



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA
Y ELÉCTRICA**

INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PUESTA EN SERVICIO DE CABLES
SUBTERRÁNEOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DE MEDIA TENSIÓN**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO:
INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta

VELASCO RODRÍGUEZ DANIEL

Asesor de tesis

M. EN C. RAÚL MÉNDEZ ALBORES
M. EN C. MIGUEL ÁNGEL BLANCO CHÁVEZ



México, D.F., 2015

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICISTA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. DANIEL VELASCO RODRÍGUEZ

“PUESTA EN SERVICIO DE CABLES SUBTERRÁNEOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN”.

MOSTRAR Y PROMOVER LA CORRECTA INSTALACIÓN DE LOS CABLES SUBTERRÁNEOS, ASÍ COMO LA PUESTA EN MARCHA NORMALIZADA, MEDIANTE UN ANÁLISIS QUE LLEVE COMO FIN UNA CORRECTA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN EN FORMA SEGURA.

- ❖ INTRODUCCIÓN.
- ❖ CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES SUBTERRÁNEAS.
- ❖ TIPOS DE CABLES SUBTERRÁNEOS Y TÉCNICAS DE MANUFACTURA.
- ❖ PRUEBAS DE LABORATORIO EN FÁBRICA.
- ❖ PRÁCTICA E INSTALACIÓN DE LOS CABLES SUBTERRÁNEOS.
- ❖ ASPECTOS DE SEGURIDAD DURANTE LAS PRUEBAS DE CAMPO.
- ❖ PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO.
- ❖ ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.
- ❖ CONCLUSIONES.

MÉXICO D. F. A 25 DE FEBRERO DE 2016.

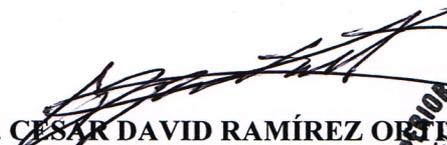
ASESOR



M. EN C. RAÚL MENDEZ ALBORES



M. EN C. MIGUEL ÁNGEL BLANCO CHÁVEZ



ING. CESAR DAVID RAMÍREZ OCHOA
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA



DEDICATORIA

Dedicada a mis padres, que me enseñaron a ser fuerte, a luchar por lo que quiero, dos maravillosos seres que me dieron la seguridad para guiarme en la vida, logrando lo que me proponga.

Gracias papá, por todos los consejos, por ir guiándome en la vida de una forma adecuada, por ayudarme a encontrar siempre una solución para todos mis problemas, por siempre estar ahí para apoyarme cuando más lo necesitaba.

Gracias a ti mamá, que a pesar de las peleas continuas siempre eres esa persona que se preocupa, que está al pendiente de mí. El amor de una madre siempre es incondicional por todas tus atenciones, por tu gran fortaleza.

Gracias a ambos, por ser mi ejemplo, mi protección en tiempos difíciles y mi soporte todos estos años, porque esto solo es un comienzo, aún les debo muchos logros más.

Dedicada a mi hermana, porque es parte fundamental de mí y espero poder darte ese motivo para luchar en la vida, para no dejar el camino, para seguir, para ser perseverante ante las adversidades, gracias a ti hermana, que me brindaste tu tiempo, que me dedicas tus desvelos, por no dejarme solo, por estar ahí siempre que te necesito, dejar a un lado todo por apoyarme y hacerme reír cuando mi mundo se nublaba, donde mi consuelo lo encontré en un fuerte abrazo.

Dedicada a todos y cada uno de mis primos, que sin su ayuda y sabios consejos no lo hubiera logrado, porque ustedes fueron punta de lanza en la familia, porque siempre me dieron un motivo para seguir y no rendirme. Ustedes son y siempre serán una inspiración para superarme y seguir adelante

Dedicada a mis amigos que me dieron su apoyo y su confianza

Gracias a esa persona maravillosa, que se convirtió en una parte fundamental de mi vida, gracias por aguantar mi carácter, gracias por llegar a mi vida, preocuparte por mí, apoyarme, reír conmigo, tomarme de la mano y caminar junto a mí, abrazarme y consolar mi llanto, gracias por estar ahí en los momentos indicados.

Gracias a las personas que ahora no están cerca, pero que en esos meses, nunca se alejaron, que me apoyaron hasta el final y se desvelaron conmigo. Esas personas que siempre tendré en mi corazón.

Dedicada a mis maestros, aquellas personas que forjaron mi educación y que a donde vaya llevo sus enseñanzas. Desde el fondo de mi alma repleta de cariño y de respeto, recordaré sus sabias palabras, sus exigencias y sus consejos. Gracias por su paciencia, por ofrecerme su espacio y por la confianza, recordaré no solo su educación sino a los amigos y colegas que conocí.

Esta Tesis es dedicada a cada uno de Ustedes.....Gracias!

Daniel Velasco Rodríguez

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
ÍNDICE DE IMÁGENES	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FORMULAS	8
MARCO TEÓRICO	9
1.1 Planteamiento del problema.....	9
1.2 Objetivo general.....	10
1.3 Objetivos específicos	10
1.4 Justificación	11
1.5 Alcance	11
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES SUBTERRÁNEAS	13
2.2 Formas de distribución de la energía	13
2.2.1 Líneas aéreas.....	14
2.2.2 Líneas subterráneas.....	14
2.2.2.1 Impacto ambiental de las líneas subterráneas.....	15
2.2.2.1.1 Factores ambientales.....	15
2.2.2.1.2 Programa institucional de protección ambiental (PIPA)	15
2.2.2.1.3 Evaluación ambiental estratégica	15
2.3 Sistema de distribución.....	16
2.3.1 Sistema de distribución de 600 A	16
2.3.2 Sistema de distribución de 200 A	16
2.4 Configuración de transformadores.....	16
2.4.1 Conexión en anillo.....	17
2.4.2 Conexión radial.....	17
2.5 Tipos de instalaciones	18
2.5.1 Distribución residencial.....	18
2.5.2 Distribución comercial y turística.....	18
2.5.3 Distribución comercial y turística y edificios que requieren alta confiabilidad	19
2.6 Dispositivos subterráneos	19
2.6.1 Transición aéreo – subterráneo.....	19
2.6.2 <i>Terminales</i>	20

2.6.2.1	Terminal clase I.....	20
2.6.2.2	Terminal clase II.....	21
2.6.2.3	Terminal clase III	22
2.6.3	Empalmes	23
2.6.3.1	Encintados	24
2.6.3.2	Moldeados en fábrica	24
2.6.3.3	Moldeados en campo.....	25
2.6.3.4	Termo-contráctil.....	25
2.6.4	Conectores aislados separables.....	26
2.6.4.1	Conector codo OCC – OSC	26
2.6.4.2	Conector tipo inserto OCC.....	27
CAPITULO 3. TIPOS DE CABLES SUBTERRÁNEOS Y TÉCNICAS DE MANUFACTURA		28
3.1	Elementos que componen el cable de potencia.....	28
3.2	Formas y tipos de conductores.....	29
3.2.1	Materiales	30
3.2.2	Flexibilidad.....	30
3.2.3	Forma.....	31
3.3	Pantalla semiconductora	32
3.4	Aislamiento extruido.....	33
3.5	Pantalla semiconductora sobre el aislamiento	34
3.6	Pantalla metálica	35
3.7	Cubierta externa	35
3.7.1	Cubiertas termoplásticas.....	35
3.7.2	Policloruro de vinilo (PVC).....	36
3.7.3	Polietileno de alta densidad (HDPE)	36
3.7.4	Cubiertas elastoméricas	36
CAPITULO 4. PRUEBAS DE LABORATORIO EN FÁBRICA		37
4.1	Consideraciones generales	37
4.2	Clasificación de pruebas	37
4.2.1	Pruebas prototipo.....	37
4.2.2	Pruebas de rutina	37
4.3	PRUEBAS.....	38
CAPITULO 5. PRACTICA DE INSTALACIÓN DE LOS CABLES SUBTERRÁNEOS		46
5.1	Tendido del cable	46

5.2	Identificación de accesorios	48
5.3	Preparación para la elaboración de accesorios.....	50
5.3.1	Retiro de la cubierta.....	50
5.3.2	Retiro de pantalla metálica	51
5.3.3	Retiro de la semiconductor sobre el aislamiento	52
5.3.4	Retiro del aislamiento	53
5.3.5	Limpieza y acondicionamiento del aislamiento	53
CAPITULO 6. ASPECTOS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA DURANTE LAS PRUEBAS DE CAMPO		54
CAPITULO 7. PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO.....		55
7.1	Tipos de pruebas	55
7.2	Resistencia de aislamiento en corriente directa	56
7.2.1	Factores que afectan la prueba.....	56
7.2.2	Tipos de pruebas	57
7.2.2.1	Lectura de corto tiempo o puntual.....	57
7.2.2.2	tiempo resistencia o absorción dieléctrica.....	57
7.2.3	Preparación de equipo	58
7.2.4	Conexiones para prueba.....	59
7.2.5	Procedimiento	60
7.2.6	Cálculos	60
7.2.7	Corrección por temperatura	61
7.2.8	Índice de polarización.....	62
7.2.9	Interpretación e informe	62
7.2.10	Resultados.....	63
7.3	Alta tensión de corriente alterna en baja frecuencia (0.1 Hz).....	68
7.3.1	Preparación y recomendaciones para realizar la prueba.....	68
7.3.2	Conexiones para prueba.....	70
7.3.3	Procedimiento de prueba	71
7.3.3.1	Resultados	76
CAPITULO 8. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....		81
8.1	Determinación de la inversión total del proyecto	81
8.2	Evaluación de los costos-beneficios	82
9.1	Tiempo de recuperación.....	82
CAPITULO 9. CONCLUSIONES		83

