentamiento súbito de los cables (al sobrecargar un 20% a los cables # 14 AWG y un 30% a los cables número 12, 10 y 8 AWG) se da en los primeros 15 minutos; ya que en este tiempo, partiendo de su temperatura nominal del cable (a temperatura ambiente) con un promedio aproximado de 21°C para todos los cables se llega a tener temperaturas entre 79°C y 85 °C, culminando a los 60 minutos con una temperatura aproximada al valor que soportan los aislamientos y las chaquetas de los cables (es decir 90°C, ya que posee un material termoplástico de Tipo Y según la norma IEC 60085 “Electrical Insulation – Thermal Calssification”), para todas las muestras de cables, como se observa en la **Fig. 3-18**.

Las condiciones de ensayo para estos cables con la sobrecarga señalada anteriormente fueron 2 muestras cables de cada calibre por tubería de ½ pulgada, forrados con papel aluminio.

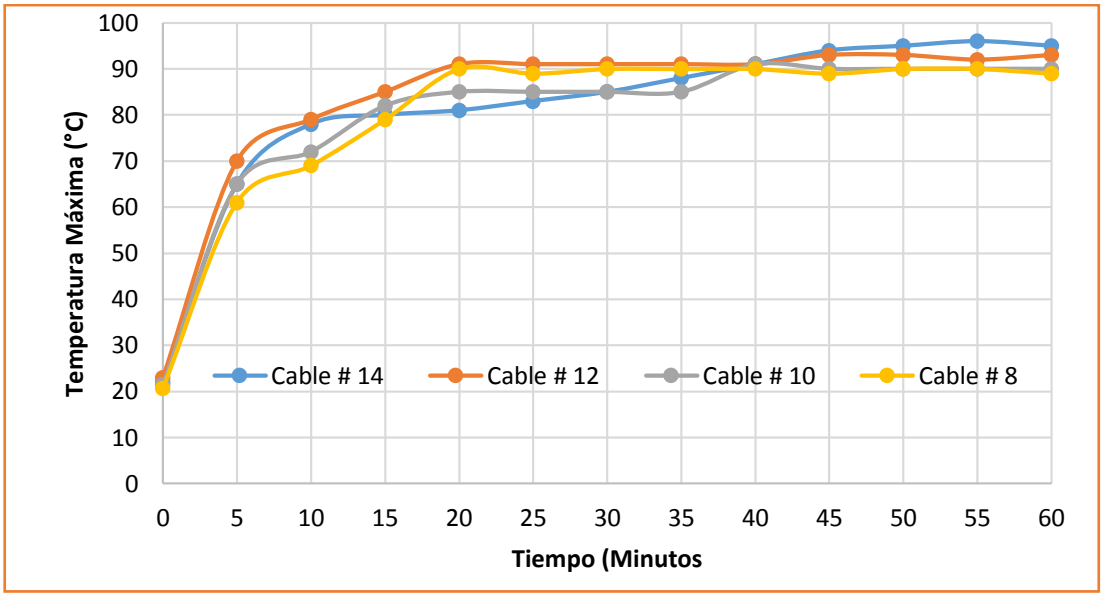

Figura 3-18: Comportamiento creciente de la temperatura (calentamiento) de los cables con una sobrecarga del 20% a los cables # 14 AWG y un 30% a los cables número $12, 10\ y\ 8\ AWG$.

El papel aluminio a temperaturas bajas (baja sobrecarga) no tenía mayor efecto en los cables, pero a temperaturas altas (180°C), es decir con relativamente alta sobrecarga variar la temperatura unos 10 a 15 grados centígrados.

La parte de los cables de prueba que se encontraban en la manguera soportaban una temperatura más elevada que la parte de los cables que estaban sin tubería (al aire libre), este valor de temperatura excedía a:

- Temperaturas bajas (menores a 95°C aproximadamente) en un rango de 2 a 20°C para los cables calibres # 12, 10 y 8 AWG, y de 4 – 30 °C aproximadamente para los cables calibre 14.
- Mediana sobrecarga (temperaturas entre 95 y 160°C, antes de que el aislamiento del cable se derrita) se diferencian entre 10 y 30°C para los cables # 12, 10 y 8 AWG, en cabio entre 10 y 40°C para el cable calibre # 14 AWG.
- A alta sobrecarga, cuando la temperatura del cable era superior a 160°C aproximadamente (cuando se comenzaba el aislamiento del cable a derretir) la temperatura varía entre 38°C y 56°C.

Todas estas variación dependían como se dijo en incisos anteriores si los cables estaban más o menos entrelazados tanto en dentro de la tubería como fuera de la tubería.

El papel aluminio por un lado se utilizó para equiparar el potencial alrededor del cable ya que es un conductor y por otro lado para conseguir una temperatura más uniforme en toda el área del aislante del cable.

Con el fin de tener una mejor visión del comportamiento de los cables de muestras calibres número 8, 10, 12 y 14 AWG, en la **Tabla 3-1** se puede observar cada una las ecuaciones de tendencias de los distintos cables de prueba haciendo relación a su variación de resistencia de aislamiento con respecto a la sobrecorriente aplicada a cada muestra de cable o a la temperatura máximo que alcanzo en cada prueba así mismo cada una de las muestras de cable. Estas ecuaciones tendenciales se obtuvieron a partir del programa Excel, y cada una de las curvas se muestran en las **Fig. 3-9** a la **3-16.**

Las ecuaciones de ajuste tendenciales de las Resistencias de Aislamiento – Corriente obtenidas por medio de una regresión matemática, para todos los casos son polinómicas, pero solo para el caso del cable # 8 AWG se tiene de nivel (grado) seis, de la forma $Ra = A * I^6 + B * I^5 + C * I^4 + D * I^3 + E * I^2 + F * I + G$, en cambio para los cables con calibres # 10, 12 y 14 AWG se tienen ecuaciones de grado cuatro, de la forma $Ra = A * I^4 + B * I^3 + C * I^2 + D * I + E$. Para las dos formas de ecuaciones Ra representa al eje de las ordenadas perteneciente a al eje con los valores de resistencia de aislamiento de los cables de prueba, e I representa al eje de las abscisas que a su vez hace referencia a los valores de corriente de sobrecarga aplicada a cada muestra de cable.

Las ecuaciones tendenciales de las Resistencias de Aislamiento – Temperatura, para todos los casos son de igual manera polinómicas, pero solo para el caso del cable # 8 AWG negro se tiene de grado seis, de la forma $Ra = A * T^6 + B * T^5 + C * T^4 + D * T^3 + E * T^2 + F * T + G$, en cambio para los cables con calibres # 10, 12, 14 y 8 AWG Amarillo se tienen ecuaciones de grado cuatro, de la forma $Ra = A * T^4 + B * T^3 + C * T^2 + D * T + E$. Para las dos formas de ecuaciones Ra representa al eje de las ordenadas perteneciente a al eje con los valores de resistencia de aislamiento de los cables de prueba, y $\boldsymbol{T}$ representa al eje de las abscisas que a su vez hace referencia a los valores de temperatura máxima alcanzada al aplicar una corriente de sobrecarga a cada muestra de cable.

Tabla 3-1: Ecuaciones de las Tendencias de las Resistencias de Aislamiento los cables con respecto a la corriente aplicada o a la Temperatura Máxima alcanzada en la Prueba.

		CONTANTES DE LAS ECUACIÓNES DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ($G\Omega$) RESPECTO A:	
CABLE CALIBRE AWG	COLOR	CORRIENTE ($Amperios$)	TEMPERATURA (°C)
14	ROJO	$A = -0{,}00416289$ $B = 0{,}68985666$ $C = -41{,}95497603$ $D = 1103{,}16471123$ $E = -10445{,}70715225$	$A = -0{,}00001892$ $B = 0{,}01147800$ $C = -2{,}45402907$ $D = 213{,}61808803$ $E = -5942{,}24831829$
	AZUL	$A = -0{,}014931$ $B = 2{,}498923$ $C = -153{,}145162$ $D = 4041{,}223287$ $E = -38152{,}669821$	$A = -0{,}00000625$ $B = 0{,}00376657$ $C = -0{,}80373982$ $D = 70{,}66631193$ $E = -2052{,}53822649$
12	ROJO	$A = -0{,}00330071$ $B = 0{,}66082528$ $C = -48{,}18273516$ $D = 1056{,}44824011$ $E = -16762{,}02087916$	$A = -0{,}00000477$ $B = 0{,}00281476$ $C = -0{,}57291017$ $D = 45{,}18035828$ $E = -929{,}17784809$
	BLANCO	$A = -0{,}00107771$ $B = 0{,}22220633$ $C = -16{,}62686312$ $D = 527{,}35249752$ $E = -5741{,}02163368$	$A = -0{,}00000270$ $B = 0{,}00163451$ $C = -0{,}33890573$ $D = 26{,}51126843$ $E = -435{,}86896067$
10	AZUL	$A = -0{,}00087647$ $B = 0{,}22128551$ $C = -20{,}33881295$ $D = 801{,}74650706$ $E = -11237{,}95522842$	$A = -0{,}00000772$ $B = 0{,}00386074$ $C = -0{,}66796212$ $D = 45{,}71521791$ $E = -855{,}41136091$
	BLANCO	$A = -0{,}00039550$ $B = 0{,}09699218$ $C = -8{,}67529281$ $D = 334{,}31291275$ $E = -4543{,}24818752$	$A = -0{,}00000365$ $B = 0{,}00167570$ $C = -0{,}26392454$ $D = 16{,}49216416$ $E = -203{,}70973301$
8	NEGRO	$A = -0{,}00000120$ $B = 0{,}00068005$ $C = -0{,}15867604$ $D = 19{,}40853033$ $E = -1310{,}93676268$ $F = 46299{,}75353799$ $G = -666668{,}46659952$	$A = -0{,}000000001691$ $B = -0{,}000001595038$ $C = -0{,}00059675176$ $D = 0{,}112162826275$ $E = -11{,}023151706280$ $F = 527{,}215567174009$ $G = -8978{,}744592121330$
	AMARILLO	$A = -0{,}00000018$ $B = 0{,}00009855$ $C = -0{,}02203103$ $D = 2{,}57792059$ $E = -166{,}32868992$ $F = 5607{,}90056620$ $G = -77153{,}39766797$	$A = -0{,}00000045$ $B = 0{,}00036369$ $C = -0{,}08636646$ $D = 6{,}79167381$ $E = -211{,}65190687$

3.2. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL CABLE

3.2.1. DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO DEL CABLE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

El tiempo de vida útil de un cable depende de cómo el aislante se conserve en ciertas condiciones de funcionamiento tales como temperatura ambiente, temperatura de operación, humedad, cantidad de corriente que circula por el cable, contaminación del ambiente de trabajo y entre otros factores. Y conociendo además que por efecto Joule, a mayor circulación de corriente por un elemento existen mayores pérdidas de potencia en forma de calor, alcanzando cierta temperatura de funcionamiento, lo que acelera los procesos de envejecimiento de ese elemento (en este caso el cable de prueba). Esto se ve reflejado en las pérdidas de sus cualidades físicas, químicas y mecánicas.

Tomando en cuenta que todo cable está diseñado para soportar cierta temperatura máxima en condiciones normales de operación logrando así alcanzar cierta vida útil, como se observó en las figuras presentadas en la sección anterior; al tener mayores temperaturas se reduce la vida útil de un cable hasta llegar a condiciones críticas de funcionamiento en dónde el cable pierde totalmente su material aislante que lo rodea.

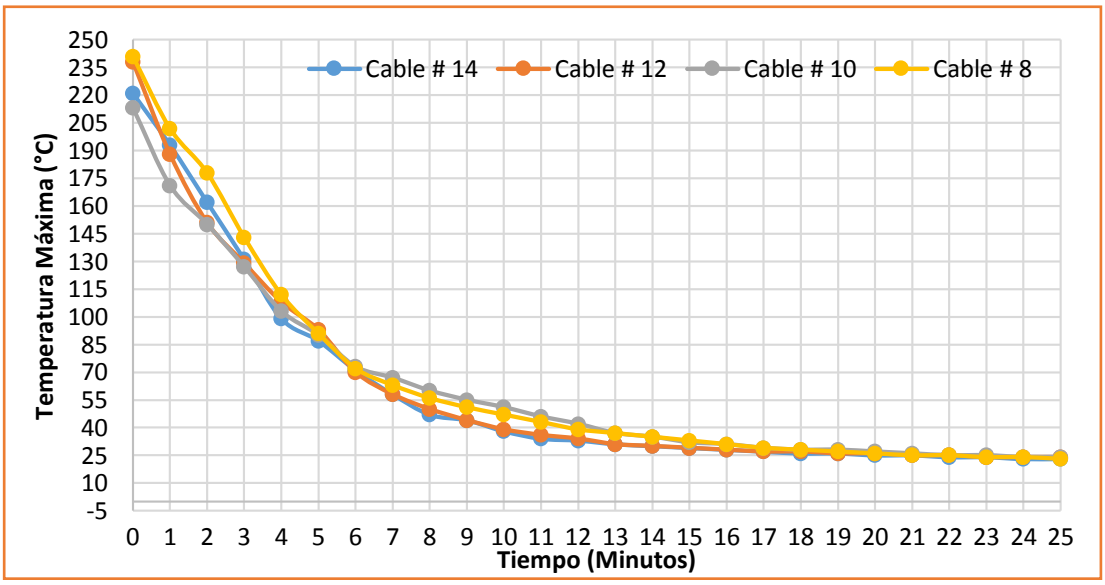

Figura 3-19: Comportamiento Decreciente de la Temperatura de los Cables (Enfriamiento).

Como se puede observar en la **Fig. 3 -18**, la temperatura máxima que alcanza un cable no es constante durante una sobrecarga, sobrecorriente o cortocircuito; si no

que, va creciendo gradualmente hasta alcanzar su valor máximo. De igual manera al desaparecer cualquiera de los fenómenos eléctricos mencionados, la temperatura comienza a tener un comportamiento inverso a lo anterior, es decir, comienza a disipar el calor de forma gradual. Este proceso inverso se puede observar en la **Fig. 3 -19**.

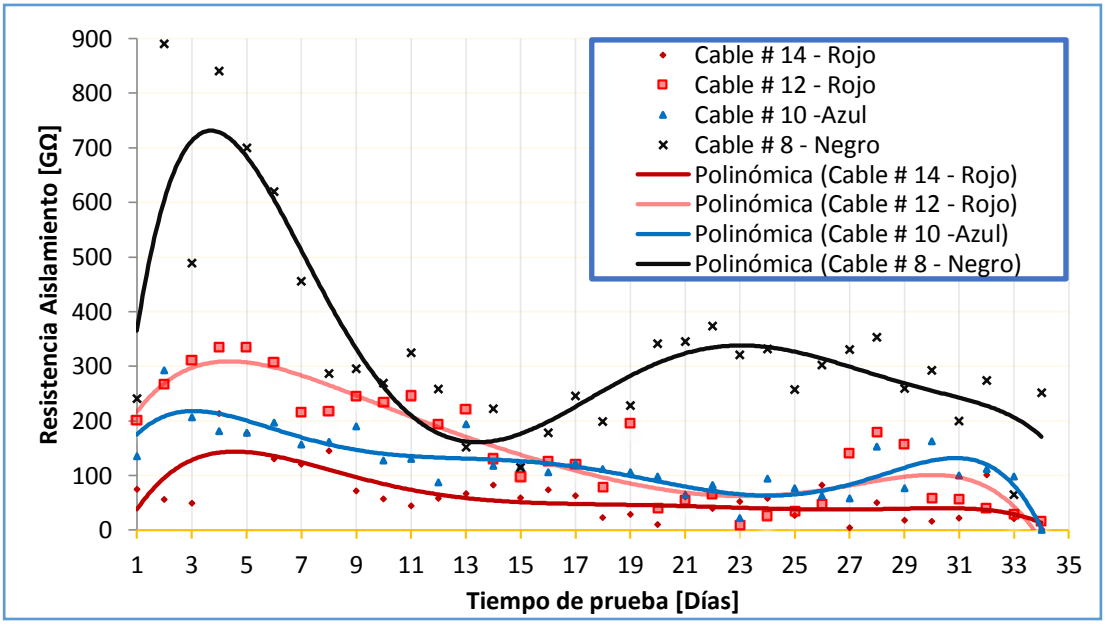

Figura 3-20: Curvas Ajustadas a la Tendencia de las Resistencias de Aislamiento de los Cables que se Simularon a una Fase en los Ensayos.

Las ecuaciones de ajuste de la tendencia resistencia de aislamiento en función al tiempo para cada uno de los cables mostrados en la **Fig. 3-20,** que simularon un cable de fase en los ensayos se presentan en la **Tabla 3-2**; en donde todos los casos de muestras de cable (calibres # 14 y 12 AWG de color Rojo, # 10 AWG de color Azul y cable calibre # 8 AWG de color Azul), se tiene la mejor aproximación tendencial con un polinomio de Sexto Grado.

De igual manera, las ecuaciones de ajuste tendencial de Resistencia de Aislamiento (Ra) en función al tiempo (t) (los mostrados en la **Fig. 3-21**) para cada uno de los cables que simularon un conductor neutro en los ensayos se muestran en la **Tabla 3-2;** en donde **los cable calibres** # 14 AWG de color Azul, # 12 AWG de color Blanco, y calibre # 10 AWG de color Blanco, se tiene la mejor aproximación tendencial a un polinomio de sexto grado a diferencia del cable # 8 AWG de color Amarillo, que tiene la mejor aproximación tendencial a un polinomio de cuarto grado.

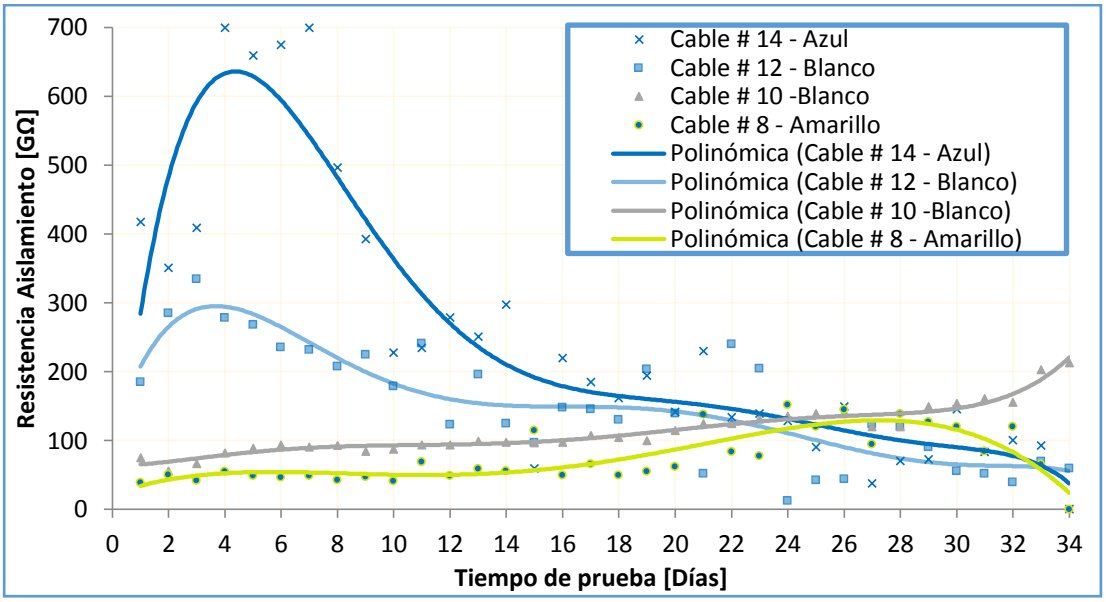

Figura 3-21: Curvas ajustadas a la Tendencia de las resistencias de aislamiento de los cables que se simularon a un neutro en los ensayos.

Tabla 3-2: Ecuación de ajuste de Tendencia de la Resistencia de aislamiento de los cables de muestra que simulan fase y neutro en la experimentación, en función de los días de prueba.

CABLE CALIBRE AWG	COLOR	ECUACIONES DE AJUSTE DE TENDENCIA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
14	ROJO	$Ra = -0{,}00001604 * t^6 + 0{,}00186699 * t^5 - 0{,}08592664 * t^4 + 1{,}96724299 * t^3 - 22{,}79646855 * t^2 + 114{,}08510148 * t - 55{,}38155478$
	AZUL	$Ra = -0{,}00004450 * t^6 + 0{,}00549039 * T^5 - 0{,}26773803 * t^4 + 6{,}46758420 * t^3 - 78{,}20593243 * t^2 + 392{,}54133058 * \mathrm{t} - 36{,}28816872$
12	ROJO	$Ra = -0{,}00002019 * t^6 + 0{,}00205126 * t^5 - 0{,}08383494 * t^4 + 1{,}78904422 * t^3 - 20{,}72381854 * t^2 + 103{,}12633232 * t + 132{,}30610412$
	BLANCO	$Ra = -0{,}00003981 * t^6 + 0{,}00399472 * t^5 - 0{,}15315771 * t^4 + 2{,}75130126 * t^3 - 29{,}81167098 * t^2 + 129{,}95498710 * t + 104{,}54774958$
10	AZUL	$Ra = -0{,}00003981 * t^6 + 0{,}00399472 * t^5 - 0{,}15315771 * t^4 + 2{,}81461277 * t^3 - 25{,}22641610 * t^2 + 91{,}34495490 * t + 106{,}40321954$
	BLANCO	$Ra = 0{,}00000679 * t^6 - 0{,}00061905 * t^5 + 0{,}02073509 * t^4 - 0{,}30453204 * t^3 + 1{,}76535014 * t^2 + 0{,}56307041 * t + 63{,}21044162$
8	NEGRO	$Ra = -0{,}00007811 * t^6 + 0{,}00964535 * t^5 - 0{,}46342074 * t^4 + 10{,}75208186 * t^3 - 120{,}00260988 * t^2 + 531{,}41000406 * t - 56{,}37798480$
	AMARILLO	$Ra = -0{,}00212921 * t^4 + 0{,}12517082 * t^3 - 2{,}22628395 * t^2 + 14{,}75894938 * t + 21{,}54175306$

Todos los ajustes de tendencia fueron desarrolladas por medio de un software matemático y así se pudo obtener las ecuaciones polinómica, estas ecuaciones ayudan a conocer más formalmente cual es el comportamiento real aproximado de la

resistencia del aislamiento ante las sobrecargas graduales realizadas a cada muestra de cable, considerando ciertas condiciones de funcionamiento u operación, tal como temperatura, porcentaje sobrecorriente, número de cables por tubería, entre otros.

3.2.1. DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA DEL INDICE DE POLARIZACION DEL CABLE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Las gráficas mostradas en **Fig. 3-22** y **Fig. 3-23** contienen las series que representan el índice de polarización en función de los días de prueba que se realizaron los experimentos en los cables de muestra de calibre # 14, 12, 10 y 8 AWG, tanto para los colores que simulan la fase en una instalación civil común así como para el neutro, los cuales estuvieron sometidos a envejecimiento acelerado. Cada serie de datos se ajusta a un polinomio de grado determinado para obtener los valores estimados del comportamiento decreciente del índice de polarización conforme los días de prueba avanzan, los cuales representan varios escenarios que pueden ocurrir a lo largo de la vida de operación del cable.

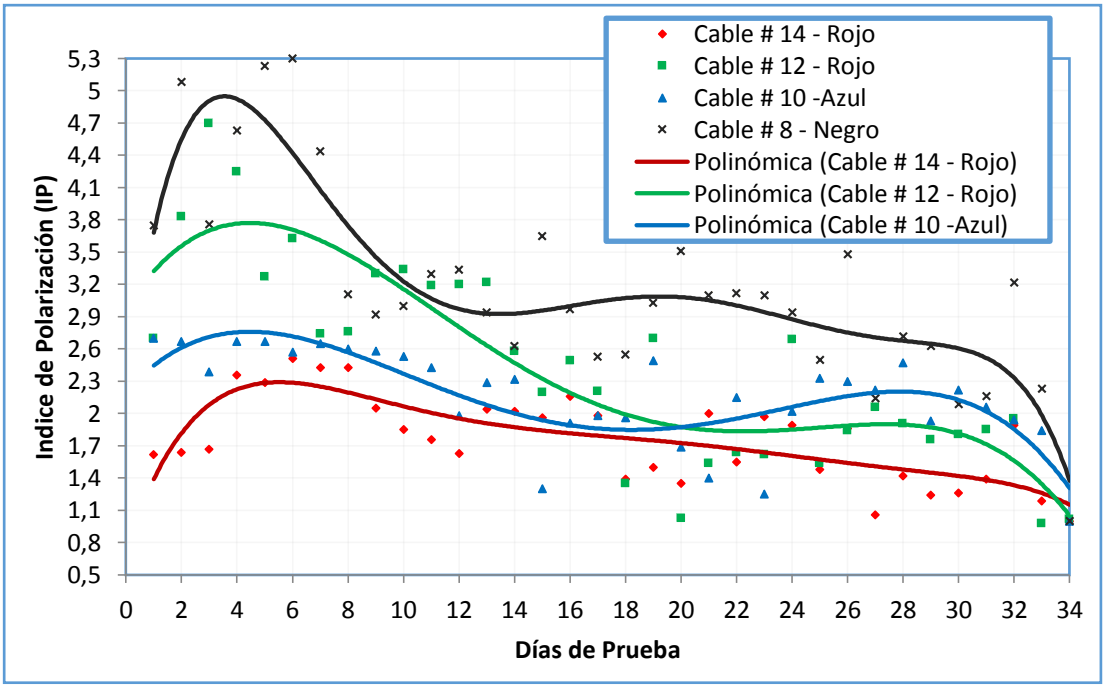

Figura 3-22: Curvas ajustadas a la tendencia del *IP* de los cables que se simularon a una fase en los Ensayos.

Con la ayuda de un software matemático se pudo obtener las ecuaciones de tendencia polinómica para el índice de polarización IP en función al tiempo de prueba para cada uno de los cables que simularon la fase de una instalación en los ensayos. Estas tendencias se presentan en la **Tabla 3-4**, donde se tiene que:

- Para el caso del cable # 14 AWG de color Rojo y 8 AWG de color Negro se tiene la mejor aproximación tendencial a un polinomio de sexto grado:
- En cambio para el caso del cable # 12 AWG de color Rojo, y el cable # 10 AWG de color Azul, se tiene la mejor aproximación tendencial a un polinomio de cuarto grado.

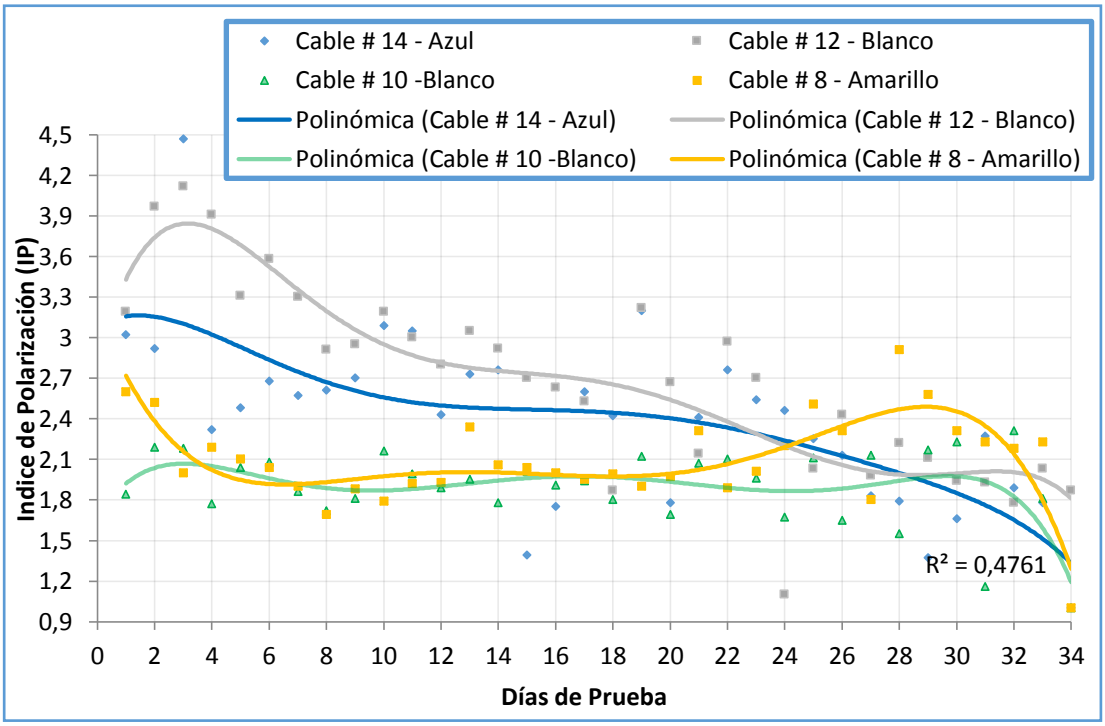

Figura 3-23: Curvas ajustadas a la Tendencia del *IP* de los cables que se simularon a un neutro en los ensayos.

Las tendencias mostradas en las **Fig. 3-22** y **Fig. 3-23** presentan un comportamiento decreciente, las cuales según el grado del polinomio y la serie de datos de los cables de muestras se correlacionan mostrando como el índice de polarización comienza a caer conforme las condiciones de prueba (aumenta la sobrecarga) cambian cada día de experimentación y avanzan hasta llegar al número de observaciones establecidas en el Capítulo II.

Las ecuaciones de tendencia del IP en función al tiempo para cada uno de los cables que simularon el cable de neutro en los ensayos se presentan a en la **Tabla 3-4**:

- Para el caso del cable # 14 AWG de color Azul, el cable # 12 AWG de color Blanco y el cable # 10 AWG de color Blanco, tienen su mejor aproximación tendencial a un polinomio de sexto grado:

- Finalmente, para el caso del cable # 8 AWG de color Amarillo, se tiene una mejor aproximación tendencial a un polinomio de cuarto grado:

Los límites de predicción para nuevas observaciones según la desviación estándar estimada y el valor absoluto promedio de los residuos entre los valores medidos del índice de polarización y los de tendencia polinómica observados en las gráficas anteriores se muestran en la **Tabla 3- 3**, las cuales también indican las desviaciones alrededor del modelo planteado de tendencia. Estos límites describen que tan bien se ha estimado la localización de la curva dada la muestra de datos disponibles.

Tabla 3-3: Errores Estándar de tolerancia de las tendencias de IP

ERRORES ESTÁNDAR DE TOLERANCIA		
CALIBRES	FASE	NEUTRO
14	0,33	0,59
12	0,51	0,49
10	0,35	0,43
8	0,52	0,44

Debido a la variabilidad de las medidas obtenidas por las diferentes condiciones de los ensayos realizados, no hay como predecir de manera exacta cuánto durará el cable en ciertas condiciones de funcionamiento. Lo que se trata de determinar es una tendencia de comportamiento que cada cable de la muestra podría tener ante los diferentes escenarios que podrían suceder durante la vida útil del cable y que se trataron de simular durante los 34 días de experimentación.

En la **Tabla 3-4** se puede observar cada una las ecuaciones de tendencias de los distintos cables de prueba haciendo relación a la variación del Índice de Polarización (IP) con respecto a loa días de prueba (t) aplicados a cada muestra de cable.

Tanto los valores de IP y de resistencia de aislamiento mostrados en figura anteriores nos dan un indicativo de que a medida de que se sobrecarga el cable pierde su aislamiento y por ende reduce su tiempo estimado de vida útil que según expertos es de entre 15 y 25 años (es decir, un promedio de 20 años).

Tabla 3-4: Ecuaciones de las Tendencias del Índice de Polarización de los cables con respecto a los días de Prueba.