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1 Línea aérea de media tensión 23kV	14
Figura 2 Línea subterránea de media tensión 23kv	14
Figura 3 Transformador trifásico.....	16
Figura 4 Configuración en anillo con dos fuentes de alimentacion.	17
Figura 5 Configuración en conexión radial	18
Figura 6 Poste acero o concreto. transición típica de un sistema subterráneo de distribución a una línea aérea.	20
Figura 7 Detalle constructivo de la terminal tipo bayoneta instalada en cable con aislamiento extruido	21
Figura 8 Arreglo descriptivo de la terminal para intemperie.....	22
Figura 9 Detalle constructivo de la terminal para uso en interiores.	23
Figura 10 Detalles constructivos de empalmes encintados en cable monofásico	24
Figura 11 Empalme pre-moldeado para cable con aislamiento laminado.....	25
Figura 12 Corte longitudinal del cable corrugado longitudinalmente	26
Figura 13 Conector tipo codo, 200 A; A la izquierda, uno para operación sin carga y a la derecha, para operación con carga.	27
Figura 14 Diferentes construcciones de insertos. algunos para 600 y para 200 A.	27
Figura 15 Cable de energía en media tensión (5 a 35 kv).	29
Figura 16 Formas de conductores.....	32
Figura 17 Pantalla interna.....	33
Figura 18 Aislamiento.	34
Figura 19 Pantalla semiconductora sobre el aislamiento	34
Figura 20 Variante de pantallas metálicas	35
Figura 21 Excedente de cable alojado en un registro	46
Figura 22 Radio mínimo de curvatura para cable de energía	47
Figura 23 Limpieza de conductor con solventes dieléctricos.....	47
Figura 24 Colocación adecuada del cable de potencia de acuerdo a su doblez natural.....	48
Figura 25 Codo occ para cable de energía cal. 1/0	48
Figura 26 Instrucciones de instalación del conector tipo codo portafusible para operación con carga	49
Figura 27 Equipo de seguridad.....	49
Figura 28 Método usando cuchillo	50

Figura 29 Herramienta sugerida para preparar puntas.....	51
Figura 30 Retiro de pantalla metálica.....	52
Figura 31 Retiro de semiconductor sobre el aislamiento	52
Figura 32 Retiro de aislamiento.....	53
Figura 33 Limpieza del aislamiento	53
Figura 34 Cables de potencia prueba de resistencia de aislamiento representacion prueba 1.....	59
Figura 35 Reporte fotográfico de prueba de resistencia de aislamiento.....	66
Figura 36 Reporte de prueba en campo de Resistencia de aislamiento.....	67
Figura 37 Libranza por parte de la compañía suministradora	69
Figura 38 Puesta a tierra de cables y equipos.....	69
Figura 39 Verificación de conductor desconectado	70
Figura 40 Diagrama de conexión para prueba de alta tension de corriente alterna de baja frecuencia....	70
Figura 41 Conexiones de equipo vlf.....	73
Figura 42 Tablero de equipo vlf	74
Figura 43 Certificado de calibracion	75
Figura 44 Reporte fotográfico de proceso para prueba	77
Figura 45 Reporte de prueba en campo 1	78
Figura 46 Reporte de prueba en campo 2	79
Figura 47Cotización de pruebas a cable de potencia.....	81
Figura 48 Grafica Costo Beneficio de Pruebas	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de características entre cobre y aluminio	30
Tabla 2 Clases de cableado.....	31
Tabla 3 Pruebas en fábrica.....	45
Tabla 4 Constante(K) de resistencia de aislamiento a 15.6 °C.....	60
Tabla 5 Factores de corrección por temperatura de la resistencia de aislamiento en cables subterráneos	61
Tabla 6 Cable Vulcanel 2000 para ambientes secos con aislamiento de XLP 100% nivel de aislamiento de 5kv a 35kv conductor de cobre compacto y cubierta de pvc.....	64
Tabla 7 Tensiones de prueba de alta tension con baja frecuencia para forma de onda coseno rectangular	71
Tabla 8 Tensiones de prueba de alta tension con baja frecuencia para forma de onda senoidal.....	72

ÍNDICE DE FORMULAS

Fórmula 1 :	60
Fórmula 2 :	61
Fórmula 3.....	62
Fórmula 4 :	63
Fórmula 5 :	64
Fórmula 6.....	65

MARCO TEÓRICO

1.1 Planteamiento del problema

En años recientes hemos sido testigos del crecimiento de grandes ciudades, todo esto gracias al gran impulso industrial, comercial y turístico. Grandes industriales se han posicionado en ciudades de gran crecimiento económico, ya sea por ubicación, estrategia, facilidad de materia prima, mano de obra o por competencia.

Todo esto ha traído como consecuencia que la gente de diferentes partes de México, acudan a estas empresas en busca de una mejor calidad de vida. La migración de familias completas de un estado a otro, ha incrementado la demanda de servicios básicos como vivienda, alimentación, agua, drenaje, energía eléctrica.

El sistema eléctrico nacional se ha ido adecuando al crecimiento de estas grandes ciudades y ha tenido que implementar nuevos métodos y conocimientos, para proporcionar un servicio permanente del suministro eléctrico nacional.

No es suficiente contar con este servicio para tener una buena calidad de vida, es necesario contar con instalaciones seguras y funcionales que nos permita mejorar el servicio y ofrecer un servicio con calidad

Desde este punto se partirá justificando que no se puede ofrecer un servicio seguro y de calidad si se tienen o se desconocen fallas en sus procesos de instalación, y en este caso su resultado va a ser un servicio mal diseñado, deficiente e inseguro.

En zonas costeras, los ciclones y agentes contaminantes, la zona centro, ha sido víctima de temblores incluso terremotos esto ha sido la principal causa de daño al sistema eléctrico, ya que la mayoría del sistema de distribución es aéreo. Las zonas turísticas también se ven afectadas, la contaminación visual que provocan las líneas aéreas, así como los riesgos antes mencionados

Los riesgos que se presentan en cualquiera de estas situaciones son muy altos y a pesar de que se cuentan con las protecciones y medidas de seguridad necesarias, no siempre son suficientes.

A pesar de la gran inversión que genera este tipo de sistemas subterráneos, es importante recalcar el gran beneficio que se tiene a corto y largo plazo. Entre ellos está el bajo mantenimiento, la seguridad de operación, bajo impacto visual, fácil recuperación en caso de desastres naturales, etc.

1.2 Objetivo general

Mostrar y promover la correcta instalación de los cables subterráneos, así como las de puesta en marcha normalizada, mediante un análisis que lleve como fin una correcta instalación y operación en forma segura, eficaz y con buena calidad de la energía eléctrica.

1.3 Objetivos específicos

- Conocer las características técnicas y de desarrollo tecnológico de los cables subterráneos de energía
- Comprender la metodología de fabricación de los cables subterráneos de energía
- Entender las pruebas de rutina en fábrica de acuerdo a las normas nacionales y extranjeras
- Explicar las prácticas de embalaje y transporte de los cables subterráneos de energía
- Finalmente conocer la metodología de pruebas de puesta en servicio de los cables subterráneos de energía

1.4 Justificación

En las grandes ciudades se justifica ampliamente el uso de las redes subterráneas en lugar de las redes aéreas, principalmente por la conservación de la arquitectura de la zona y además, por la mayor confiabilidad y seguridad de las instalaciones eléctricas.

La ciudad de México representa la mayor aplicación de las redes subterráneas y le siguen otras ciudades como: Puebla, Morelos, Monterrey, Querétaro, Guadalajara, etc.

Actualmente en México la compañía suministradora CFE (Comisión Federal de Electricidad), en su propuesta de mantener un servicio eléctrico de calidad se ha dado a la tarea principalmente de innovar en el Área Metropolitana , el cambio de líneas aéreas de distribución a líneas subterráneas, esto con el fin de evitar lo menos posible fallas por los distintos problemas de contaminación..

También los gobiernos estatales, municipales y federales se han dado a la tarea de impulsar el desarrollo de redes subterráneas para así recuperar zonas con alto nivel turístico y no se tenga una contaminación visual (postes, conductores aéreos, transformadores, etc...)

1.5 Alcance

Mediante la realización de pruebas en campo así como las pruebas que se realizan en planta, determinar las condiciones óptimas para una instalación segura y eficaz para los conductores de potencia en media tensión, tomando en cuenta los parámetros nacionales que rigen estas pruebas así como los de construcción (NMX-J-142, CFE E 0000-17, NRF-024-CFE,NOM SEDE 2012 NOM-063-SCFI-2001).

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución de energía eléctrica que emplean cables subterráneos presentan importantes ventajas técnicas, que hacen que este tipo de instalaciones se usen con mayor frecuencia cuando se requieren sistemas con gran seguridad, para la distribución de energía en lugares con espacio reducido, cuando se trata de mantener el aspecto visual y belleza arquitectónica de los sitios.