CABLE CALIBRE AWG	COLOR	ECUACIONES DE AJUSTE DE TENDENCIA DEL ÍNDICE DE POLARIZACIÓN
14	ROJO	$IP = -0{,}0000000827 * t^6 + 0{,}0000098511 * t^5 - 0{,}0004668253 * t^4 + 0{,}0111039701 * t^3 - 0{,}1367679069 * t^2 + 0{,}7654634725 * t + 0{,}7495970998$
	AZUL	$IP = -0{,}0000000624 * t^6 + 0{,}00000691590 * t^5 - 0{,}0002947772 * t^4 + 0{,}0058873285 * t^3 - 0{,}0527846781 * t^2 + 0{,}1180279570 * \mathrm{t} + 3{,}088567791$
12	ROJO	$IP = -0{,}00003683 * t^4 + 0{,}00265663 * t^3 - 0{,}06121860 * t^2 + 0{,}40110640 * t + 2{,}97826683$
	BLANCO	$IP = -0{,}0000002128 * t^6 + 0{,}0000236564 * t^5 - 0{,}0010119601 * t^4 + 0{,}0207994847 * t^3 - 0{,}2072178076 * t^2 + 0{,}8024946914 * t + 2{,}8160384437$
10	AZUL	$IP = -0{,}0000317408 * t^4 + 0{,}0021402849 * t^3 - 0{,}0453194873 * t^2 + 0{,}2878493345 * t + 2{,}1993383431$
	BLANCO	$IP = -0{,}0000001562 * t^6 + 0{,}0000156259 * t^5 - 0{,}0005971181 * t^4 + 0{,}0108361064 * t^3 - 0{,}0937325667 * t^2 + 0{,}3297670148 * t + 1{,}6751540611$
8	NEGRO	$IP = -0{,}00000045 * t^6 + 0{,}00004998 * t^5 - 0{,}00218801 * t^4 + 0{,}04654616 * t^3 - 0{,}48290479 * t^2 + 2{,}01983516 * t + 2{,}10097935$
	AMARILLO	$IP = -0{,}0000115584 * t^4 + 0{,}0005420445 * t^3 - 0{,}0039597357 * t^2 - 0{,}0646225392 * t + 2.4979050587$

3.2.3. EJEMPLO DE ANÁLISIS

3.2.3.1. CABLES QUE SIMULAN UNA FASE

En relación a las ecuaciones mostradas en la **Tablas 3-2 y 3-4**, podrían ser reemplazadas, es decir; en vez de tener ajustes con polinomios de cuarto, quinto o sexto grado se utilizarían ajustes por medio de ecuaciones no lineales basadas en operaciones potenciales de la forma $IP = A * t^{-K}$, donde IP representa al índice de polarización, t es el tiempo y A y k son constantes. Este nuevo ajuste se realiza con el fin de encontrar un tiempo aproximado de duración de los cables (vida útil) en las condiciones prescritas en incisos anteriores, pero manteniéndolas siempre en valores menores o iguales y no superiores.

Para poder realizar la estimación de este tiempo en primer lugar nos planteamos un valor de IP basándonos en las normas IEEE 43, que no sea inferior a 2 ya que este es considera como peligroso para cualquier equipo eléctrico basados en motores eléctricos, ya que se puede producir algún cortocircuito y/o sobre calentamiento de los equipo o sistemas eléctricos (en el caso de estudio a los cables) y en el peor de los casos producir un incendio.

En la **Fig. 3-24** y **Fig. 3-25**, se puede observar que si consideramos una sobrecarga del 20 % al cable calibre # 14, un 30% a los cables # 12, 10 y 8 AWG, se pierde el aislamiento (IP menor a 2) cuando se alcanza aproximadamente una vida de funcionamiento del cable de 2700 a 4300 días, es decir entre unos 7 a 10 años, manteniendo siempre una temperatura ambiente no mayor 21°C y una humedad del 50%.

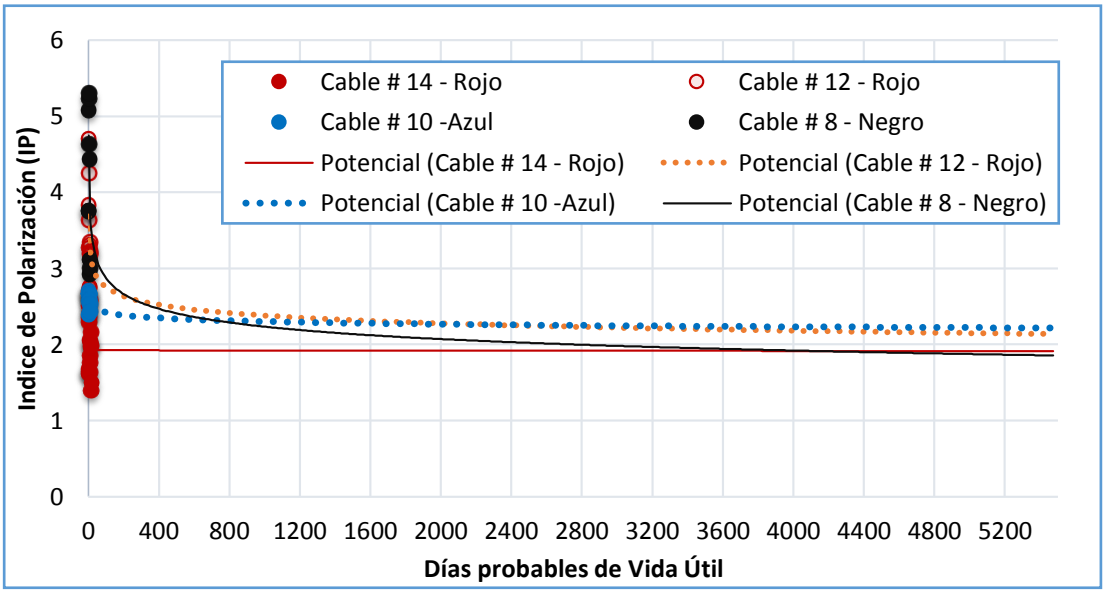

Figura 3-24: Vida Útil del cable calibre # $8, 10, 12\ Y\ 14\ AWG$ simulado como fase, en condiciones prescritas, considerando un IP aproximado de 2.

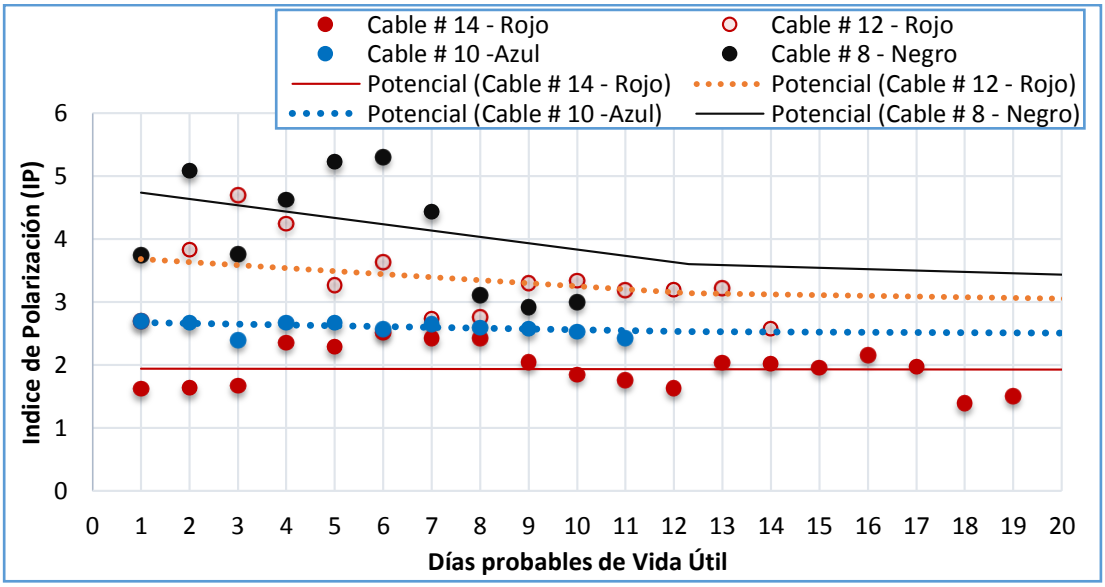

Figura 3-25: Ampliación de la **Fig. 3 -24.**

Además estos valores de IP, aparte de dar una mejor aproximación del comportamiento del aislamiento de un cable, indica de mejor manera el estado en el que se podría encontrar el mismo. Estos valores de IP vienen también a ser corroborados de mejor manera con los valores de resistencia que se tienen en las **Fig. 3- 26** y **3-27,** donde se observar de igual manera que en los casos anteriores que los valores de resistencia de aislamiento bajan al aumentar la sobrecarga, pero se mantienen relativamente constantes al tener una sobrecarga fija. Estos valores de resistencias pueden variar dependiendo de las condiciones temporales y/o experimentales pero tratando de mantenerlas similares a nuestras condiciones, lo más posible se podrían obtener para el tiempo de vida de 7 a 10 años un valor de resistencia aproximado de 47,96 y 49,87 $G\Omega$ en su parte más crítica (valor más bajo) que es para el cable # 14, aunque estos valores de resistencia son altos con relación a las normativas, el valor de IP no permite su aprobación para seguir en operación, por lo tanto debería de ser reemplazado. Este remplazo, no solo seria para los el cable 14, sino para todos ya que están infringiendo su valor de IP, por más alta que se tenga la resistencia de su aislamiento (que en el mejor de los casos para un tiempo de vida útil planteado es de 223,94 $G\Omega$, valor que se podría presentar en el cable # 8 Negro).

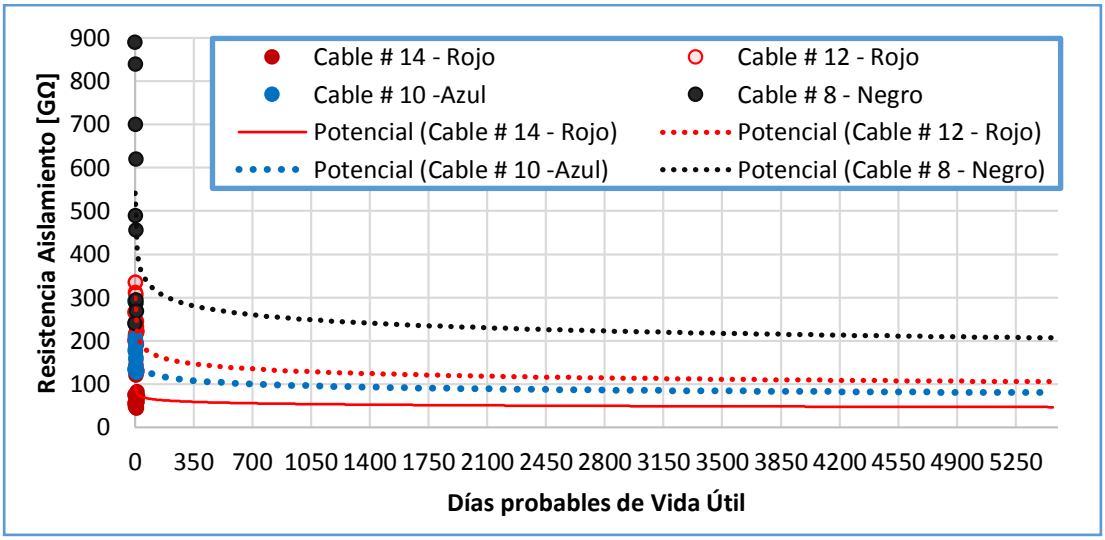

Figura 3-26: Vida Útil del cable calibre # 8, 10, 12 Y 14 AWG simulado como fase, en condiciones prescritas, refiriendo a su valor de resistencia de aislamiento.

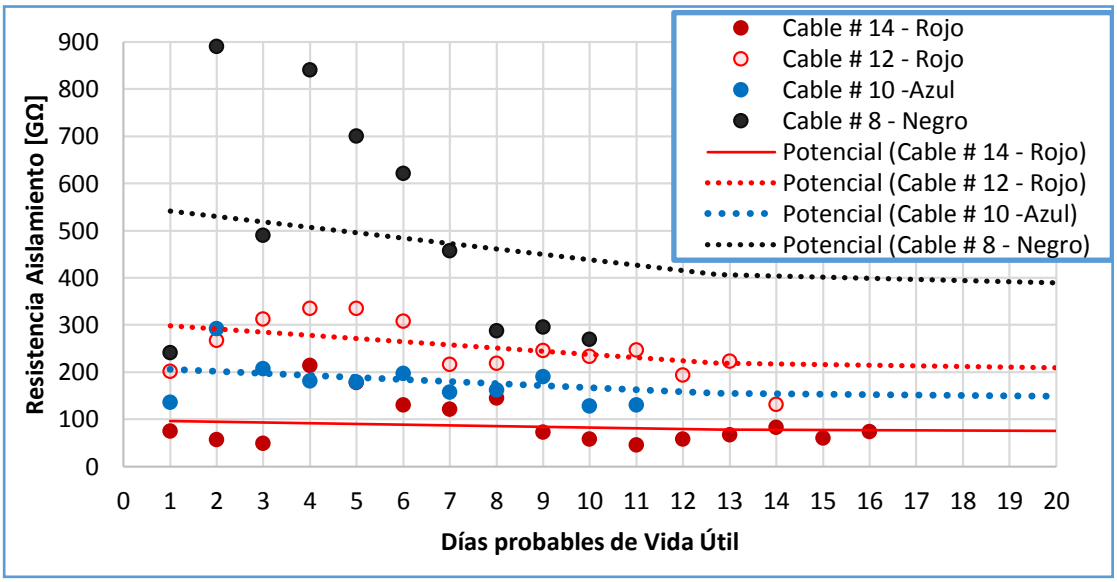

Figura 3-27: Ampliación de La Fig. 3 – 26.

Esta aproximación se realizó, con el fin de tener una noción del comportamiento que podría tener cada uno de los cables de prueba en un largo periodo de tiempo, con cierto valor de sobrecarga planteado. Para otros ajustes de debería realizar un análisis de los puntos tomados en las muestras para proceder a encontrar una nueva ecuación que permita observar cómo podría comportarse a largo plazo el o los cables. Aun que podríamos decir, que este caso planteado seria uno de los más extremos, ya que probablemente no admitirían tener un porcentaje más de sobrecarga (sobrecorriente) ya sea generado por un cortocircuito o por la misma carga. Es por ello, que aconsejamos no sobrecargar más del mencionado y se podría tener una vida de 7 a 10

años, si las condiciones de operación de los cables se mantienen menores a una hora diaria. Aunque cabe notar que 7 años es menos del 50% de la vida útil del cable que algunos expertos afirman.

3.2.3.2. CABLES QUE SIMULAN UN NEUTRO O RETORNO

Considerando que los cables de fase son los que soportan el mayor flujo de potencia (nos referimos a pérdidas de potencia que se puede interpretar tanto como valores técnicos), que los cables de neutro o retorno, las condiciones de sobrecarga serian iguales a las planteadas anteriormente, es decir; el tener un 20 % de sobrecarga en el cable calibre # 14, un 30% a los cables # 12, 10 y 8 AWG llegando a tener valores de IP cercanos a 2, se podría alcanzar aproximadamente la misma vida útil de operación segura de 7 a 10 años, igualmente manteniendo siempre una temperatura ambiente no mayor 21°C y una humedad del 50%, como se observa en las **Fig. 3-28 y Fig. 3-29**.

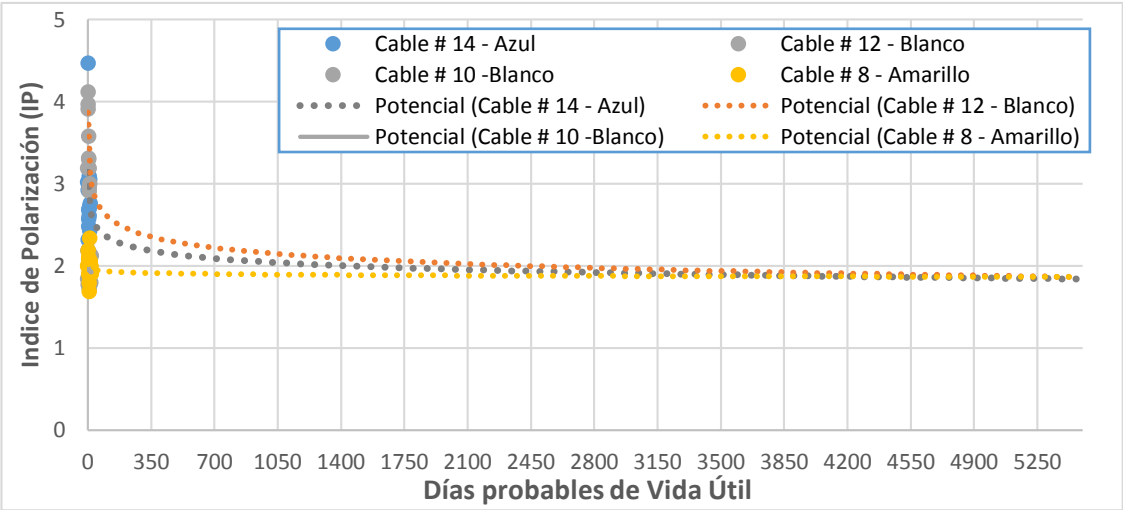

Figura 3-28: Vida Útil del cable Calibre # 8, 10, 12 Y 14 AWG simulado como neutro o retorno, en condiciones prescritas, considerando un IP aproximado de 2.

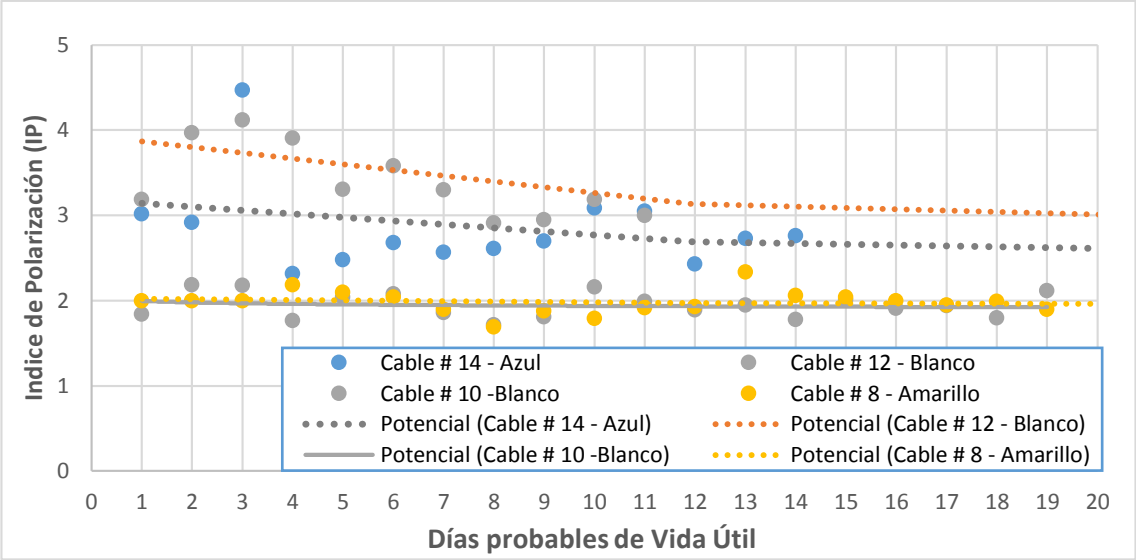

Figura 3-29: Ampliación de la **Fig. 3 -28.**

Los valores de IP para los cables que simularon un neutro o retorno, vienen acompañados por sus respectivos valores de Resistencia de aislamiento al igual que para los cables que simularon a una fase, teniendo su valor más bajo en el cable Blanco # 10 de aproximadamente 95 a 96,98$G\Omega$ y por otro lado su valor más alto en el cable Azul 14 de 104,57 a 115,04 $G\Omega$. Nuevamente considerando que si el valor de IP no está alrededor de 2 la magnitud de la resistencia podría no tomarse en cuanta y nuevamente estos cables tendrían que ser reemplazados a los 7 - 10 años de vida útil con los valores de sobrecarga señalados, estos valores de Resistencia de aislamiento se observan en la **Fig. 30** y **Fig. 31.**

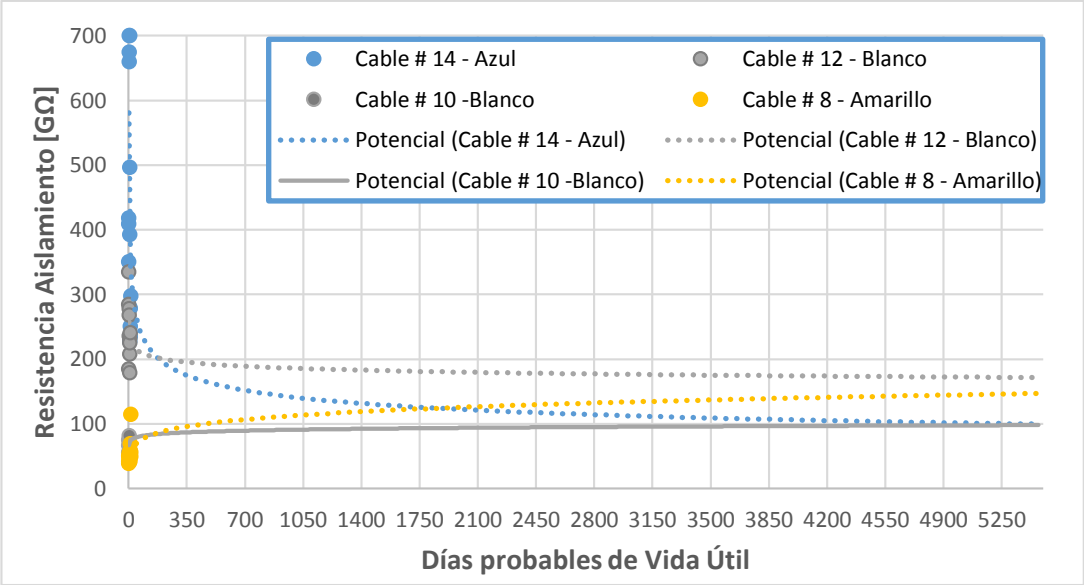

Figura 3-30: Vida Útil del cable calibre # 8, 10, 12 y 14 AWG simulado como neutro, en condiciones prescritas, refiriendo a su valor de resistencia de aislamiento.

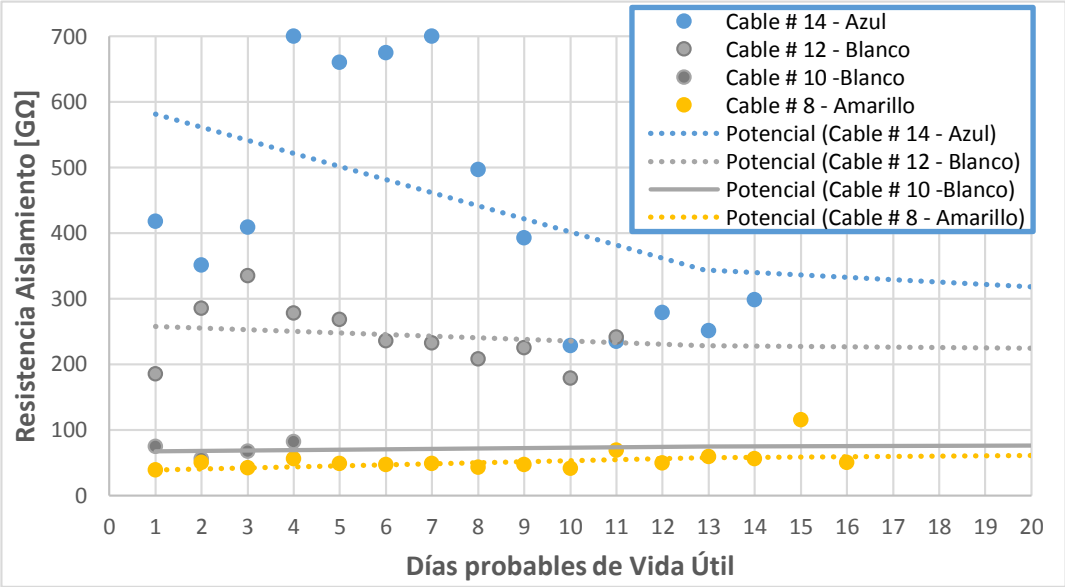

Figura 3-311: Ampliación de la **Fig. 30.**

Haciendo hincapié, a las dos muestras de cable calibre # 8 AWG Amarillo y 10 AWG Blanco, tienen un comportamiento distinto al resto de los cables, ya que su valor de resistencia de aislamiento aumenta por cierto de tiempo (mucho más elevado que el resto de muestras), y luego comienza su descenso. Notando que en cambio su valor de IP si disminuye lentamente. Esta elevación en el valor de resistencia de aislamiento, como se dijo podría darse por cierto proceso de secado del cable por ser de fábrica (nuevos).

Para encontrar estas aproximaciones se consideraron solo las primeras muestras (entre las 10 o 19 pruebas según lo nuestro criterio de análisis), en el caso del cable 10 se hizo un especial sondeo para escoger los puntos, ya que cómo se dijo anteriormente sube su resistencia en las primeras pruebas y luego baja en las últimas pruebas.

Cada una de las ecuaciones para este caso en particular de comportamiento de la vida útil de un cable con cierto valor de sobrecarga se da a conocer en la **Tabla 3-5**. La sobrecarga es de máximo

- 20 % de para el cable calibre # 14
- 30% a los cables # 12, 10 y 8 AWG,

Con valores de IP cercanos a 2, y una temperatura ambiente no mayor 21°C y una humedad del 50%

Tabla 3-5: Ecuaciones de las aproximaciones tendenciales para calcular la vida útil de un cable.

CALIBRE AWG	COLOR	ECUACIONES DE AJUSTE DE TENDENCIA DEL IP	ECUACIONES DE AJUSTE DE TENDENCIA DE LA RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO
14	ROJO	$IP = 1{,}94098761 * t^{-0{,}00161749}$	$Ra = 96{,}69833412 * t^{-0{,}08379993}$
	AZUL	$IP = 3{,}14056140 * t^{-0{,}06210523}$	$Ra = 581{,}05871398 * t^{-0{,}20498174}$
12	ROJO	$IP = 3{,}68572520 * t^{-0{,}06329575}$	$Ra = 298{,}56693933 * t^{-0{,}12083085}$
	BLANCO	$IP = 3{,}86617186 * t^{-0{,}08466945}$	$Ra = 257{,}67101946 * t^{-0{,}04722498}$
10	AZUL	$IP = 2{,}67708593 * t^{-0{,}02190340}$	$Ra = 205{,}74880705 * t^{-0{,}10926542}$
	BLANCO	$IP = 1{,}99679192 * t^{-0{,}01289753}$	$Ra = 66{,}90692287 * t^{0{,}04437996}$
8	NEGRO	$IP = 4{,}74477371 * t^{-0{,}10908595}$	$Ra = 540{,}88514624 * t^{-0{,}11161144}$
	AMARILLO	$IP = 2{,}01877659 * t^{-0{,}00921266}$	$Ra = 38{,}51164279 * t^{0{,}15551655}$

Las ecuaciones planteadas en la **Tabla 3-5**, que determinaran la probable Vida Útil de cualquier cable de prueba planteado como ejemplo. En estas ecuaciones t reperenta el tiempo de vida útil del cable e IP representa el valor del índice de polarización, el cual puede ser mejor aproximación para establecer el estado en que se encuentra el aislamiento del cable.

- Si se tienen condiciones iguales a las nuestras, donde no se produzcan sobrecorrientes (sobrecargas) en el cable más elevadas que las planteadas (20

% de para el cable calibre # 14 y 30% a los cables # 12, 10 y 8 AWG), se pueden usar estas ecuaciones de la Tabla 3-5 de donde se tendría que despejar t para encontrar el tiempo aproximado probable de vida útil del cable, donde tendríamos como valor conocido el IP, que no debe de ser menor a 2, para poder garantizar que el aislamiento está en buenas condiciones.

- Si no se tienen condiciones parecidas; se deberían:
  - Corroborar que el cable a utilizar (nuevo cable a estudiar su comportamiento) tenga las características parecidas a los de las pruebas (a la de los cables calibres # 8, 10, 12 y/o 14).
  - Si tienen parecidas características, elegir un cable de prueba de este documento.
  - Considere el valor de sobrecarga del cable a estudiar.
  - Analizar, Elegir y Ajustar los puntos (valores obtenidos de IP) de las pruebas realizadas a los distintos cables mostrados en las **Fig. 3-22 y 3-23**; es decir eliminar o ajustar los puntos que podrían producir picos a las curvas de tendencia o ajuste, considerando el valor de sobrecarga a la que posiblemente estará expuesto el nuevo cable de estudio.
  - Proceder a realizar un nuevo ajuste matemático, es decir, encontrar una nueva ecuación de ajuste de tendencia del IP (el ajuste queda a criterio técnico del interesado), pero siempre considerando el valor de sobrecarga y el valor mínimo de IP de 2.
  - Despejar el tiempo de la nueva función e imponerse un valor de IP igual o superior a 2 para encontrar el tiempo de vida Útil.

Si se requiere conocer el valor de resistencia de aislamiento proceda de la misma forma y cuando tenga calculada la ecuación, reemplace el tiempo (en días) por el encontrado por medio de la ecuación de

Destacando que este ajuste es solo como un ejemplo práctico, se podría decir que, para realizar un mejor ajuste tendencial de cualquier cable se realicen con mucho más pruebas en posteriores estudios utilizando más días el mismo valor de sobrecarga al cable, con el fin de tener más puntos a mismas condiciones, ya que 34 pruebas podrían considerarse como mínimas para establecer con certeza el comportamiento tendencial de un cable ante sobrecarga a mediano o largo plazo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El estado (características mecánicas y/o eléctricas) del aislamiento de cualquier conductor aislado (cable) permite determinar si sus condiciones de funcionamiento u operación están o no dentro de un rango apropiado donde con los menores riesgos de falla posibles. Para el caso de los cables THHN o THWN/THWN-2 se considera que una las condiciones normales de operación son a cierta corriente (25 Amperios para el cable calibre # 14, 30 Amperios para el cable calibre # 12, 40 Amperios para el cable calibre # 10 y 55 Amperios para el cable calibre # 8), se debe tener como máximo una temperatura de 90°C sobre su aislamiento, trabajando a 600 Voltios en lugares secos o húmedos ya sea para los cables THHN y/o THWN/THWN-2 y en lugares mojados 75°C para los cables THHN o THWN y 90°C para cables THHN/THWN-2.

- Según la experimentación realizada en las cuatro muestras de cable establecidas , todos los cables presentes, o en su mayoría, en las instalaciones civiles de la ciudad de Cuenca son capaces de transportar el 100% de la carga, aunque esto solo puede ocurrir por situaciones de emergencia las cuales no deben superar periodos de una hora diaria como máximo, debido a que el límite de la carga de un cable está dado por la temperatura que alcanza el aislante del mismo, teniendo como consecuencia la reducción de sus características aislantes y por ende se reduciría drásticamente la vida útil del material aislante presente en el cable. El calentamiento de un conductor aislado afecta a su aislante debido que éste actúa como una barrea térmica, dificultando en mayor grado la disipación de calor al ambiente cuando un conductor está sometido a sobrecarga.

- Una corriente de cortocircuito se puede dar en el extremo del cable, como en las condiciones que se realizaron las pruebas de sobrecarga eléctrica en la experimentación; para lo cual un dispositivo de protección puede limitar esta corriente. Puede ocurrir que la corriente de cortocircuito circule por el tiempo de actuación de la protección y el calor por el efecto joule en el cable no pueda disiparse lo que no le permitiría intercambiar calor con su entorno. A

medida que la corriente de cortocircuito aumenta en magnitud el tiempo durante el cual ocurre disminuye, lo cual produce un aumento en la falla debido a que la elevación de la temperatura en el conductor aislado y en el aislante que lo rodea aumentan en una forma que no es inmediata de anticipar, dependiendo también en su gran parte de los sistemas de protección de la instalación. Es por esto que no siempre las peores condiciones de aumento súbito de temperatura en el cable es producto del cortocircuito causado por la máxima corriente, en ciertas ocasiones la mínima corriente que permanece durante largos tiempos puede llegar a ser peligroso y fatal para una instalación sobre todo haciendo referencia a tiempos de vida útil de los cables.

- Todas las muestras de cables poseen un comportamiento similar al incrementar la corriente de sobrecarga, ya que en primer lugar esta corriente hace que se caliente el aislamiento del cable y por lo tanto se seque, elevando de esta manera el valor de la resistencia de aislamiento medida se eleve a valores muy elevados con respecto a la inicial (cuando está todavía nuevo el cable), y en segundo lugar al ir elevando la corriente con cada prueba se hace que el aislamiento pierda sus características eléctricas aislantes por medio de la eliminación de la humedad natural que poseen los compuestos de PVC y Nylon que componen todo el aislante.

- Se podía observar que el aislante conserva sus condiciones físicas mientras se mantenga su valor nominal de temperatura de 90°C posiblemente hasta unos 110 °C pero no más allá de esta temperatura. Cabe destacar que para alcanzar ese valor de temperatura se tuvo que sobrecargar a los cables de la siguiente manera:

    - Cable calibre # 14 AWG, con una sobrecarga máxima aproximada de 25% al 30%. Considerando que el cable nominalmente soporta 25A.