Uno de los inconvenientes principales es la inversión inicial de la obra, ya que su costo es mayor que el de un sistema aéreo. En estos casos es cuando la instalación del conductor desempeña un papel importante, ya que permite que las instalaciones correctamente proyectadas aunadas a las características del conductor sean económicamente competitivas con las líneas de distribución aéreas.

La elección de conductores en proyectos subterráneos, deben considerar materiales, flexibilidad, forma y dimensiones, todo esto respaldado por la calidad y la confiabilidad derivado de las pruebas y ensayos realizados en los diferentes tipos de cables.

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Aunque el cobre es superior en características eléctricas y mecánicas, las características de bajo peso y menor costo del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos, teniendo su aplicación principal en el tendido de líneas aéreas de media y alta tensión.

El grado de flexibilidad de un conductor, como función del número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado. Las primeras letras del alfabeto se utilizan para las cuerdas más rígidas, y las últimas, para cuerdas cada vez más flexibles. No hay una regla fija para decidir qué grado de flexibilidad es el más adecuado para una determinada aplicación.

CAPITULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES SUBTERRÁNEAS

Para poder disfrutar de la electricidad en nuestro hogar, oficina o empresa ésta realiza un complejo recorrido desde los lugares donde se produce pasando por diferentes etapas hasta llegar finalmente a los lugares de consumo.

Un sistema de energía eléctrica consiste de una gran diversidad de cargas eléctricas repartidas en una región, en las plantas generadoras para producir la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas generadoras a los puntos de consumo, y todo el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se brinde con las características de continuidad de servicio, de regulación de la tensión y de control de frecuencia requeridas a un costo adecuado.

Todo este recorrido, desde su generación hasta su entrega final, se realiza en lo que se denomina el sistema de potencia. El sistema de potencia se encuentra dividido en: generación, transmisión, sub transmisión y distribución.

Para poder llegar a cada uno de los hogares, centros comerciales e industrias, se reduce la tensión a niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 [kV] y 120 [V], 240 [V], y 440 [V] por medio de transformadores reductores. De esta forma es mucho más sencillo, económico y seguro, transportar la energía eléctrica a cada rincón del pueblo, urbanización o ciudad.

Estamos entonces en la etapa de distribución. Los postes, equipos se colocan en las calles, los cables que parten de los postes hacia cada casa, comercio o industria y los de medición son los componentes de la fase de distribución y los últimos en la carrera de la electricidad desde el generador hasta nuestros hogares e industrias. [1]

2.2 Formas de distribución de la energía

El suministro de energía eléctrica debe realizarse con una calidad adecuada, de manera que los aparatos que utilizan la energía eléctrica funcionen correctamente. La calidad del suministro de energía eléctrica queda definida por los siguientes factores: continuidad del servicio, regulación de la tensión, control de la frecuencia.

La distribución a cargo de la empresa suministradora debe cumplir con estos requisitos y actualmente se manejan dos tipos los cuales mencionare a continuación:

- LÍNEAS AÉREAS
- LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

2.2.1 Líneas aéreas

Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, las estructuras de soporte, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte. Todo esto expuesto a la intemperie y expuesto directamente a descargas atmosféricas.



Figura 1 Línea aérea de media tensión 23kv
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

2.2.2 Líneas subterráneas

Las líneas subterráneas consisten en la transmisión de energía eléctrica a través de cables de potencia. Dichos cables consisten, esencialmente, en uno o más conductores aislados mediante materiales enrollados o extruidos sobre los conductores.

Existen otros elementos en el cable que tienen por objetivo hacer eficiente el uso de las cualidades de los aislamientos y el control de campos electromagnéticos dependiendo de la tensión de diseño.



Figura 2 Línea subterránea de media tensión 23kv
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

2.2.2.1 Impacto ambiental de las líneas subterráneas

2.2.2.1.1 Factores ambientales

En la evaluación ambiental del sitio se consideraron los rasgos físicos (tipos de suelo, pendiente, clima), biológicos (cobertura vegetal, distribución de fauna y presencia de especies protegidas según la norma NOM-059-SEMARNAT-2001), así como ubicación de las áreas naturales protegidas, regiones prioritarias para la conservación.

2.2.2.1.2 Programa institucional de protección ambiental (PIPA)

El PIPA, instrumento para la planeación y seguimiento de las actividades ambientales que se realizan en la CFE, representa un conjunto de acciones y resultados encaminados a dar cumplimiento a las estrategias del Gobierno Federal para la sustentabilidad ambiental del país, plasmadas en los Programas Sectoriales de Energía y Medio Ambiente.

El PIPA cuenta con una herramienta informática, el Sistema Informático de Protección Ambiental (SIPROA) que está en proceso de maduración para concentrar la información ambiental de las áreas de la empresa.

Los principales ejes rectores del PIPA son:

- Reducción del impacto ambiental.
- Maximización de la eficiencia de la generación, transmisión y distribución.
- Incremento en el uso de fuentes de energía renovable.
- Impulso al programa de ahorro de energía.

2.2.2.1.3 Evaluación ambiental estratégica

La CFE desarrolló, con la participación de la Dirección General de Impacto Ambiental de la SEMARNAT y un asesor externo, la metodología de evaluación ambiental estratégica para la selección de sitios y trayectorias de proyectos eléctricos. Los resultados de este proyecto piloto serán aprovechados por la SEMARNAT para adaptar la metodología a otros sectores.

2.3 Sistema de distribución

2.3.1 Sistema de distribución de 600 A

Es aquel en el cual la corriente continua en condiciones normales o de emergencia rebasa los 200 A. Se utilizan en circuitos troncales de media tensión, la configuración será en anillo o alimentación selectiva, de operación radial con una o más fuentes de alimentación. En condiciones de operación normal, el anillo estará abierto aproximadamente al centro de la carga o en el punto dispuesto por el centro de operación. [2]

2.3.2 Sistema de distribución de 200 A

Es aquél en el cual la corriente, en condiciones normales o de emergencia no rebasa los 200 A. Se utiliza en circuitos que se derivan de troncales de media tensión (tensiones de 13,2 a 34,5 kV) aéreos o subterráneos. En condiciones de operación normal para el caso de circuitos en anillo, estará abierto aproximadamente al centro de la carga o en el punto dispuesto por el centro de operación. [2]

2.4 Configuración de transformadores

Al hablar de transformadores, nos encontramos con términos técnicos que conviene manejar adecuadamente. A continuación se mencionan algunos conceptos de los parámetros eléctricos comúnmente empleados:

- TENSIÓN
- CORRIENTE
- CAPACIDAD (POTENCIA)
- IMPEDANCIA
- EFICIENCIA
- REGULACIÓN



Figura 3 Transformador trifásico.

Fuente (Maquinaria Continental Electric, S. A. de C. V., 2006)

Los transformadores de distribución tipo pedestal tanto monofásicos como trifásicos son utilizados en las redes de distribución subterránea ya sea para alimentan en anillo o en radial (NMX-J.285 ANCE, CFE K0000-04). [4,5]

2.4.1 Conexión en anillo

En este tipo de configuración, el transformador puede ser energizado por dos fuentes de alimentación diferentes y formar parte de un sistema de distribución que interconecte varios transformadores entre sí. La ventaja de este tipo de configuración está en que su por alguna razón las fuentes de alimentación se ven interrumpidas, puede emplearse la otra fuente de alimentación, la cual de la ventaja de tener energizado y operando el transformador o los transformadores que estén interconectados entre sí, mientras es corregida la falla que causo la interrupción de alimentación.

Las características que distinguen a los transformadores conectados en anillos son que tienen seis boquillas en media tensión, y cuentan con un seccionador de operación con carga.

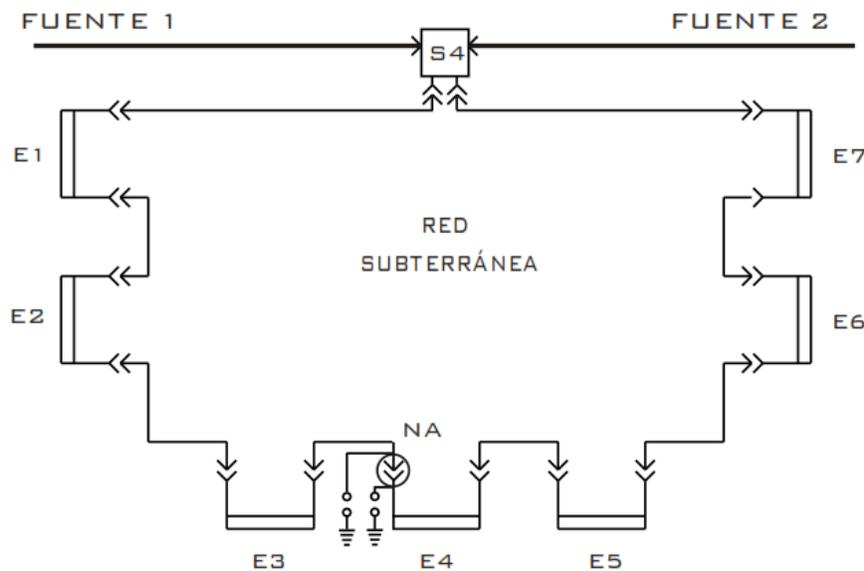


Figura 4 Configuración en anillo con dos fuentes de alimentación.
Fuente (NORMA A CFE-IDP, 2014)

2.4.2 Conexión radial

En este tipo de configuración, el transformador es conectado por una sola línea, de tal manera que es alimentado por una sola fuente. Esto indica que si por alguna razón la energía de las líneas de alimentación se interrumpe, el transformador no podrá ser re-energizado en forma rápida, sino hasta que sea corregido el desperfecto que ocasiono el corte de energía.