    - Cable calibre # 12 AWG, con una sobrecarga máxima aproximada de 30 % al 35 %. Considerando que el cable nominalmente soporta 30A.

- Cable calibre # 10 AWG, con una sobrecarga máxima aproximada de 30 % al 40 %. Considerando que el cable nominalmente soporta 40A.
- Cable calibre # 8 AWG, con una sobrecarga máxima aproximada de 30 % al 40 %. Considerando que el cable nominalmente soporta 55A.

Cabe destacar que estos valores de sobrecarga están hechos para valores de Humedad promedio de 50,06 % y Temperatura ambiente promedio de 20,87 °C. Además, los rangos de porcentaje se determinaron con la ayuda de las tablas mostradas en la Sección 3.1, donde se observa que la resistencia de aislamiento mantiene valores medidos acumulados en cierta área (valores de sobrecorriente) sufriendo un muy reducido desgaste o degradación de su aislamiento.

- Se pudo constatar que una parte del aislamiento se destruye más rápido que otras, es decir, el nylon fue el primero en degradarse ya que llegó a secarse tanto que produjo su resquebrajamiento o agrietamiento, este agrietamiento se observa con mayor pronunciación cuando el cable entra en el proceso de enfriamiento luego de aplicar la sobrecarga (que podría ser muy larga o numerosas sobrecargas que es nuestro caso) y es manipulado. Se resquebraja aproximadamente a los 110-120 °C.
- El calentamiento del cable como es de esperarse es mucho más elevada dentro de la tubería que el cable sin ninguna protección (sin tubería), ya que al estar entubado calienta de manera más rápida el aire contenido entre este y la tubería y por ende acelera su calentamiento. Pudo observarse que la variación de temperatura dependía mucho de cómo estaban los cables tanto dentro como fuera de la tubería, es decir si estaban paralelos o estaban trenzados. La diferencia de temperatura oscila de entre 10°C y 60 °C.
- Basándonos en el Código NEC que nos dice que la protección contra sobrecorriente de los conductores no debe superar los 15 amperios para el conductor # 14 AWG; 20 amperios para un cable # 12 AWG y 30 amperios para 10 AWG, podrían estos valores ser aumentados sin que sufran ninguna degradación los aislamientos de los diferentes cables, es decir, instalar:

- Un interruptor termomagnético de 20 Amperios para cables Calibre # 14 AWG. Se llegaría a temperaturas menores 65°C. ya que esta se llega cuando se trabaja con 25 Amperios.
- Un interruptor termomagnético de 30 Amperios para cables Calibre # 12 AWG. 60. Se llegaría solo a temperaturas aproximadas de 60°C
- Un interruptor termomagnético de 40 Amperios para cables Calibre # 10 AWG. Se llegaría a temperaturas menores a 60°C.
- Un interruptor termomagnético de 50 Amperios para cables Calibre # 8 AWG. Llegando a tener temperaturas menores a los 60°C.

Estos valores de corriente son los nominales de trabajo o funcionamiento óptimo para cada cable, es decir; sin sobrecarga; a excepción del cable # 14 y # 8 que trabajarían a corrientes menores a la nominal. Estas corrientes se admitirían en valores de Humedad promedio de 50,06 % y Temperatura ambiente promedio de 20,87 °C. Además estos valores de temperatura de 60 o 65°C están dentro del rango permitido de temperatura de operación de un cable THHN que es de 90°C.

- En relación a la sección 3.1.4 se puede concluir que al aumentar la temperatura del cable se comienza a degradar su aislamiento, mientras más se sobrecarga el cable mayor es la perdida de características aislantes del cable, y si la sobrecarga es excesivamente, sin importar el tiempo de duración de la misma, se puede hasta llegar a una destrucción total del aislamiento, lo cual en la vida real probablemente no solo afectaría a la instalación inmersa en la sobrecarga, sino a instalaciones adyacentes o próximas, llegando en el peor de los caos (y que el más común) a provocar incendios de edificaciones.

- El comportamiento de la Resistencia del aislamiento es bueno en los rangos de temperatura de 90°C a 125°C, pero como se dijo las 4 muestras sobresalen en sus valores de resistencia en rangos superiores a 90°C y no superiores a 100°C; pero si se poseen tuberías que soporten estos valores, caso contrario sería máximo de 90°C si es manguera.

- A parte de tener una limitante en la sobrecarga de conductores aislados utilizados en las instalaciones eléctricas civiles en la ciudad de Cuenca, que no es más que su aislamiento, se tiene una limitante más, que es la tubería

(manguera), que protege al cable de golpes o rasgaduras en su instalación, ya que esta solo soporta aproximadamente 90-110°C antes de comenzarse a derretir, lo que significa que a los cables solo se los puede sobrecargar un 20 % para los cables # 14 y un 30% para los cables 8, 10 y 12 AWG, tomando en cuenta las condiciones de funcionamiento (temperaturas, humedad y entre otros) de los cables en nuestro ensayos, además de que solo se tienen 2 cables de muestra por cada tubería.

- Durante los ensayos se pudo observar que una limitante más para sobrecargar las Instalaciones Eléctricas Civiles no solo en la Ciudad de Cuenca, es los empalmes de cables que están protegidos con Cintas Aislantes, ya que estas al llegar a los 80°C y 100°C se comienzan a dilatar tanto que pierden su adhesivo y por ende el contacto con el conductor de cobre, dejando la instalación más propensa a daños por cortocircuito.

- A partir del análisis de las mediciones de las diferentes variables que se evaluaron durante la experimentación, se identificó que a mayor sobrecarga eléctrica y conformen pasan los días de prueba de envejecimiento acelerado el índice de polarización tiende a decrecer, lo cual indica que el aislante sólido que recubre el conductor pierde sus propiedades. El comportamiento a lo largo de la experimentación muestra que el IP es un mejor parámetro de indicación de este fenómeno debido a que, contrario a la resistencia de aislamiento, se puede observar de mejor manera la reducción del aislamiento en un cable ya que las medidas de la resistencia de éste presentan alta variabilidad y además no hay como establecer de forma adecuada si el aislante está perdiendo o no sus propiedades, ya que las unidades que maneja que van de Giga Ohmios a Mega ohmios.

- Para las tendencias que describen la evolución de las variables estudiadas es necesario aclarar que no se estableció un modelo matemático para poder predecir el comportamiento del aislante de los cables de muestra ante los diferentes escenarios simulados durante los 34 días de prueba, sino para poder establecer su comportamiento se utilizaron las regresiones del tipo polinómicas planteadas en el análisis ayudan a construir un modelo estadístico que describe el impacto del escenario planteado o día de prueba sobre la resistencia de aislamiento del cable o el índice de polarización que

son parámetros que ayudan a determinar el estado actual del aislante que recubren los conductores de una instalación.

- El envejecimiento del aislamiento de un cable no solamente se puedo observar en la degradación de su resistencia e IP, sino también de forma visual, ya que los cables en especial los de color blanco cambiaron en todo su área de color a uno marrón opaco, en cambio en los extremos de todos los cables (rojo, azul, blanco, negro y amarillo) a un color marrón obscuro. Todos los colores excepción del blanco no tuvieron visualmente mayor repercusión en su color del aislante. Notando que las peores situaciones de un cable se presentaron en los empalmes (uniones) y en lugares donde los cables se encontraban más entrelazados (trenzados), es estos lugares durante los ensayos el cable se incendió.

- Al final de las pruebas se pudo observar que los cables de muestra presentan poros en su aislamiento que podrían haberse dado por el efecto del calentamiento del cable, estos "huecos" presentes en gran cantidad en algunos cables como se observan en las imágenes del **Anexo A.2.2**, los cuales pudieron haberse generado debido a que el aislamiento del cable es un termoplástico (basado en compuestos de carbono) y que al calentarse hasta cierto punto pierde algunas características físicas (constructivas) y por ende no regresa a su estado inicial, es decir, deja unos espacios vacíos mucho más pronunciados al sobre calentarse gradualmente; estos poros pueden ser la consecuencia de que algunos cables tengan un comportamiento de su resistencia un poco diferente a los demás, se podría concluir, que estos poros al ser más pronunciados y en mayor cantidad (más espacio vacío) probablemente provocan que la resistencia varíe en mayor grado en algunas muestras de cables, aunque no se podría aseverar esto, ya que no se cuenta con los equipos necesarios para observar el interior del aislamiento sin destruirlo, y por ende no se conoce con certeza que estuvo ocupando anteriormente el espacio vacío de estos poros.

RECOMENDACIONES

- Los detalles de la instalación de los cables influyen en gran medida en la transmisión y disipación del calor presente. Los cables que se encuentran en tubería, como en la mayoría de las instalaciones civiles tienden a calentarse unos con otros, lo cual vuelve difícil la disipación adecuada del calor pudiendo provocar fallos generales de toda la instalación al pasar el tiempo. Hay que tener en cuenta la máxima capacidad de cables que deben ser introducidos en una tubería sobre todo cuando se proyecta un tendido general de cables.

- Por lo general el fabricante de cables incluye valores en sus catálogos que indican la capacidad de transporte del cable por cada sección, con lo cual debe tenerse cuidado cuando se haga una comparación entre fabricantes o entre fabricaciones de cables hechas con distintas normas, debido a que las condiciones de referencia de cada uno cambian con lo cual el ingeniero o técnico eléctrico debe tener esto en cuenta para lograr una adecuada homologación de todos los cables que vayan a ser instalados.

- Mejorar las condiciones del laboratorio de ensayos, haciendo referencia a la ubicación de equipos como la soldadora, con el fin de no tener mucha variabilidad en la temperatura del Cable por medio de la temperatura ambiente.

- Se recomendaría utilizar:

    - Un interruptor termomagnético de 20 Amperios para cables Calibre # 14 AWG, para circuitos de iluminación.

    - Un interruptor termomagnético de 30 Amperios para cables Calibre # 12 AWG. 60, para circuitos de fuerza o tomacorrientes.

    - Un interruptor termomagnético de 40 Amperios para cables Calibre # 10 AWG, que comúnmente es utilizado en circuitos especiales.

    - Un interruptor termomagnético de 50 Amperios para cables Calibre # 8 AWG, en circuitos especiales o en acometidas inclusive.

Considerando que las temperaturas no sean superiores a 21°C y con 50% de Humedad. Aunque queda al criterio del Ingeniero o técnico, que tipo de protección utilizar a cada circuito, esto con el fin de aumentar la confiabilidad de la Instalación Civil.

- Se recomendaría que para estudios posteriores los ensayos con cables 8, 10, 12 y 14 AWG utilizados en instalaciones civiles, se realizasen o se mejoren las condiciones de prueba, aproximando los más posible a la realidad, con lo cual se podría decir, que se ubiquen más muestras de cables por tubería ya sea del mismo de diferente calibre, dependiendo de la parte de la instalación eléctricas que se analice o se quiera analizar.
- Se recomienda para próximas experimentaciones, siempre cubrir los cables de muestra con un escudo metálico el cual debe estar con conexión a tierra, lo cual permite obtener buenas medidas de la resistencia del aislamiento. para esta función existen algunos elementos metálicos disponibles como:
    - Cinta de metal plana helicoidal envuelta
    - Cinta de metal corrugado longitudinal
    - Escudos de alambres
    - Cables neutros concéntricos
    - Funda continua soldada de metal corrugado que puede ser de cobre o aluminio, entre otros ejemplos.

  Éstos escudos metálicos conectados a tierra eliminan el flujo de corriente superficial del cable al que se le está aplicando una prueba de medición de resistencia de aislamiento, que de no realizar este cubrimiento las medidas pueden variar simultáneamente, lo cual no indica el verdadero valor de la resistencia medida.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Willian A. Thue. (Ed.). (2003), Electrical power cable engineering (2da Ed.). Nueva York: Marcel Dekker.

[2] Farina, A. (2011). Cables y conductores eléctricos. Buenos Aires: Librería y editorial Alsina.

[3] Farina, A. (2011). Cables y conductores, su tecnología y empleo. Buenos Aires: Librería y editorial Alsina.

[4] Probabilidad y Estadística para Ingenieros/ Ronald E. Walpole, Myers Raymond h. y Sharon L. Myers/ Octava Edición

[5] Libro Redes de distribución de energía eléctrica/ Tercera Edición / Samuel Ramírez Cataño /universidad Nacional de Colombia / sede Manizales/ Enero 2004.

[6] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 204:2013/ COBRE RECOCIDO PATRÓN PARA USO ELÉCTRICO - REQUISITOS/ Primera revisión/ Quito / Ecuador.

[7] RESUMEN NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1332/ ALAMBRES Y CABLES CON AISLAMIENTO TERMOPLÁSTICO/ 2011-11-30/ Sexta actualización/ Editada 2011-12-097 por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) Apartado 14237/ Bogotá/Colombia/Tel. (571) 6078888 / Fax (571) 2221435

[8] Norma UNE 211435:2007/ Guía para la elección de Cables Eléctricos de tensión asignada superior o igual a 0,6/1 kV para circuitos de distribución de Energía Eléctrica/

[9] Ecuador, Instituto ecuatoriano de normalización. (2004). Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 345:2004: Conductores y alambres aislados con material termoplástico. Requisitos. Quito: autor.

[10] U.S.A, Underwriters Laboratories Inc. (2001). UL 1581: Reference Standard for electrical wires, cables, and flexible cords (4° Ed.). Washington DC: author.

[11] U.S.A, Underwriters Laboratories Inc. (2001). UL 83: Thermoplastic-insulated wires and cables (12° Ed.). Washington DC: author.

[12] National Electrical Code (NEC)/ International Electrical Code Series/ 2014/ Quiny/ Masachusetts/ Copyright 2013/ National Fire Protection Association/ Disponible en: https://archive.org/stream/nfpa.nec.2014#page/n779/mode/2up.

[13] ALAMBRES Y CABLES DE BAJA TENSIÓN PARA CONSTRUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN/ EMPRESA LATINCASA/ www.conductoreslatincasa.com.mx

[14] NORMA INTERNACIONAL IEC 60811-1-1 EDICIÓN 2.1 DEL 07 DE 2011, "MÉTODOS DE ENSAYO COMUNES PARA MATERIALES DE AISLAMIENTO Y CUBIERTA DE CABLES ELÉCTRICOS Y CABLES ÓPTICOS"

[15] Borja, C. Cuji, V. (2013). Metodología para la especificación de requerimientos de software basados en el estándar IEEE 830-1998. Obtenida el 5 de noviembre de 2014 de Universidad Politécnica Salesiana, Repositorio Digital: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5264/1/UPS-CT002757.pdf.

[16] Iza, E. (2001). Metodología para la determinación el factor de potencia de cargas no lineales en un sistema de distribución. Obtenida el 5 de noviembre de 2014 de Escuela Politécnica Nacional, Repositorio Digital: http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8327/1/1769.pdf.

[17] Carrera, J. Ordoñez, F. (2011). Análisis de calidad de energía en TAGSA. Obtenida el 6 de noviembre de 2014 de Universidad Politécnica Salesiana, Repositorio Digital: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1662.

[18] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE. (1994). IEEE Std. 1143-1994: IEEE guide on shielding practice for low voltage cables. New York: Author.

[19] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE. (2010). IEEE Std. 101-1987(R2010): IEEE guide for the statistical analysis of thermal life test data. New York: Author.

[20] Comisión Electrotécnica Internacional, IEC. (1996). IEC 60071-1: Coordinación de aislamiento (7ª Ed.). Ginebra: Autor.

[21] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE. (2000). IEEE Std. 43-2000: IEEE Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery. New York: Author.

[22] México, Secretaría de comercio y fomento industrial (1981). Norma mexicana NMX-J-309-1981: Conductores aislados-método de prueba de tensión de impulso a la ruptura. México: Departamento de Normas.

[23] México, Secretaría de comercio y fomento industrial (1984). Norma mexicana NMX-J-294-1984: Productos eléctricos-conductores-resistencia de aislamiento-método de prueba. México: Departamento de Normas.

[24] Portocarrero, O. (2011). Determinación de los protocolos de prueba en alta tensión a ser aplicados en equipos y materiales utilizados en nivel de hasta 22 kV. Obtenida el 6 de noviembre de 2014 de Universidad Politécnica Salesiana, Repositorio Digital: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2230/13/UPS-CT002412.pdf.

[25] DAVID O. JONES - JEFFREY R. JOWERR- S. GRAEME THOMSON- DAVID S. DANNER. (2002). MEGGER: Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento. Obtenido el 20 de junio de 2014 de sitio web: www.megger.com/ http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5078414&fecha=26/01/2009.

[26] Cárdenas, D. Rosado, J. (2010). Georreferenciación e implementación de una base de datos y software, análisis y propuesta de mejoramiento de la infraestructura de telecomunicaciones de la corporación nacional de telecomunicaciones de la sucursal cañar. Obtenida el 7 de noviembre de 2014 de Universidad Politécnica Salesiana, Repositorio Digital: http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/414/14/UPS-CT001850.pdf.

[27] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE. (1986). IEEE Std. 1-1986: IEEE Standard general principles for temperature limits in the rating of electric equipment and for the evaluation of electrical insulation. New York: Author.

[28] Caranton, A. (2012). Evaluación de vida útil residual de aislamiento compuesto de mica y resina con base en pruebas de envejecimiento acelerado. Obtenida el 7 de noviembre de 2014 de Universidad nacional de Colombia, Repositorio Digital: http://www.bdigital.unal.edu.co/6500/1/300042.2012.pdf.

[29] VOLTECH/ TRUPER S.A/ http://www.voltech.com.mx/cables.php

[30] Protección de Sistemas Eléctricos/ Samuel Ramírez Castaño/ Profesor Asociado/ Primera Edición/ Universidad Nacional de Colombia/ Manizales.

[31] Norma IEEE Std 242-2001/ Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems- Book/ Approved 25 October 2001.

ANEXO 1.

A1.1. FORMULARIO DE ENCUESTA PARA INGENIEROS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

FORMULARIO PARA ENCUESTAS SOBRE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS CIVILES EN LA CIUDAD DE CUENCA

1. DATOS PERSONALES

NOMBRES Y APELLIDOS (opcional):			
PROFESIÓN:			
Ing. Eléctrico ⊡	Ing. Electrónico ⊡	Técnico ⊡	Otro:_____
FECHA	_____ / _____ / 2014		

2. TIPO DE CABLE QUE UTILIZA PARA REALIZAR LAS INSTALACIONES CIVILES. HACIENDO REFERENCIA A SU AISLAMIENTO

- **CABLE RÍGIDO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **CABLE FLEXIBLE**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **GEMELO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **SEMIRRÍGIDO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **SUPERFLEX**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **OTRO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

3. CALIBRE DE CABLE QUE UTILIZA PARA CONSTRUIR CIRCUITOS DE ILUMINACIÓN

C.C.: CÓDIGO INTERNACIONAL DE COLES DE CABLES ELÉCTRICOS

	CALIBRES AWG	COLOR
FASE	12⊡ 14⊡ 16⊡ **OTROS:** _____	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
NEUTRO	12⊡ 14⊡ 16⊡ **OTROS:** _____	BLANCO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
TIERRA	12⊡ 14⊡ 16⊡ **OTROS:** _____	VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ VERDE/AMARILLO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
RETORNO	12⊡ 14⊡ 16⊡ **OTROS:** _____	AZUL ⊡ AMARILLO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____

4. CALIBRE DE CABLE QUE UTILIZA PARA CONSTRUIR CIRCUITOS DE FUERZA

	CALIBRES AWG	COLOR
FASE	8⊡ 12⊡ 14⊡ **OTROS:** _____	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
NEUTRO	10⊡ 12⊡ 14⊡ **OTROS:** _____	BLANCO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
TIERRA	10⊡ 12⊡ 14⊡ **OTROS:** _____	VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ VERDE/AMARILLO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____

5. CALIBRE DE CABLE QUE UTILIZA PARA CONSTRUIR CIRCUITOS ESPECIALES COMO: COCINAS ELÉCTRICAS (EN LA ACTUALIDAD), DUCHAS ELÉCTRICAS, ENTRE OTROS ELECTRODOMÉSTICOS

	CALIBRES AWG	COLOR
FASE	8 ⊡ 10⊡ 12⊡ **OTROS:** _____	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
NEUTRO	8 ⊡ 10⊡ 12⊡ **OTROS:** _____	BLANCO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____
TIERRA	8 ⊡ 10⊡ 12⊡ **OTROS:** _____	VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ VERDE/AMARILLO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS** ⊡: _____

6. CALIBRE DE CABLE QUE UTILIZA PARA CONSTRUIR CIRCUITOS DE ACOMETIDAS

	CALIBRES AWG	COLOR
FASE	6⊡ 8⊡ 10⊡ OTROS: _____	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL C.C. ⊡ **OTROS ⊡:** _____
NEUTRO	6⊡ 8⊡ 10⊡ OTROS: _____	BLANCO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS ⊡:** _____
TIERRA	6⊡ 8⊡ 10⊡ OTROS: _____	VERDE ⊡ VERDE/AMARILLO ⊡ C.C. ⊡ **OTROS ⊡:** _____

7. CUAL ES DISTRIBUIDOR DE CABLES ELÉCTRICOS (ALMACÉN, FÁBRICA, DISTRIBUIDOR)

_____

_____

_____.

Dirección:

_____

_____

_____.

A1.2. FORMULARIO DE ENCUESTA PARA EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE CABLES ELÉCTRICOS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

FORMULARIO PARA ENCUESTAS SOBRE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS CIVILES EN LA CIUDAD DE CUENCA

1. DATOS PERSONALES

NOMBRE DEL LOCAL (opcional):	
Tipo: Almacén ⊡ Distribuidor ⊡ Otro ⊡ _____	
FECHA	_____ / _____ / 2014

2. TIPO DE CABLE QUE MÁS SE DEMANDA PARA LA CONSTRUCCIÓN INSTALACIONES ELÉCTRICAS. HACIENDO REFERENCIA A SU AISLAMIENTO

- **CABLE RÍGIDO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **CABLE FLEXIBLE**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **GEMELO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **SEMIRRÍGIDO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **SUPERFLEX**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

- **OTRO**

  THW ⊡ THHN O THWN/THWN – 2 ⊡ OTRO ⊡ _____

3. CABLE QUE MÁS SE DEMANDA. HACIENDO REFERENCIA A SU CALIBRE Y SU COLOR DE AISLAMIENTO

CALIBRE (AWG)	COLOR
14	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL ⊡ BLANCO ⊡ VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ **OTROS** ⊡: _____
12	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL ⊡ BLANCO ⊡ VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ **OTROS** ⊡: _____
10	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL ⊡ BLANCO ⊡ VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ **OTROS** ⊡: _____
8	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL ⊡ BLANCO ⊡ VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ **OTROS** ⊡: _____
6	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL ⊡ BLANCO ⊡ VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ **OTROS** ⊡: _____
OTRO	NEGRO ⊡ ROJO ⊡ AZUL ⊡ BLANCO ⊡ VERDE ⊡ AMARILLO ⊡ **OTROS** ⊡: _____

A1.3. CONDUCTORES AISLADOS Y CABLES ELÉCTRICOS

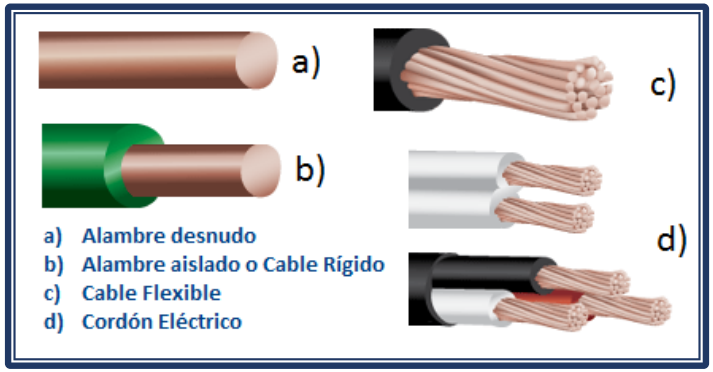

Figura A.1-1: Diferencia entre cable, alambre y cordón eléctrico **[32].**

Tabla A.1-1.: Dimensiones de Conductores Eléctricos **[1].**

TAMAÑO	DIÁMETRO DE CONDUCTOR SÓLIDO								ÁREA TRANSVERSAL DE CONDUCTOR					
									NOMINAL		MÍNIMO			
	Nominal		Mínimo (c)		Máximo (c)		Mínimo (d)				0,98 x Nominal (a)		0,97 x Nominal (b)	
	mils	mm	0,98 x nominal	mm	1,01 x nominal	mm	0,99 x nominal	mm	cmil	mm2	cmil	mm2	cmil	mm2
AWG														
56	0,49	0,012	0,48	0,0122	0,495	0,0126	0,485	0,0123	0,240	0,000122	0,235	0,000119	-	-
55	0,55	0,014	0,54	0,0137	0,556	0,0141	0,545	0,0138	0,302	0,000153	0,296	0,00015	-	-
54	0,62	0,016	0,61	0,0154	0,63	0,0159	0,614	0,0156	0,384	0,000195	0,376	0,000191	-	-
53	0,7	0,018	0,69	0,0174	0,71	0,018	0,69	0,0176	0,49	0,000248	0,48	0,000243	-	-
52	0,78	0,020	0,76	0,0194	0,79	0,200	0,77	0,0196	0,6080	0,000308	0,596	0,000302	-	-
51	0,88	0,022	0,86	0,0219	0,89	0,0226	0,87	0,0221	0,7740	0,000392	0,759	0,000384	-	-
50	0,99	0,025	0,97	0,0246	1	0,0254	0,98	0,0249	0,9800	0,000497	0,96	0,000487	-	-
49	1,11	0,028	1,09	0,0276	1,12	0,0285	1,1	0,0279	1,2300	0,000624	1,21	0,000611	-	-
48	1,24	0,032	1,22	0,0309	1,25	0,0318	1,23	0,0312	1,5400	0,000779	1,51	0,000765	-	-
47	1,4	0,036	1,37	0,0348	1,41	0,0359	1,39	0,0352	1,9600	0,000993	1,92	0,000973	-	-
46	1,57	0,040	1,54	0,0391	1,59	0,0403	1,55	0,0395	2,4600	0,00125	2,41	0,00122	-	-
45	1,76	0,045	1,73	0,0438	1,78	0,0452	1,74	0,0443	3,1000	0,00157	3,04	0,00154	-	-
44	2	0,051	1,96	0,05	2,02	0,0513	1,98	0,05	4,0000	0,00203	3,92	0,00199	-	-
43	2,2	0,056	2,16	0,055	2,22	0,0564	2,18	0,055	4,8400	0,00245	4,74	0,0024	-	-
42	2,5	0,064	2,45	0,062	2,53	0,0641	2,48	0,063	6,25	0,00317	6,13	0,00310	-	-

41	2,8	0,071	2,7	0,07	2,83	0,072	2,77	0,07	7,84	0,00397	7,68	0,00389	-	-
40	3,1	0,079	3	0,077	3,13	0,08	3,07	0,078	9,61	0,00487	9,42	0,00477	-	-
39	3,5	0,089	3,4	0,087	3,54	0,09	3,47	0,088	12,20	0,00621	12	0,00606	-	-
38	4	0,102	3,9	0,100	4,04	0,103	3,96	0,101	16,00	0,00811	15,7	0,00795	-	-
37	4,5	0,144	4,4	0,112	4,55	0,115	4,46	0,113	20,20	0,0103	19,8	0,0100	-	-
36	5	0,127	4,9	0,125	5,05	0,128	4,95	0,126	25,00	0,0127	24,5	0,0124	-	-
35	5,6	0,014	5,5	0,139	5,7	0,144	5,55	0,141	31,40	0,0159	30,8	0,0156	-	-
34	6,3	0,160	6,2	0,157	6,4	0,162	6,2	0,158	39,70	0,0201	38,9	0,0197	-	-
33	7,1	0,180	7	0,177	7,2	0,182	7	0,179	50,40	0,0255	49,4	0,025	-	-
32	8	0,203	7,8	0,199	8,1	0,205	7,9	0,201	64,00	0,0324	62,7	0,0318	-	-
31	8,9	0,226	8,7	0,222	9	0,228	8,8	0,224	79,20	0,0401	77,6	0,0393	-	-
30	10	0,254	9,8	0,249	10,1	0,257	9,9	0,251	100,00	0,0507	98	0,0497	-	-
29	11,3	0,287	11,1	0,282	11,4	0,29	11,2	0,284	128,00	0,0647	125	0,0633	-	-
28	12,6	0,320	12,3	0,312	12,7	0,323	12,5	0,318	159,00	0,0804	156	0,079	-	-
27	14,2	0,361	13,9	0,353	14,3	0,363	14,1	0,358	202	0,102	198	0,1	-	-
26	15,9	0,404	15,6	0,396	16,1	0,409	15,7	0,399	253	0,128	248	0,126	-	-
25	17,9	0,455	17,5	0,444	18,1	0,46	17,7	0,45	320	0,162	314	0,159	-	-
24	20,1	0,511	19,7	0,500	20,3	0,516	19,9	0,506	404	0,205	396	0,201	392	0,199
23	22,6	0,574	22,1	0,561	22,8	0,579	22,4	0,568	511	0,259	501	0,254	496	0,251
22	25,3	0,643	24,8	0,63	25,6	0,65	25	0,635	640	0,324	627	0,318	621	0,314
21	28,5	0,724	27,9	0,709	28,8	0,732	28,2	0,717	812	0,412	796	0,404	788	0,4
20	32	0,813	31,4	0,798	32,3	0,82	31,7	0,805	1020	0,519	1000	0,509	989	0,503
19	35,9	0,912	35,2	0,894	36,3	0,922	35,5	0,902	1290	0,663	1264	0,641	1251	0,633
18	40,3	1,020	39,5	1,00	40,7	1,03	39,9	1,01	1620	0,823	1588	0,807	1571	0,798
17	45,3	1,150	44,4	1,13	45,8	1,16	44,8	1,14	2050	1,040	2009	1,02	1989	1,01
16	50,8	1,290	49,8	1,26	51,3	1,3	50,3	1,28	2580	1,310	2528	1,28	2503	1,27
15	57,1	1,450	56	1,42	57,7	1,47	56,5	1,44	3260	1,650	3195	1,62	3162	1,6
14	*64,1*	*1,630*	*62,8*	*1,6*	*64,7*	*1,64*	*63,5*	*1,61*	*4110*	*2,080*	*4028*	*2,04*	*3987*	*2,02*
13	*72*	*1,830*	*70,6*	*1,79*	*72,7*	*1,85*	*71,3*	*1,81*	*5180*	*2,630*	*5076*	*2,58*	*5025*	*2,55*
12	*80,8*	*2,050*	*79,2*	*2,01*	*81,6*	*2,07*	*80*	*2,03*	*6530*	*3,310*	*6399*	*3,24*	*6334*	*3,21*
11	*90,7*	*2,300*	*88,9*	*2,26*	*91,6*	*2,33*	*89,8*	*2,28*	*8230*	*4,170*	*8065*	*4,09*	*7983*	*4,04*
10	*101,9*	*2,588*	*99,9*	*2,537*	*102,9*	*2,614*	*100,9*	*2,563*	*10380*	*5,261*	*10172*	*5,16*	*10069*	*5,103*
9	*114,4*	*2,906*	*112,1*	*2,847*	*115,5*	*2,934*	*113,3*	*2,878*	*13090*	*6,631*	*12828*	*6,5*	-	-
8	*128,5*	*3,264*	*125,9*	*3,198*	*129,8*	*3,297*	*1272*	*3,231*	*16510*	*8,367*	*16180*	*8,2*	-	-
7	144,3	3,665	141,4	3,592	145,7	3,701	142,9	3,63	20820	10,55	20404	10,34	-	-
6	162,0	4,115	158,8	4,03	163,6	4,155	160,4	4,074	26240	13,30	25715	13,03	-	-
5	181,9	4,620	178,3	4,529	183,7	4,666	180,1	4,575	33090	16,77	32428	16,43	-	-