Las características particulares de los transformadores con configuración radial que pueden servir para distinguirlos, son que tienen tres boquillas en media tensión y poseen un solo seccionador de operación con carga de dos posiciones.[5]

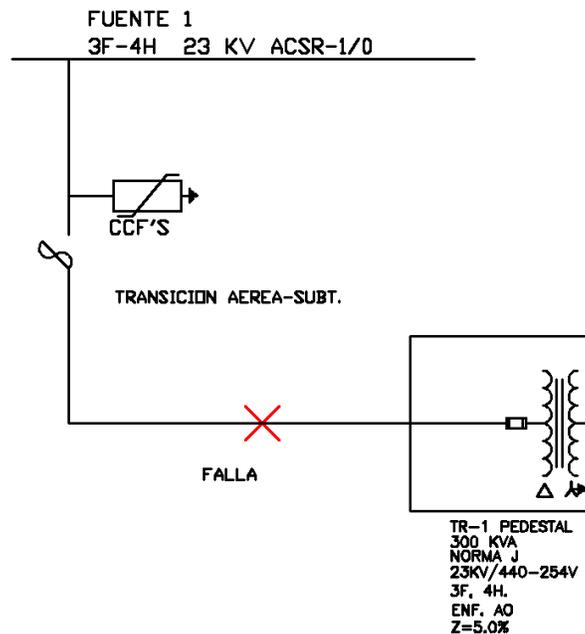


Figura 5 Configuración en conexión radial
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

2.5 Tipos de instalaciones

2.5.1 Distribución residencial

Se deben emplear preferentemente sistemas monofásicos. Cuando la carga residencial sea alta se analizará la conveniencia de utilizar un sistema trifásico. Se podrán utilizar los siguientes tipos de configuración:

- A) Anillo de operación radial.
- B) Radial con las siguientes restricciones:

2.5.2 Distribución comercial y turística

Se utilizará un sistema 3f-4h y su configuración será en Anillo Operación Radial. Cuando los circuitos alimentadores aéreos existentes que se utilicen para alimentar los fraccionamientos subterráneos sean 3f-3h.

2.5.3 Distribución comercial y turística y edificios que requieren alta confiabilidad

Se empleará un sistema 3f-4h y la configuración de la alimentación será selectiva mediante dos o más alimentadores que parten de una misma o diferentes subestaciones de distribución. En este caso cada alimentador se diseñará de acuerdo a las cargas de operación y de emergencia, la conexión a la carga se hará con un seccionador con transferencia automática. Lo anterior se aplicará en hoteles de gran turismo, edificios altos (donde la distribución no puede realizarse con transformadores a nivel de piso), centros de convenciones o donde se requiera de acuerdo a la importancia estratégica de la instalación. Cuando los circuitos alimentadores aéreos existentes que se utilicen para alimentar los fraccionamientos subterráneos sean 3f-3h. [2]

2.6 Dispositivos subterráneos

Como parte complementaria de los cables utilizados en la distribución de energía eléctrica se encuentran los accesorios, los cuales harán posible efectuar las transiciones entre líneas de distribución aéreas a subterráneas; de cable a equipo (ya sean transformadores, interruptores, seccionadores, etc.), o simplemente entre dos cables.

Ya que los accesorios formarán parte de las mismas redes de distribución que los cables y equipo periférico, y dada la importancia que tiene la continuidad del servicio, los accesorios deben estar diseñados, fabricados e instalados haciendo uso de tecnología y calidad suficientes para asegurar un largo periodo de vida con el mínimo de problemas.[3]

2.6.1 Transición aéreo – subterráneo

Tiene como objetivo realizar la interconexión del sistema eléctrico aéreo con el subterráneo y consiste en un conjunto de estructuras y dispositivos, que deben ser adecuadamente seleccionados, así como de las terminales y las protecciones, lo cual asegura una mayor seguridad, confiabilidad y continuidad del servicio

Las estructuras se utilizan para dar soporte de fijación a los cables y deben tener resistencia mecánica suficiente para soportar el peso de estos y sus accesorios, además de las condiciones del medio ambiente y la corrosión. El diseño de la estructura puede ser de concreto, acero o madera y depende del número, tipo y tensión de los cables.[1]

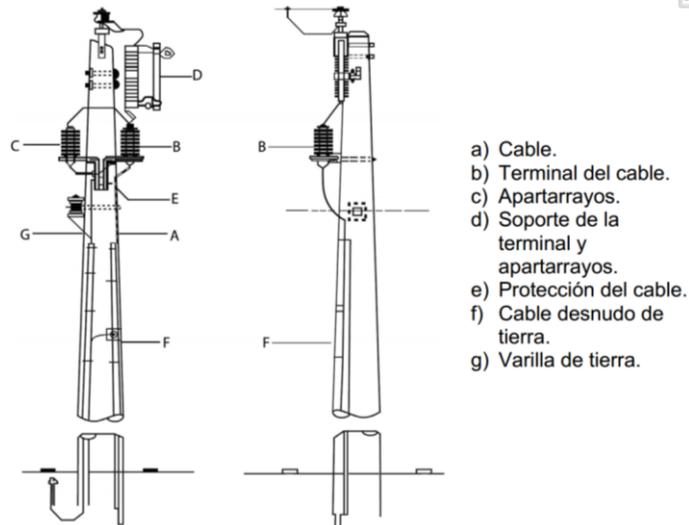


Figura 6 Poste acero o concreto. transición típica de un sistema subterráneo de distribución a una línea aérea.
 Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.2 Terminales

La utilización de terminales en los sistemas de distribución subterránea tiene como objetivo primario el reducir o controlar los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al interrumpir y retirar la pantalla sobre el aislamiento; y como objetivos secundarios se encuentran el proporcionar al cable una distancia de fuga aislada adicional y hermeticidad.

Dependiendo de los elementos funcionales que proporcionen, la clasificación es de la siguiente manera:

- TERMINAL CLASE 1
- TERMINAL CLASE 2
- TERMINAL CLASE 3

2.6.2.1 Terminal clase I

Este tipo de terminales disponibles que cumplen con estas características contienen un aislador de porcelana, y el dispositivo para el control de esfuerzos puede ser del tipo inter-construido o elastomérico o encintado.

- Cono de alivio metálico preformado. Tiene la función de controlar el esfuerzo eléctrico que se ejerce sobre el aislamiento del cable en la zona donde se retira el blindaje electrostático. En la terminal en cuestión, este cono de alivio está integrado al cuerpo de la terminal, logrando contacto eléctrico y soporte mecánico.
- Aislador de porcelana. Su función es la de brindar al cable una distancia adicional de fuga aislada y, por el material con que está hecho, es utilizable en lugares de ambiente altamente contaminado.

- Base y elementos de sello. La función primordial que tienen estos materiales es la de proporcionar al sistema cable-terminal una hermeticidad total, con el objeto de que el fluido aislante contenido dentro de la terminal no fluya hacia el exterior, ni exista la posibilidad de ingreso de humedad al interior de la terminal

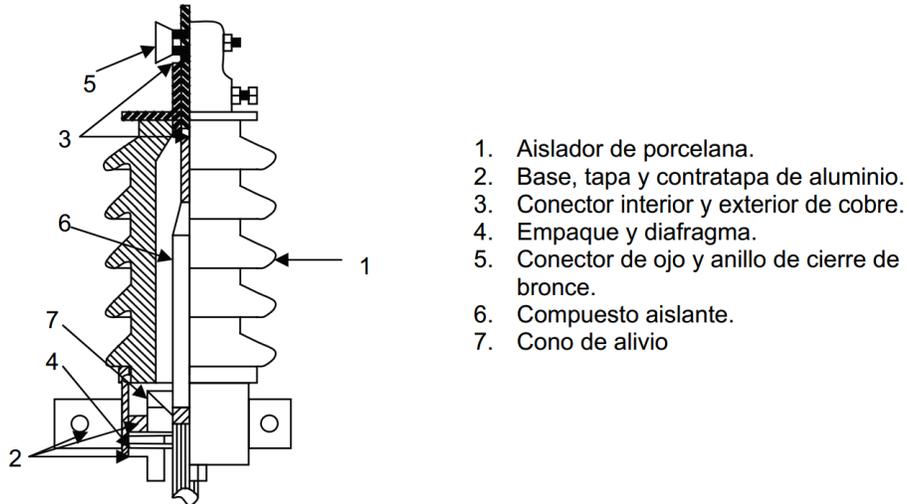


Figura 7 Detalle constructivo de la terminal tipo bayoneta instalada en cable con aislamiento extruido
 Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.2.2 Terminal clase II

Esta proporciona control de los esfuerzos eléctricos que se presentan en el aislamiento del cable al retirar la pantalla. Los tipos de terminales disponibles son pre-moldeadas, termo-contráctiles y encintadas.