4	204,3	5,189	200,2	5,085	206,3	5,24	202,3	5,138	41740	21,15	40905	20,73	-	-
3	229,4	5,827	224,8	5,71	231,7	5,885	227,1	5,768	52620	26,67	51568	26,14	-	-
2	257,6	6,543	252,4	6,411	260,2	6,609	255	6,477	66360	33,62	65033	32,95	-	-
1	289,3	7,348	283,5	7,201	292,2	7,422	286,4	7,275	83690	42,41	82016	41,56	-	-
1/0	324,9	8,252	318,4	8,087	238,1	8,334	321,7	8,171	105600	53,49	103488	52,42	-	-
2/0	364,8	9,266	357,5	9,08	368,4	9,357	361,2	9,174	133100	67,43	130438	66,08	-	-
3/0	409,6	10,400	401,4	10,2	413,7	10,51	405,5	10,3	167800	85,01	164444	83,31	-	-
4/0	460,0	11,680	450,8	11,45	464,6	11,8	455,4	11,57	211600	107,20	207368	105,1	-	-
kcmil														
250	-	-	-	-	-	-	-	-	250	127	245	124,1	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-	-	300	152	294	149	-	-
350	-	-	-	-	-	-	-	-	350	177	343	173,8	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-	400	203	392	198,6	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-	-	450	228	441	223,5	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-	500	253	490	248,3	-	-
550	-	-	-	-	-	-	-	-	550	279	539	273,1	-	-
600	-	-	-	-	-	-	-	-	600	304	588	297,9	-	-
650	-	-	-	-	-	-	-	-	650	3229	637	322,8	-	-
700	-	-	-	-	-	-	-	-	700	355	686	347,6	-	-
750	-	-	-	-	-	-	-	-	750	380	735	372,4	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	-	800	405	784	397,2	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-	900	456	882	446,9	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	507	980	496,6	-	-

ANEXO 2

A.2.1. DATOS DE LOS ENSAYOS EN LA PLANTILLA

Tabla A.2-1: Tabla de datos para el cable rojo # 14 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	20,5	51,00	25,00	74,90	64,50	1,62	1,65	65	0,00
2	21,1	48,00	25,00	56,10	75,80	1,64	1,61	64,00	0,00
3	20,9	46,00	31,00	48,80	223,00	1,67	2,7	96	24,00
4	21,6	46,00	30,60	213,00	410,00	2,36	2,72	96,00	22,40
5	20,7	45,00	37,30	177,00	164,00	2,29	2,38	106	49,20
6	21,7	46,00	37,30	130,00	150,00	2,51	2,33	104	49,20
7	21,2	46,00	37,30	121,00	108,00	2,43	1,97	115	49,20
8	20,8	45,00	37,30	145,00	170,00	2,43	2,52	112	49,20
9	20,4	50,00	37,30	72,20	74,20	2,05	2,03	117	49,20
10	20,1	50,00	37,30	56,90	129,00	1,85	2,35	116	49,20
11	21,2	53,00	37,30	44,60	56,90	1,76	1,77	122	49,20
12	21,3	54,00	37,50	57,80	61,00	1,63	2,1	114	50,00
13	21,3	51,00	37,50	66,70	66,80	2,04	2,07	120	50,00
14	21,3	50,00	37,50	82,20	67,90	2,02	1,82	118	50,00
15	20,9	56,00	37,60	59,50	72,60	1,96	1,83	115	50,40
16	21,6	53,00	37,60	73,40	57,00	2,16	1,67	92	50,40
17	22,1	53,00	37,60	63,00	54,70	1,98	1,77	127	50,40
18	19,3	57,00	37,60	22,60	18,90	1,39	1,29	123	50,40
19	19,3	57,00	37,60	28,90	27,40	1,5	1,42	134	50,40
20	19,9	56,00	37,60	9,85	66,10	1,35	2,07	136	50,40
21	19,9	56,00	37,80	61,00	50,70	2	1,55	122	51,20
22	19,6	56,00	37,80	39,30	68,30	1,55	2,08	128	51,20
23	19,3	56,00	37,80	52,00	17,40	1,97	1,53	125	51,20
24	20,2	55,00	38,80	58,00	55,00	1,89	1,85	118	55,20
25	19,4	54,00	39,80	26,70	110,00	1,48	1,73	132	59,20
26	20,2	55,00	40,80	82,60	125,00	1,86	2,11	110	63,20
27	21,3	49,00	43,00	3,89	114,00	1,06	1,88	135	72,00
28	21,3	49,00	45,00	49,80	109,00	1,42	1,47	139	80,00
29	21,3	49,00	47,00	17,70	95,00	1,24	1,87	154	88,00
30	21,3	49,00	48,00	15,80	84,00	1,26	1,18	164	92,00
31	21,3	49,00	49,10	22,40	10,20	1,39	1,29	175	96,40
32	21,3	49,00	51,10	101,00	51,10	1,89	1,15	184	104,40
33	21,3	49,00	53,20	21,30	0,04	1,19	1	201,00	112,80
34	21	49	54	1	0,04	1	1	235,00	114,00
PROMEDIO	20,77	51,09	39,22	63,41	88,46	1,76	1,82	126,88	56,88

EL SIGNO NEGATIVO EN LOS DATOS DE SOBRECARGA SIGNIFICA QUE LA CORRIENTE APLICADA AL CABLE ES MENOR A SU NOMINAL.

Tabla A.2-2: Tabla de datos para el cable azul # 14 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	20,5	50	25	418,00	337,00	3,02	3,68	65	0,00
2	21,1	48	25	351,00	355,00	2,92	3,22	64,00	0,00
3	20,9	46	31	409,00	598,00	4,47	2,29	96	24,00
4	21,8	46	30,6	700,00	658,00	2,32	2,03	96,00	22,40
5	20,7	46	37,3	660,00	498,00	2,48	3,02	106	49,20
6	22,1	46	37,3	675,00	429,00	2,68	2,68	104	49,20
7	21,4	46	37,3	700,00	332,00	2,57	2,89	115	49,20
8	20,8	45	37,3	497,00	408,00	2,61	2,75	112	49,20
9	19,5	52	37,3	393,00	342,00	2,70	2,77	117	49,20
10	20,1	50	37,3	228,00	287,00	3,09	3,16	116	49,20
11	21,2	53	37,3	235,00	233,00	3,05	2,99	122	49,20
12	21,3	54	37,5	279,00	204,00	2,43	2,53	114	50,00
13	21,3	51	37,5	251,00	93,70	2,73	1,79	120	50,00
14	21,3	50	37,5	298,00	69,70	2,76	1,56	118	50,00
15	20,9	56	37,6	59,50	72,60	1,39	2,61	115	50,40
16	21,6	54	37,6	220,00	173,00	1,75	2,56	92	50,40
17	22	53	37,6	185,00	175,00	2,60	2,01	127	50,40
18	19,3	57	37,6	162,00	193,00	2,42	3,25	123	50,40
19	19,3	19,3	37,6	195,00	219,00	3,20	3,33	134	50,40
20	19,9	56	37,6	141,80	235,00	1,78	2,39	136	50,40
21	19,9	56	37,8	230,00	61,50	2,41	1,84	122	51,20
22	19,6	56	37,8	134,00	129,00	2,76	2,3	128	51,20
23	19,3	56	37,8	140,00	123,00	2,54	2,4	125	51,20
24	20,2	55	38,8	129,00	125,00	2,46	2,15	118	55,20
25	19,4	54	39,8	91,20	175,00	2,25	2,91	132	59,20
26	20,2	55	40,8	150,00	90,00	2,13	2,23	110	63,20
27	21,3	49	43	38,20	265,00	1,83	2,58	135	72,00
28	21,3	49	45	71,00	39,66	1,79	2,01	139	80,00
29	21,3	49	47	73,00	153,00	1,37	1,63	154	88,00
30	21,3	49	48	146,00	103,00	1,66	1,51	164	92,00
31	21,3	49	49	83,70	41,00	2,27	2,27	175	96,40
32	21,3	49	51,1	101,00	51,10	1,89	1,15	184	104,40
33	21,30	49,00	53,20	93,10	0,00	1,78	1,00	201,00	112,80
34	21,30	49,00	53,50	0,92	0,02	1,00	1,00	235,00	114,00
PROMEDIO	**20,76**	**50,07**	**-**	**251,13**	**213,77**	**2,39**	**2,37**	**126,88**	**-**

Tabla A.2-3: Tabla de datos para el cable blanco # 12 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	21,1 - 22,1	45	30,7	185,00	275,00	3,19	3,50	57	2,33
2	21,8	50	30,7	285,00	212,00	3,97	3,88	59,00	2,33
3	20,3	50	37,3	335,00	198,00	4,12	3,19	76	24,33
4	21,1	48	36,9	278,00	219,00	3,91	2,90	70,00	23,00
5	20,9	43	37	268,00	252,00	3,31	2,53	108	23,33
6	21,6	45	40	236,00	186,00	3,58	2,47	93	33,33
7	21,4	46	40,1	232,00	196,00	3,30	2,49	93	33,67
8	20,5	45	40,1	208,00	191,00	2,91	2,51	98	33,67
9	20,5	46	40,1	225,00	259,00	2,95	2,57	100	33,67
10	18,3	51	40,4	179,00	229,00	3,19	2,87	96	34,67
11	20,9	50	40,4	241,00	126,00	3,00	3,01	96	34,67
12	20,7	52	41,3	123,00	174,00	2,80	2,67	90	37,67
13	21,3	53	41,7	196,00	122,00	3,05	2,66	95	39,00
14	20,4	54	41,7	125,00	151,00	2,92	2,65	98	39,00
15	20,4	54	41,7	97,30	196,00	2,70	2,30	109	39,00
16	21,8	54	43,2	148,00	161,00	2,63	2,47	107	44,00
17	21,4	53	43,4	146,00	90,20	2,53	1,56	110	44,67
18	18,7	57	44,5	130,00	155,00	1,87	2,06	109	48,33
19	20,9	54	45,5	204,00	127,00	3,22	2,49	111	51,67
20	19	56	46,5	140,00	87,30	2,67	2,52	106	55,00
21	19	56	47,5	52,30	166,00	2,14	2,54	132	58,33
22	19,9	55	48,7	240,00	93,30	2,97	1,09	128	62,33
23	19,2	56	49,7	205,00	75,93	2,70	0,97	135	65,67
24	20,8	55	50,7	12,60	25,20	1,10	1,12	133	69,00
25	19,8	55	51,7	43,10	105,00	2,03	2,12	142	72,33
26	20,2	51	53	44,10	142,00	2,43	2,01	118	76,67
27	21,7	50	55	124,00	170,00	1,98	1,67	135	83,33
28	21,7	50	57,2	120,00	146,00	2,22	2,1	138	90,67
29	21,7	50	58,5	91,00	167,00	2,11	2,03	136	95,00
30	21,7	50	60,5	55,60	45,70	1,94	1,94	144	101,67
31	21,7	50	62,1	52,00	47,80	1,93	1,86	156	107,00
32	21,7	50	64,1	39,30	68,90	1,78	2,12	182	113,67
33	21,7	50	66,2	70,20	60,50	2,03	1,98	188	120,67
34	21,7	50	70	60,20	0,02	1,87	1	238	133,33
PROMEDIO	**20,74**	**51**	**-**	**152,67**	**144,70**	**2,68**	**2,29**	**117,24**	**-**

Tabla A.2-4: Tabla de datos para el cable rojo # 12 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	21,1 - 22,1	45,00	30,70	201,00	272,00	2,70	5,2	57	2,33
2	21,10	52,00	30,70	267,00	213,00	3,83	3,82	59,00	2,33
3	20,50	50,00	37,30	312,00	270,00	4,70	4	76	24,33
4	21,10	48,00	36,90	335,00	278,00	4,25	3,42	70,00	23,00
5	20,90	43,00	37,00	335,00	314	3,27	2,93	108	23,33
6	21,50	45,00	40,00	307,00	285	3,63	2,83	93	33,33
7	21,40	46,00	40,10	216,00	256	2,74	2,77	93	33,67
8	20,50	45,00	40,10	218,00	221	2,76	2,76	98	33,67
9	21,60	46,00	40,10	245,00	336	3,30	2,97	100	33,67
10	18,30	51,00	40,40	233,00	267	3,34	2,98	96	34,67
11	20,50	50,00	40,40	246,00	238	3,19	3,07	96	34,67
12	20,70	52,00	41,30	193,00	215	3,20	3,53	90	37,67
13	21,30	53,00	41,70	222,00	176	3,22	2,8	95	39,00
14	20,40	54,00	41,70	130,40	178	2,58	2,97	98	39,00
15	20,40	54,00	41,70	97,30	196	2,20	2,53	109	39,00
16	20,90	55,00	43,20	126,00	108	2,49	1,76	107	44,00
17	21	53	43,40	120,00	141	2,21	2,22	110	44,67
18	19	57	44,50	77,70	200	1,35	2,68	109	48,33
19	21	54	45,50	195,00	215	2,70	2,63	111	51,67
20	19	56	46,50	40,40	43	1,03	2,68	106	55,00
21	20	55	47,50	55,10	167	1,54	2,35	132	58,33
22	20	55	48,70	66,50	47	1,64	1,53	128	62,33
23	19	56	49,70	8,91	17	1,62	2,53	135	65,67
24	21	55	50,70	26,80	21	2,69	2,21	133	69,00
25	20	55	51,70	36	26	1,54	0,79	142	72,33
26	20	51	53,00	48	235	1,84	2,94	118	76,67
27	22	50	55,00	141	183	2,06	2,46	135	83,33
28	22	50	57,20	180	158	1,909	2,36	138	90,67
29	22	50	58,50	157	138	1,76	1,99	136	95,00
30	22	50	60,50	58	76	1,81	2,08	144	101,67
31	22	50	62,10	57	51	1,85	1,8	156	107,00
32	22	50	64	40	26	1,95	1,01	182	113,67
33	22	50	66	29	25	0,98	1,11	188	120,67
34	22	50	0	15	0	1,02	1	238	133,33
PROMEDIO	20,75	51,06	-	148,07	164,41	2,44	2,55	117,24	-

Tabla A.2-5: Tabla de datos para el cable azul # 10 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	22,4	47	39,9	135,00	146,00	2,7	2,01	57	-0,25
2	19,8	50	40	292,00	203,00	2,67	2,55	56,00	0,00
3	21	50	47,1	207,00	140,00	2,39	2,26	67	17,75
4	21,6	43	47	181,00	113,00	2,67	2,02	82,00	17,50
5	21,3	46	50	178,00	143,00	2,67	2,3	89	25,00
6	21,4	46	52	197,00	143,00	2,57	2,25	94	30,00
7	23,3	41	52	157,00	134,00	2,65	2,34	91	30,00
8	23,3	41	53,1	162,00	160,00	2,6	2,23	93	32,75
9	18,1	49	53,1	190,00	117,00	2,58	2,51	85	32,75
10	20,5	50	53,1	127,00	128,00	2,53	2,41	88	32,75
11	21	51	54	130,00	79,00	2,43	2,36	94	35,00
12	21,8	53	54	87,60	190,00	1,98	2,24	94	35,00
13	21,8	53	55,3	194,00	73,70	2,29	2,31	99	38,25
14	21,5	53	55,3	118,00	119,00	2,32	2,05	98	38,25
15	20,7	55	55	117,00	97,00	1,30	2,14	97	37,50
16	21,5	54	56,2	106,00	140,00	1,91	2,15	98	40,50
17	18,9	57	56,2	123,00	102,00	1,98	1,94	108	40,50
18	20,7	54	57,3	112,00	107,00	1,96	2	105	43,25
19	19,2	55	58,9	106,00	52,00	2,49	1,66	100	47,25
20	20,4	55	60	98,00	154,00	1,69	2,15	115	50,00
21	19,5	56	61,5	64,60	156,00	1,40	1,82	125	53,75
22	20,3	55	63	82,70	102,00	2,15	2,56	125	57,50
23	19,2	55	64,5	22,40	68,70	1,25	1,89	132	61,25
24	19,2	55	66	94,00	17,60	2,02	1,07	136	65,00
25	19,9	54	67,5	76,50	54,50	2,33	2,27	140	68,75
26	20,4	55	69	62,70	122,00	2,30	1,97	142	72,50
27	20,1	51	71	58,00	148,00	2,22	2,57	120	77,50
28	21,6	47	74	153,00	166,00	2,47	2,16	120	85,00
29	21,5	50	77,1	76,30	146,00	1,93	2,33	150	92,75
30	21,5	50	80	163,00	241,00	2,22	2,24	154	100,00
31	21,5	50	83,1	100,00	188,00	2,06	2,04	161	107,75
32	21,5	50	86,4	112,00	162,00	1,94	1,82	156	116,00
33	21,5	50	86,4	98,20	0,04	1,84	1	203	116,00
34	21,5	50	89	0,04	0,03	1,00	0,83	213	122,50
PROMEDIO	**20,86**	**50,91**	**-**	**122,97**	**120,96**	**2,16**	**2,07**	**114,32**	**-**