- **Cono de alivio pre-moldeado.** Consta de dos materiales elastoméricos, uno de características aislantes y el otro de características semiconductoras, unidos en el proceso de fabricación. La función que desempeña este cono pre-moldeado es la de controlar los esfuerzos que se presentan sobre el aislamiento del cable al retirar el blindaje electrostático.
- **Campanas pre-moldeadas.** Constan de módulos de material elastomérico aislante, el cual tiene entre sus propiedades más sobresalientes una alta resistencia a la formación de trayectorias carbonizadas, asimismo, una alta resistencia a las diferentes radiaciones solares a las que estará expuesto el material cuando se encuentre operando a la intemperie. La función que tienen estas piezas en la terminal es la de proporcionar una distancia adicional de fuga aislada, cuya magnitud estará basada en la clase de aislamiento del sistema en el que se instale y se logrará colocando un número determinado de campanas para la clase de aislamiento en cuestión; así entonces, para sistemas de 8.7 kV, 15 kV, 25 kV y 34.5 kV, el número de campanas será 3, 4, 6 y 8, respectivamente.
- **Conector universal.** El cual se instala en el cable conductor y formará parte del enlace entre el cable aislado y la conexión al equipo o línea aérea. Al diseño de esta pieza se le ha integrado un pequeño reborde que evitará que el capuchón semiconductor se deslice y abandone su lugar.

- **Sello semiconductor.** Corresponde a una pieza elastomérica pre-moldeada, cuyas funciones son eléctricas y mecánicas. La función eléctrica es la de homogeneizar el campo eléctrico presente en el extremo del conductor-conector y elimina la necesidad de dar la forma de punta de lápiz al aislamiento; la función mecánica corresponde a proporcionar un sello contra el ingreso de humedad a la región en donde se retira el aislamiento, impidiendo así que esta humedad pueda causar deterioro al aislamiento del cable y, por lo tanto, a la integridad del sistema de distribución.

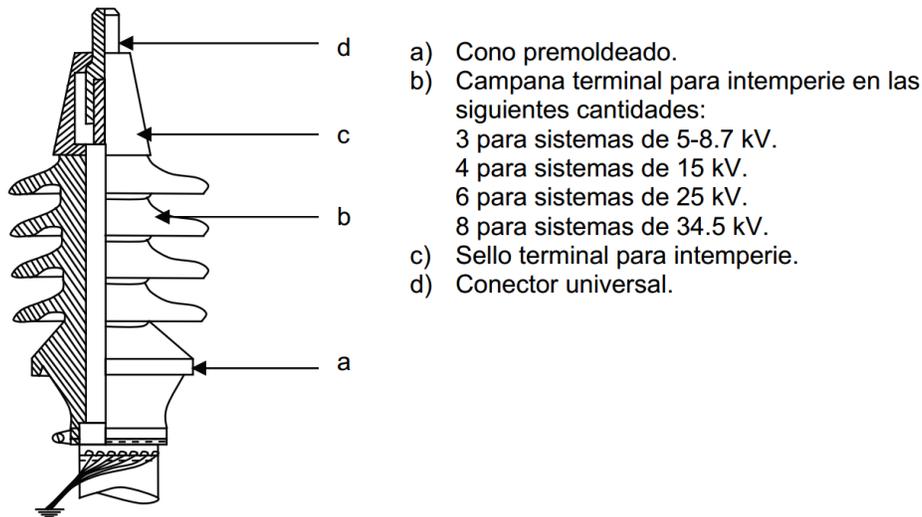
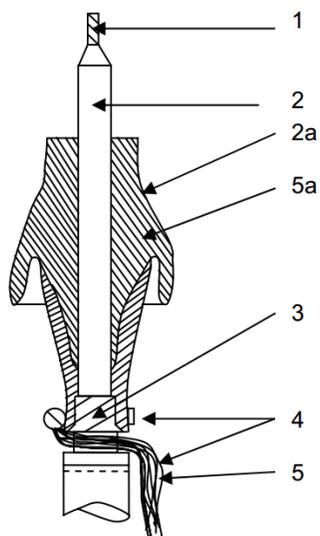


Figura 8 Arreglo descriptivo de la terminal para intemperie.

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.2.3 Terminal clase III

El elemento funcional de esta terminal es básicamente el cono de alivio, el cual está constituido de materiales elastoméricos pre-moldeados; uno de estos materiales elastoméricos es de características aislantes y el otro es semiconductor. El cono de alivio proporcionará al cable en que se instale únicamente el control de los esfuerzos que se presentan al retirar el blindaje electrostático sobre aislamiento, y la distancia de fuga necesaria para la terminal se obtiene con el espacio libre de aislamiento entre el conductor y el corte de la pantalla; precisamente por esta razón, este tipo de terminales está limitado a utilizarse en interiores, esto es, que no esté en contacto con las radiaciones solares directas, ni con precipitaciones pluviales.



1. Conductor del cable.
2. Aislamiento del cable.
- 2a. Aislamiento de la terminal.
3. Cono.
4. Conexión a tierra del cono de alivio y blindaje del cable.
5. Blindaje electrostático del cable.
- 5a. Blindaje electrostático de la terminal.

Figura 9 Detalle constructivo de la terminal para uso en interiores.
(SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.3 Empalmes

Por definición se entiende por empalme: "La conexión y reconstrucción de todos los elementos que constituyen un cable de potencia aislado, protegidos mecánicamente dentro de una misma cubierta o carcasa".

La confiabilidad de un empalme para cables con aislamiento extruido o laminar depende de varios factores, entre los que destacan: la calidad de los materiales empleados, el diseño y la mano de obra de instalación. La selección de los materiales debe estar apoyada en pruebas de evaluación para incorporarlos a la geometría del diseño y hacer que los esfuerzos dieléctricos presentes sean de magnitudes tolerables. Es necesario que en el diseño de empalmes se considere que los materiales utilizados deben ser compatibles con los elementos constitutivos del cable que se unirá, y que estos materiales deben efectuar satisfactoriamente la función que desempeñan sus homólogos en el cable.

Existen varios tipos de empalmes, los cuales son identificables considerando los materiales utilizados y la forma en que se aplican para restituir el aislamiento de los cables por unir, de esta manera se conocen los siguientes tipos de empalmes:

- a) Encintados.
- b) Moldeados en fábrica.
- c) Moldeados en el campo.
- d) Termo-contráctiles.

2.6.3.1 Encintados

Son aquellos en que la restitución de los diferentes componentes del cable, a excepción del conductor, se lleva a cabo aplicando cintas en forma sucesiva hasta obtener todos los elementos del cable; las cintas aislantes aplicadas para obtener un nivel de aislamiento adecuado pueden ser del tipo auto-vulcanizable o del tipo no vulcanizable, las cuales tampoco contienen adhesivo.

Dependiendo del elemento a restituir, se determinarán las características físicas y químicas que tendrán las cintas utilizadas en la elaboración de un empalme completamente encintado.

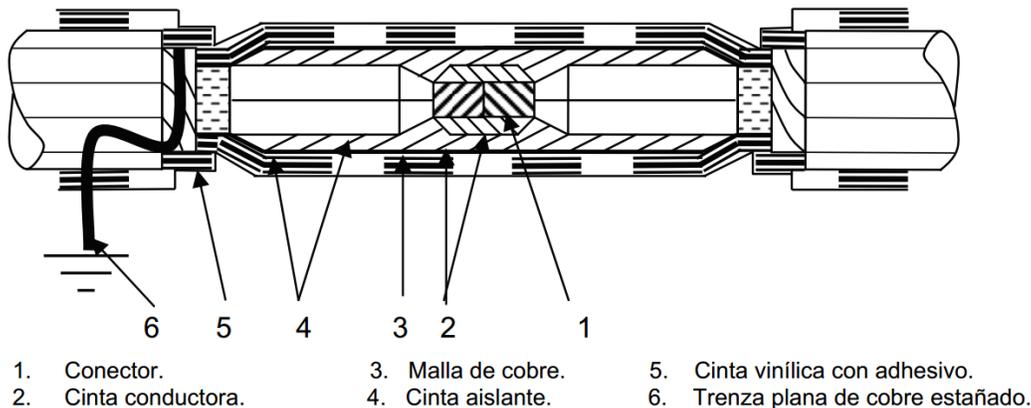


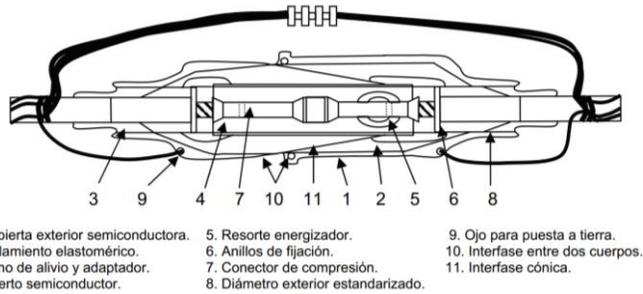
Figura 10 Detalles constructivos de empalmes encintados en cable monofásico con aislamiento extruido

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.3.2 Moldeados en fábrica

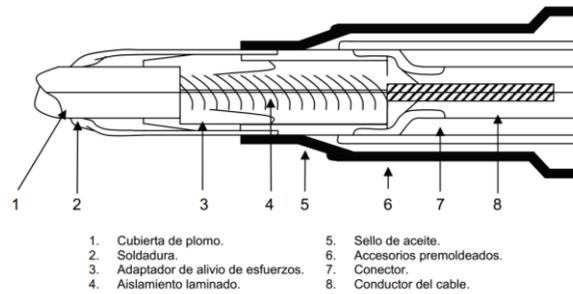
Son aquellos en que los componentes son moldeados por el fabricante utilizando materiales elastoméricos. Los componentes se ensamblan sobre los cables por unir en el lugar de trabajo. Existen varios criterios de diseño de este tipo de empalmes; esto es, algunos fabricantes los elaboran en forma integral de tal modo que todos los elementos elastoméricos que los constituyen se encuentran contenidos en una sola pieza.