Tabla A.2-6: Tabla de datos para el cable blanco # 10 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	22,40	47	39,90	**!Error de sintaxis, (**75	114,0	1,84	2,07	-0,25	-0,25
2	19,80	50	40,00	222	141,0	2,19	2,35	0,00	0,00
3	21,00	50	47,10	153,0	97,0	2,18	2,27	17,75	17,75
4	21,60	43	47,00	138,0	105,0	1,77	1,77	17,50	17,50
5	21,30	46	50,00	124,0	131,0	2,04	1,66	25,00	25,00
6	21,40	46	52,00	120,0	126,0	2,08	1,80	30,00	30,00
7	23,10	41	52,00	117,0	87,0	1,86	1,70	30,00	30,00
8	23,10	41	53,10	120,0	121,0	1,72	1,69	32,75	32,75
9	19,50	48	53,10	152,0	78,8	1,81	2,01	32,75	32,75
10	20,20	50	53,10	108,0	109,0	2,16	2,15	32,75	32,75
11	21,00	51	54,00	123,0	161,0	1,99	2,00	35,00	35,00
12	21,70	54	54,00	81,9	94,0	1,89	1,74	35,00	35,00
13	21,70	54	55,30	107,0	116,0	1,95	1,82	38,25	38,25
14	21,50	53	55,30	132,0	93,8	1,78	1,96	38,25	38,25
15	20,70	55	55,00	117,0	97,0	2,01	1,99	37,50	37,50
16	21,50	54	56,20	110,0	68,9	1,91	1,84	40,50	40,50
17	19	57	56,20	127,0	95,0	1,94	1,47	40,50	40,50
18	21	54	57,30	120,0	145,0	1,80	1,50	43,25	43,25
19	19	55	58,90	117,0	87,0	2,12	2,17	47,25	47,25
20	20	55	60	135,0	106,0	1,69	1,48	50,00	50,00
21	20	56	62	159,0	168,0	2,07	2,27	53,75	53,75
22	20	55	63	141,0	121,0	2,10	2,16	57,50	57,50
23	19	55	65	110,0	55,0	1,96	1,82	61,25	61,25
24	19	55	66	126,0	149,0	1,67	2,18	65,00	65,00
25	20	54	68	103,0	41,7	2,11	1,22	68,75	68,75
26	20	55	69	75,0	83,0	1,650	2,06	72,50	72,50
27	20	51	71	96,70	161	2,130	1,31	77,50	77,50
28	22	47	74	129,00	76,00	1,55	1,83	85,00	85,00
29	21,50	50,00	77,10	107,00	183,00	2,17	2,17	92,75	92,75
30	21,50	50,00	80,00	122,00	214,00	2,23	2,01	100,00	100,00
31	21,50	50,00	83,10	188,00	155,00	1,16	1,90	107,75	107,75
32	21,50	50,00	86,40	166,00	96,00	2,31	1,77	116,00	116,00
33	21,50	50,00	86,40	90,00	0,02	1,81	1,00	116,00	116,00
34	21,50	50,00	89,00	0,02	0,02	1,00	1,00	122,50	122,50
PROMEDIO	**20,88**	**50,94**	**-**	**120,93**	**108,12**	**1,90**	**1,83**	**114,32**	**-**

Tabla A.2-7: Tabla de datos para el cable negro # 8 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	21,50	50,00	55,30	241,00	251,00	3,75	3,7	56	0,55
2	22,40	51,00	55,30	890,00	420,00	5,09	3,89	52,00	0,55
3	22,00	47,00	54,90	489,00	332,00	3,76	4,6	53	-0,18
4	20,50	48,00	62,50	840,00	323,00	4,63	3,64	65,00	13,64
5	23,80	41,00	62,00	700,00	325,00	5,23	3,27	64	12,73
6	20,80	46,00	69,10	620,00	248,00	5,3	3,03	82	25,64
7	20,50	45,00	69,10	456,00	230,00	4,44	2,82	80	25,64
8	20,80	45,00	69,10	287,00	247,00	3,11	2,83	82	25,64
9	20,60	45,00	72,30	295,00	274,00	2,92	3,03	90	31,45
10	21,90	46,00	73,30	269,00	301,00	3	2,88	90	33,27
11	20,10	51,00	73,30	325,00	255,00	3,3	3,33	88	33,27
12	19,70	55,00	74,40	258,00	275,00	3,34	2,98	93	35,27
13	21,20	51,00	76,00	151,80	196,00	2,94	3,16	89	38,18
14	21,30	52,00	76,00	222,00	117,00	2,63	2,25	89	38,18
15	20,00	51,00	77,00	115,00	103,00	3,65	3,49	100	40,00
16	21,30	53,00	77,10	178,00	208,00	2,97	2,97	96	40,18
17	21,30	53	77	246	199	2,53	2,45	101	40,18
18	22,40	54	78	199	226	2,55	3,37	105	41,82
19	19,70	55	78	228	278	3,03	2,83	101	41,82
20	20,10	54	81	341	332	3,51	3,05	116	47,45
21	20,40	54	83	345	338	3,1	3,26	147	50,91
22	19,60	56	83	374	346	3,12	3,12	110	50,91
23	20,20	54	85	321	356	3,1	3,08	118	54,55
24	19,20	56	85	332	229	2,94	1,95	110	54,55
25	20,80	56	87	257	292	2,5	2,13	138	58,91
26	19,30	54	89	302	162	3,48	2,57	103	61,82
27	20,80	50	92	331	370	2,14	2,06	106	67,27
28	22	50	95	353	239	2,72	2,26	102	72,73
29	22	50	98	259	272	2,63	2,72	125	78,18
30	22	50	102	292	192	2,09	2,28	247	85,45
31	22	50	109	200	387	2,16	2,33	200	97,27
32	22	50	114	274	164	3,22	2,07	221	107,27
33	22	50	120	65	0,05	2,23	1	230	118,18
34	22	50	128	251	0,04	1	1	241	132,73
PROMEDIO	**20,96**	**50,68**	**-**	**332,56**	**249,62**	**3,18**	**2,81**	**114,41**	**-**

Tabla A.2-8: Tabla de datos para el cable amarillo # 8 AWG

Prueba	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad (%)	Corriente Máx. (A)	Resistencia en enfriamiento ($G\Omega$)	Resistencia en frio ($G\Omega$)	IP En enfriamiento ($G\Omega$)	IP En Frio ($G\Omega$)	Temperatura en Cable (°C)	Sobrecarga (%)
1	21,5	50	55,3	39,00	35,30	2,6	3,19	56	0,55
2	22,4	51	55,3	50,40	37,40	2,52	1,95	52,00	0,55
3	22,1	47	54,9	41,90	36,20	2	2,48	53	-0,18
4	20,5	48	62,5	55,50	41,90	2,19	1,81	65,00	13,64
5	23,8	42	62	48,80	38,80	2,1	2,08	64	12,73
6	20,8	46	69,1	46,80	45,00	2,04	1,67	82	25,64
7	20,5	45	69,1	48,80	42,00	1,9	1,63	80	25,64
8	20,8	45	69,1	42,80	53,70	1,69	1,72	82	25,64
9	20,6	46	72,3	47,10	42,30	1,88	1,80	90	31,45
10	21,3	46	73,3	41,60	52,00	1,79	1,75	90	33,27
11	19	52	73,3	69,00	63,80	1,92	1,98	88	33,27
12	21,2	51	74,4	49,30	84,20	1,93	2,2	93	35,27
13	19,7	55	76	59,00	49,80	2,34	1,78	89	38,18
14	21,8	53	76	56,00	53,40	2,06	1,89	89	38,18
15	20	51	77	115,00	103,00	2,04	2,23	100	40,00
16	21,3	53	77,1	50,00	62,90	2,00	1,87	96	40,18
17	21,2	54	77,1	66,00	40,60	1,95	1,89	101	40,18
18	22,4	54	78	50,1	68,80	1,99	2,06	105	41,82
19	19,7	55	78	55,1	65,00	1,90	2,05	101	41,82
20	20	54	81,1	61,8	134,00	1,97	2,28	116	47,45
21	20,4	54	83	138	117,00	2,31	2,31	147	50,91
22	19,6	56	83	84,2	76,00	1,89	1,77	110	50,91
23	20,2	54	85	78	67,00	2,01	1,81	118	54,55
24	19,2	56	85	152	112	2,20	1,92	110	54,55
25	20,9	56	87,4	120	133	2,51	2,39	138	58,91
26	19,3	54	89	145	137	2,31	2,32	103	61,82
27	20,8	50	92	94,8	145	1,80	2,3	106	67,27
28	21,5	50	95	139	110	2,91	2,71	102	72,73
29	21,5	50	98	127	137	2,58	2,19	125	78,18
30	21,5	50	102	120	93,8	2,31	2,21	247	85,45
31	21,5	50	108,5	84,8	109	2,23	2,1	200	97,27
32	21,5	50	114	120	144	2,18	2,62	221	107,27
33	21,5	50	120	65,2	0,02	2,23	1,00	230	118,18
34	21,5	50	128	0,05	0,04	1,00	1,00	241	132,73
PROMEDIO	**20,93**	**50,82**	**-**	**75,35**	**74,44**	**2,10**	**2,03**	**114,41**	**-**

A.2.2. IMÁGENES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE CABLES

A continuación se presentan las imágenes obtenidas durante la experimentación con los cables de muestra, las cuales representan una evidencia visual del trabajo realizado y a su vez muestran, en varias de ellas, el comportamiento presentado por algunos de los especímenes de prueba.

Imagen A2.1: La tubería de plástico que tiene en su interior a los cables de prueba comienza derretirse tras alcanzar cierta temperatura.

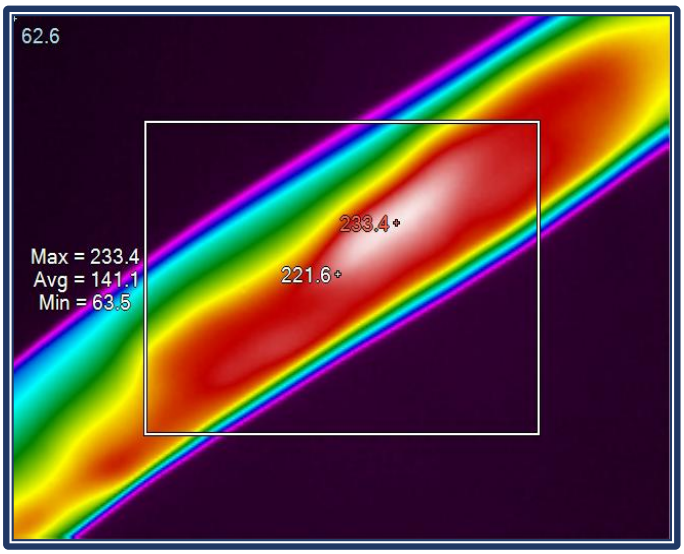

Imagen A2.2: Imagen térmica de la tubería de plástico anterior que muestra la temperatura alcanzada antes de comenzar a derretirse.

Imagen A2.3: Estado Final de la tubería (Manguera) al superar los 100°C.

Imagen A2.4: Resquebrajamiento de la capa de nylon del cable tras alcanzar temperaturas superiores a 110°C.

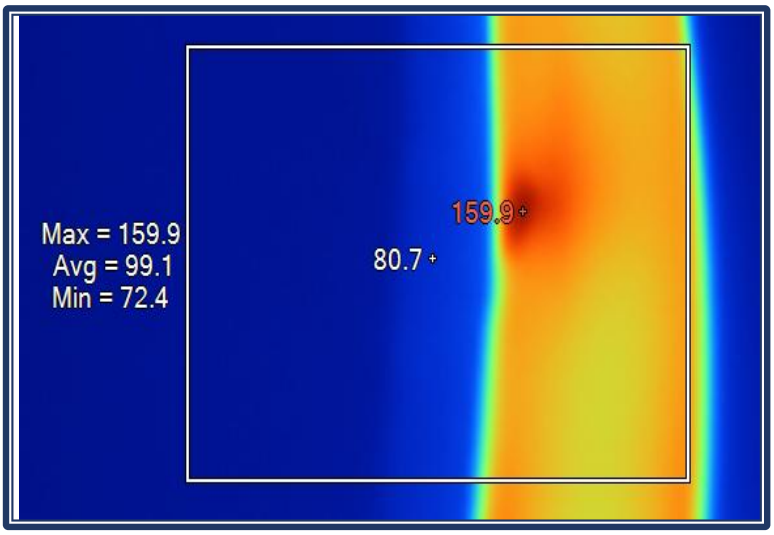

Imagen A2.5: Imagen térmica que muestra la temperatura alcanzada por el cable antes de agrietarse su capa de nylon.

Imagen A2.6: Resquebrajamiento del Nylon y PVC del cable al superar los 110°C - 120°C, doblado el cable en.

Imagen A2.7: A cierta temperatura el material aislante pierde sus propiedades y comienza a derretirse.

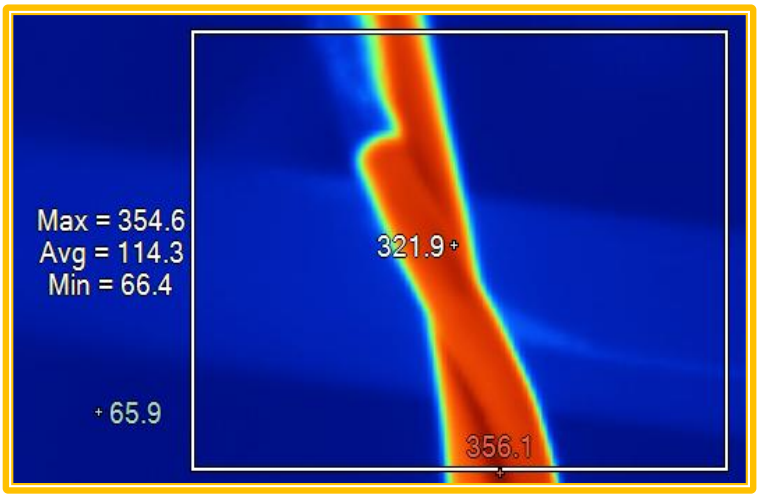

Imagen A2.8: Imagen térmica del cable que muestra la temperatura alcanzada antes de comenzar a derretirse.

Imagen A2.9: Material aislante del cable totalmente dañado luego de las pruebas de envejecimiento acelerado.

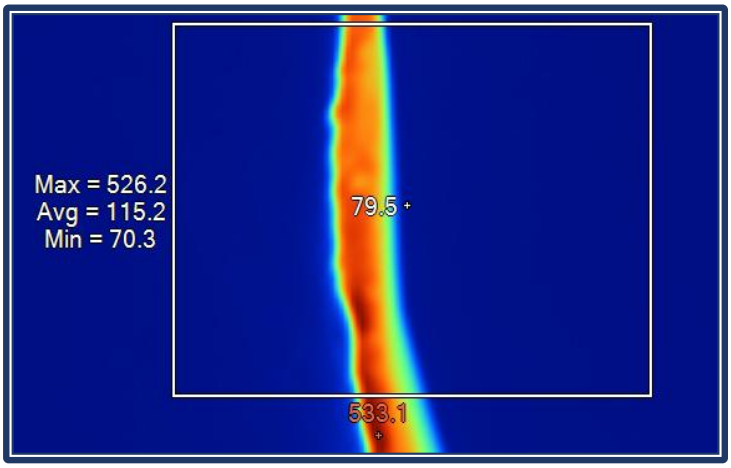

Imagen A2.10: Imagen térmica del cable de ensayo que muestra la temperatura máxima alcanzada antes de perder por completo sus propiedades aislantes.

Imagen A2.11: Estados (final e inicial) del cable # 8 AWG de color Amarillo y # 14 AWG Rojo, respectivamente.

Imagen A2.12: Estados finales e iniciales de los cables de prueba en sus extremos donde se empalmaron (unieron).

Imagen A2.13: Perforaciones o poros del aislante del cable presentes a finalizar las prueba (Cable Blanco y Azul # 10, y Cable # 8 Negro AWG, respectivamente)

NOTA: En el resto de cables (cable # 14 azul, # 12 blanco, # 12 rojo AWG) no se pudo encontrar ninguna perforación. Aunque no se descarta la posibilidad.