Los empalmes pre-moldeados fueron diseñados en un principio para unir cables con aislamiento extruido y, en la actualidad, agregando algunos otros componentes, estos accesorios se están desarrollando para unir cables con aislamiento laminar



- | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Cubierta exterior semiconductora. | 5. Resorte energizador. | 9. Ojo para puesta a tierra. |
| 2. Aislamiento elastomérico. | 6. Anillos de fijación. | 10. Interfase entre dos cuerpos. |
| 3. Cono de alivio y adaptador. | 7. Conector de compresión. | 11. Interfase cónica. |
| 4. Inserto semiconductor. | 8. Diámetro exterior estandarizado. | |

Figura 2.5.3.2.a Empalme pre-moldeado.
(SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)



- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Cubierta de plomo. | 5. Sello de aceite. |
| 2. Soldadura. | 6. Accesorios premoldeados. |
| 3. Adaptador de alivio de esfuerzos. | 7. Conector. |
| 4. Aislamiento laminado. | 8. Conductor del cable. |

Figura 11 Empalme pre-moldeado para cable con aislamiento laminado.
Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.3.3 Moldeados en campo

Son aquellos en que los componentes del empalme se aplican en el cable por unir, utilizando materiales sólidos vulcanizables por medio de calor y presión, que se suministran a través de equipo diseñado para tal fin.

El único diseño que se tiene hasta la fecha consiste en hacer exclusivamente el moldeo o vulcanizado del material aislante del empalme, para lo cual se utiliza una prensa portátil que provee la presión y temperatura adecuada para efectuar el proceso; los demás componentes del empalme, según la construcción específica que se requiera, se lleva a cabo utilizando alguna o algunas de las siguientes técnicas: encintado, barnizado, aplicación de materiales termocontráctiles o encapsulado con sistemas epóxicos.

Este tipo de empalmes está limitado a su aplicación en cables con aislamiento extruido. [3]

2.6.3.4 Termo-contráctil

Los empalmes contráctiles en frío tienen la característica de que se reúnen en un solo cuerpo todos los elementos que reconstruyen las partes del cable. Un empalme contráctil en frío, bien se puede describir como un “todo en uno” ya que como principal característica de instalación se tiene que el empalme está expandido sobre una espiral que se va retirando gradualmente, permitiendo la contracción sobre el cable que se va a empalmar.[1]

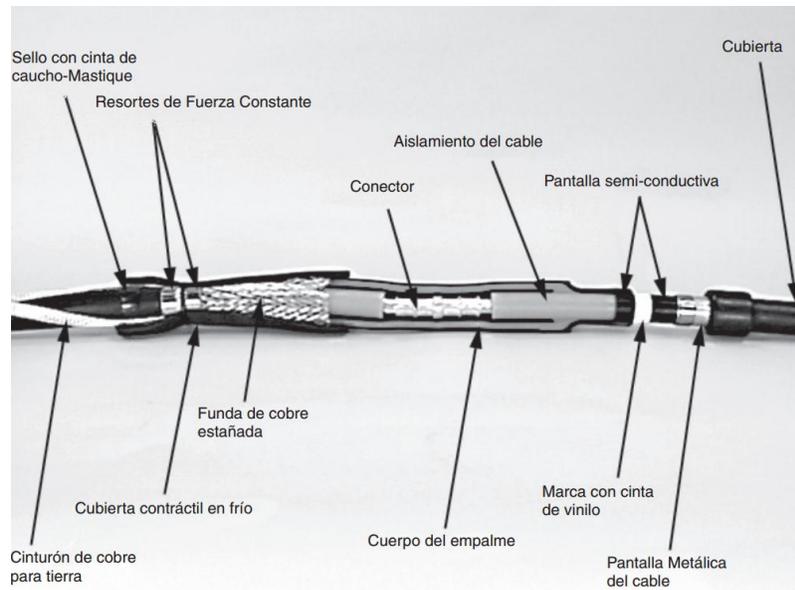


Figura 12 Corte longitudinal del cable corrugado longitudinalmente

Fuente (Empalme Contráctil en Frío QS-III, 2007)

2.6.4 Conectores aislados separables

Un conector aislado separable es aquel elemento que se utiliza para llevar a cabo la unión eléctrica de un cable de energía aislado a un aparato eléctrico u otros cables de energía, de tal forma que la conexión pueda ser establecida o interrumpida fácilmente, acoplando o separando los dispositivos

2.6.4.1 Conector codo OCC - OSC

Conectores tipo codo y cuerpos para arreglos modulares. Estos elementos se utilizan para hacer la integración del cable al sistema; de esta forma, hacen posible la interconexión de los cables al equipo (transformador, seccionador, interruptor, etc.), entre varios cables. Para nivel de 200 A se tienen codos tanto para operación con carga como para operación sin tensión, los cuales se ensamblarán a sus correspondientes insertos.

El Conectador Tipo Codo de Operación con Carga es una terminación desconectable totalmente sellada, para la conexión de cable subterráneo a transformadores, gabinetes de seccionamiento y cajas derivadoras equipados con boquillas de operación con carga.

El Conectador tipo Codo es un dispositivo para operación de 200 a 600 A, debe de estar diseñado de acuerdo a la última versión de la norma IEEE Std 386.[1,7]

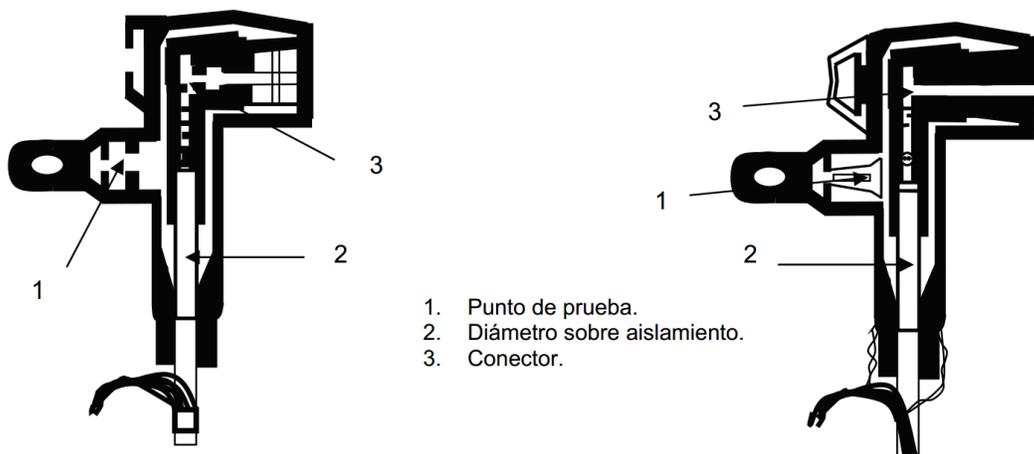


Figura 13 Conector tipo codo, 200 A; A la izquierda, uno para operación sin carga y a la derecha, para operación con carga.

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

2.6.4.2 Conector tipo inserto OCC

Estos elementos tiene la función de ser el enlace entre el embobinado primario del transformador, o con la terminal del equipo en que se encuentre instalada (interruptor, seccionador, etc.). Para esta aplicación se tienen versiones de 200 A o 600 A, y clase 15 kV, 25 kV o 34.5 kV, en lo referente al aislamiento.

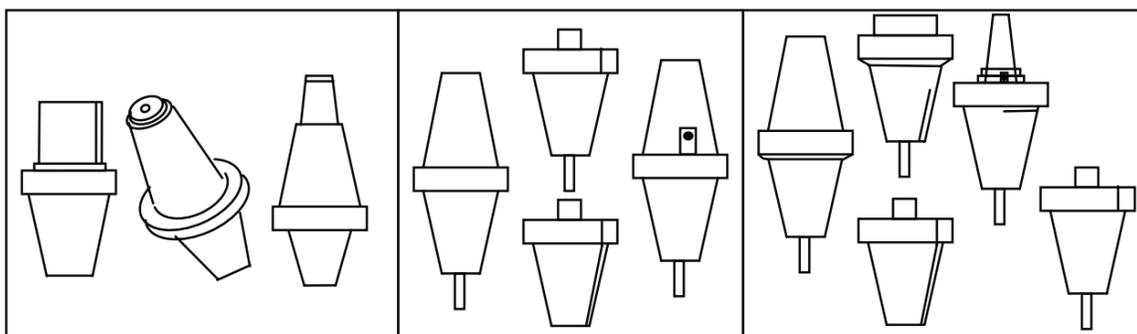


Figura 14 Diferentes construcciones de insertos. algunos para 600 y para 200 A.

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

CAPITULO 3. TIPOS DE CABLES SUBTERRÁNEOS Y TÉCNICAS DE MANUFACTURA

El cable de potencia es un dispositivo eléctrico utilizado para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro a una corriente y tensión determinadas. Por lo tanto, un cable aislado tiene como finalidad transportar energía, además de lograr que las pérdidas eléctricas que existan por causa de la transferencia de energía de un lugar a otro sean las mínimas posibles, esto es justamente lo que le da funcionalidad a una instalación.

Cuando un conductor eléctrico aislado se conecta a una fuente de energía eléctrica, se ordena, orienta y acelera el movimiento de los electrones como causa del efecto del campo eléctrico. Los cables de potencia se clasifican de varias formas y en este caso es útil clasificarlos por la tensión a la que operan, en este caso específico al tratar de cables para media tensión se considera un rango de tensión de 1 kV hasta 35kV.

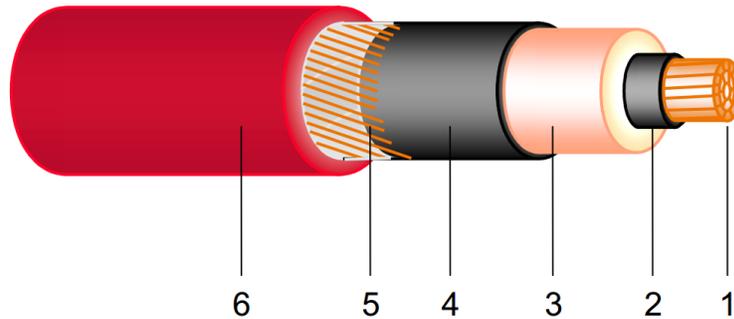
3.1 Elementos que componen el cable de potencia

En el cable de potencia se comprende de tres elementos principales:

- El conductor
 - Cobre recocida
 - Aluminio o aleación de aluminio
- El aislamiento
 - Polietileno de cadena cruzada (XLP)
 - Etileno propileno (EP)
 - Papel impregnado en aceite
- Protección contra daños
 - De origen eléctrico
 - Pantallas
 - Capa semiconductor
 - De origen mecánicos
 - Armadura
 - Cubiertas interior y exterior

El constante desarrollo que ha presentado la tecnología de estos cables está orientado al uso de nuevos materiales, mejoramiento de los procesos productivos y nuevos diseños de los productos.

En la siguiente figura se observa cada una de las partes del cable de potencia descritas anteriormente, en donde se pueden observar el orden y lugar que ocupan en la construcción del cable. Es importante destacar que cada elemento contiene propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas que se tomarán en cuenta para determinar de acuerdo a las necesidades el tipo de cable.



1. Conductor.
2. Pantalla semiconductora sobre el conductor.
3. Aislamiento.
4. Pantalla semiconductora sobre el aislamiento.
5. Pantalla metálica.
6. Cubierta general.

Figura 15 Cable de energía en media tensión (5 a 35 kv).

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

3.2 Formas y tipos de conductores

Hay factores importantes que deben ser considerados para la selección de conductores, tales como:

- Materiales
- Flexibilidad
- Forma
- Dimensiones

3.2.1 Materiales

Los materiales más usados para la fabricación de estos son el cobre y el aluminio. El cobre es superior en características eléctricas y mecánicas y el aluminio, principalmente su bajo peso y costo ha dado lugar a un constante uso de este metal para la fabricación de cables

Características	Cobre	Aluminio
Para igual volumen: relación de pesos	1.0	0.3
Para igual conductancia: relación de áreas	1.0	1.64
relación de diámetros	1.0	1.27
relación de pesos	1.0	0.49
Para igual ampacidad: relación de áreas	1.0	1.39
relación de diámetros	1.0	1.18
relación de pesos	1.0	0.42
Para igual diámetro: relación de resistencias	1.0	1.61
capacidad de corriente	1.0	0.78

Tabla 1 Comparación de características entre cobre y aluminio

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

3.2.2 Flexibilidad

La flexibilidad de un conductor se logra de dos maneras, recociendo el material para suavizarlo o aumentando el número de alambres que lo forman. A la operación de reunir varios conductores se le denomina cableado y da lugar a diferentes flexibilidades de acuerdo con el número de alambres que lo forman, el paso o longitud de torcido de agrupación y el tipo de cuerda.

El grado de flexibilidad de un conductor, como función del número de alambres del mismo, se designa mediante letras que representan la clase de cableado. Las primeras letras del alfabeto se utilizan para las cuerdas más rígidas, y las últimas, para cuerdas cada vez más flexibles. No hay una regla fija para decidir qué grado de flexibilidad es el más adecuado para una determinada aplicación, ya que con frecuencia dos o tres clases de cableado pueden ser igualmente satisfactorias para cierto cable.

Clase	Aplicación
AA	Cable desnudo, generalmente para líneas aéreas
A	Cable aislado, tipo intemperie, o cables desnudos que requieran mayor flexibilidad que la de la clase AA
B*	Cable aislado con materiales diversos, tales como papel, hule, plástico, etc., o cables del tipo anterior que requerirán mayor flexibilidad
C y D	Cables aislados que requieran mayor flexibilidad que la clase B
G	Cables portátiles con aislamiento de hule, para alimentación de aparatos o similares
H	Cables y cordones con aislamiento de hule que requieran mucha flexibilidad. Por ejemplo, cables que tengan que enrollarse y desenrollarse continuamente y que tengan que pasar por poleas
I	Cables para aparatos especiales
J	Cordones para artefactos eléctricos
K	Cables portátiles y para soldadoras eléctricas
L	Cordones portátiles y para artefactos pequeños que requieran mayor flexibilidad que la de las clases anteriores
M	Cables para soldadoras tipo portaelectrodos, para calentadores y para lámparas
O	Cordones pequeños para calentadores que requieran mayor flexibilidad que los anteriores
P	Cordones más flexibles que en las clases anteriores
Q	Cordón para ventiladores oscilantes, flexibilidad máxima

Tabla 2 Clases de cableado

Fuente (Normas ASTM)

3.2.3 Forma

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

- Redonda.
- Sectorial.
- Segmental.

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es circular. Se utiliza tanto en cables monoconductores como en cables multiconductores con cualquier tipo de aislamiento.

Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de uno o más alambres. El cable resultante recibe el nombre de "cable concéntrico". Este cable es el más usado, empleándose para las clases AA, A, B, C y D.

Con frecuencia es conveniente reducir el diámetro de un cable concéntrico, sobre todo en calibres grandes para disminuir sus dimensiones y obtener una superficie cilíndrica uniforme, lo cual representa ventajas eléctricas. Esto puede lograrse comprimiendo el cable a través de un dado. El resultado es el cable redondo compacto.

Comparando los cables con conductores sectoriales, con los equivalentes de conductores redondos, encontramos que los primeros presentan las siguientes ventajas:

- Menor diámetro.
- Menor peso.
- Costo más bajo.

Pero tienen en cambio estas desventajas:

- Menor flexibilidad.
- Mayor dificultad en la ejecución de las uniones.

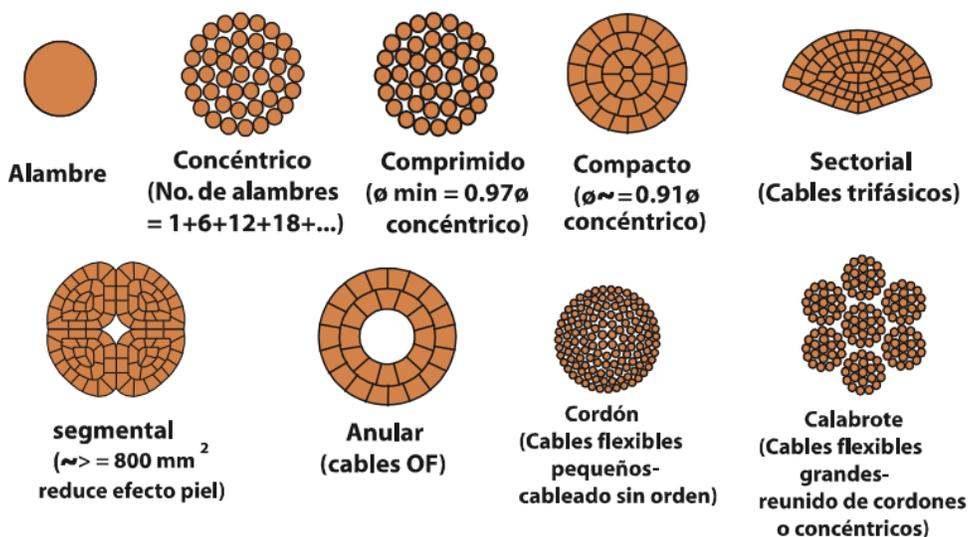


Figura 16 Formas de conductores

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

3.3 Pantalla semiconductor

Se coloca sobre el conductor, es el material sintético y de baja resistividad que tiene como función la disminución simétrica y radial del esfuerzo del campo eléctrico sobre el aislamiento, haciendo uniforme el gradiente eléctrico en la superficie del conductor.

Es decir, hace uniforme el campo eléctrico, disminuyendo de esta manera el riesgo de la formación de puntos de ionización en la parte del aislamiento en la que el campo es más intenso.

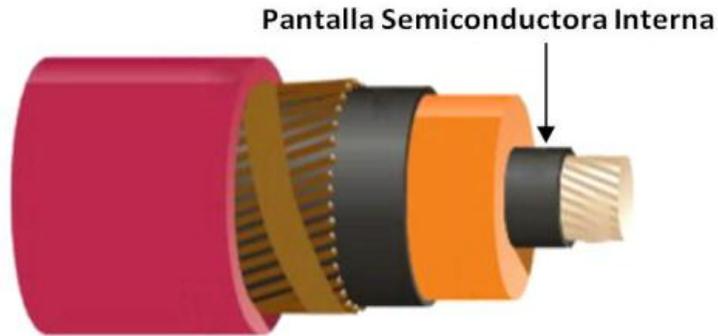


Figura 17 Pantalla interna
Fuente (IUSA, CABLES DE MEDIA TENSION)

3.4 Aislamiento extruido

Un material aislante es aquel que no permite el fácil desplazamiento de los electrones, por lo que ante una diferencia de potencial, no tienen libertad de moverse.

El aislamiento en un cable de potencia es una capa de material sintético de alta resistividad y tiene como función confinar el campo eléctrico.

El espesor del aislamiento es importante que sea apropiado para la tensión, ya que tiene la finalidad de que el campo eléctrico al que se va a someter sea menor a la rigidez dieléctrica del medio aislante.

Existen otro tipo de condiciones que debe cumplir un aislamiento, las características principales son:

- Absorción de agua
- Resistencia a humedad
- Resistencia a exposición rayos UV
- Resistencia agentes corrosivos

Las características físicas que debe de cumplir:

- Resistencia al agrietamiento
- Termoplasticidad
- Resistencia a las bajas o altas temperaturas

Las características mecánicas que debe cumplir:

- Resistencia a la tracción
- Resistencia al alargamiento permanente
- Resistencia al envejecimiento
- Resistencia a la torsión

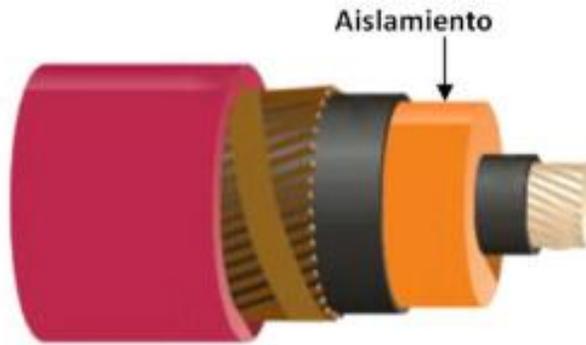


Figura 18 Aislamiento.
(IUSA, CABLES DE MEDIA TENSION)

3.5 Pantalla semiconductor sobre el aislamiento

Los cables de energía bajo el potencial aplicado, quedan sometidos a esfuerzos eléctricos. El aislamiento cumplirá con su función en forma eficiente si el campo eléctrico se distribuye uniformemente. Una distribución no uniforme lleva a un incremento de esfuerzos en proporción del cable, y se producirá un deterioro a este.

Se aplica sobre el aislamiento con el fin de hacer que las líneas del campo eléctrico sean radiales haciendo trabajar en forma uniforme el aislamiento. Debe ser o más lisa posible para evitar la formación de burbujas en el aislamiento.

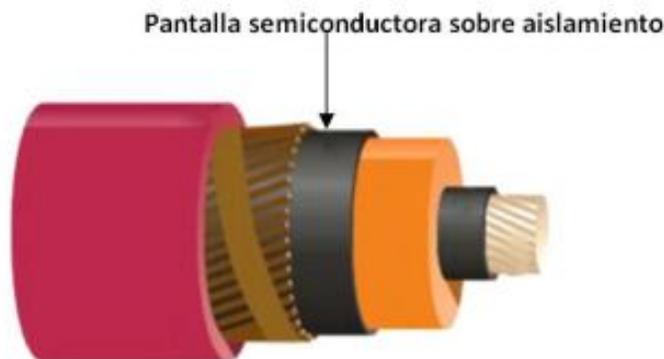


Figura 19 Pantalla semiconductor sobre el aislamiento
Fuente (IUSA, CABLES DE MEDIA TENSION)

3.6 Pantalla metálica

Esta pantalla está formada por hilos y cintas de cobre aplicadas en forma helicoidal sobre la semiconductora externa y su función es la de proteger la vida humana, pues sirve para realizar las conexiones de puesta a tierra, y para una instalación es recomendable aterrizar la pantalla en todos los puntos donde sea posible.

La pantalla metálica puede tener varios usos, entre ellos destacan:

- Propósitos electroestático
- Conducir corriente de falla

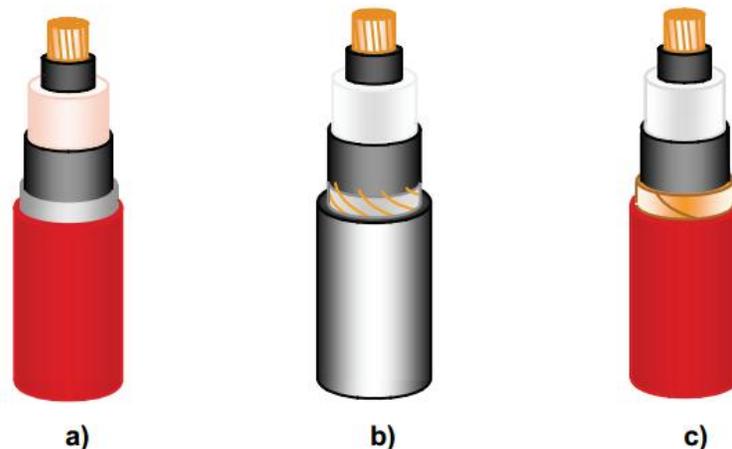


Figura 20 Variante de pantallas metálicas
a) de plomo b) de alambres de cobre c) de cintas de cobre
Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

3.7 Cubierta externa

La cubierta externa proporciona protección contra los diferentes agentes que pudieran ocasionarle algún daño al conductor. Existen cubiertas metálicas, termoplásticas y elastómericas.

El forro debe proteger mecánicamente al cable y es este donde se hace el grabado del cable así como las características tales como calibre, tensión de operación, datos del fabricante, etc.

3.7.1 Cubiertas termoplásticas

Los materiales termoplásticos son aquellos que se pueden fundir y dar una nueva forma, en este caso los materiales que se utilizan para las cubiertas termoplásticas son materiales como PVC y polietileno de alta densidad.

3.7.2 Policloruro de vinilo (PVC)

El Cloruro de Polivinilo es el más utilizado para la cubierta de los cables de potencia debido a su bajo costo, y tiene una gran resistencia a las descargas parciales. Su constante dieléctrica es elevada, que en este caso no es muy significativa ya que no se usa como aislamiento.

3.7.3 Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad tiene un punto de fusión relativamente alto razón por la cual se trabajó con este material por varios años, para mejorar su resistencia térmica, disipa el calor de una forma relativamente fácil. Tiene propiedades mecánicas aceptables especialmente su resistencia a la abrasión.

3.7.4 Cubiertas elastoméricas

Los materiales elastoméricos son polímeros que tienen un comportamiento elástico y pueden sufrir alguna deformación cuando se someten a una fuerza, sin embargo después recuperan su forma original. Los materiales más utilizados para las cubiertas de cables en media tensión son el Polietileno clorosulfonado y el neopreno

CAPITULO 4. PRUEBAS DE LABORATORIO EN FÁBRICA

4.1 Consideraciones generales

En este capítulo se mencionaran las pruebas de aceptación realizadas dentro de la fábrica, tomando como base la norma NMX-J-142/1-ANCE-2011, ya que cada fabricante realiza las pruebas de manera diferente siempre tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

1. **Temperatura:** El esfuerzo dieléctrico de algunos aislamientos se reduce a temperaturas elevadas, esto requiere una reducción de la tensión de prueba a altas temperaturas
2. **Condiciones atmosféricas:** La humedad excesiva favorece la condensación sobre las superficies expuestas, pudiendo afectar mucho los resultados de las pruebas. La contaminación de la superficie de las terminales puede incrementar considerablemente la corriente de conducción y proporcionar el arqueado externo. La densidad del aire afecta la medición de la prueba, incrementando la corriente de conducción.
3. **Campos eléctricos externos:** Debido al esfuerzo e ionización del aire entre el circuito bajo prueba, y la proximidad de circuitos energizados, es posible que pueda ocurrir arqueado. Cuando el espacio es reducido, se tomarán las precauciones necesarias para prevenir los arcos.

4.2 Clasificación de pruebas

4.2.1 Pruebas prototipo

Para comprobar que las características de funcionamiento de cada diseño básico de cable cumplan con lo que se especifica de acuerdo a norma (NMX-J-142/1-ANCE-2011). Estas pruebas deben efectuarse al inicio y posteriormente cuando se modifique algunos de sus componentes, en el proceso de fabricación o en el diseño del cable. Siempre tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

4.2.2 Pruebas de rutina

Estas son un conjunto de pruebas que se realizan en fábrica durante o después de producción, en los cables o sus componentes para propósitos de control de calidad, con objeto de comprobar que cumplen con las especificaciones respectivas y que están de acuerdo con las pruebas prototipo

4.3 PRUEBAS

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
PROTOTIPO	Medición de espesor del aislamiento	NMX-J-177-ANCE NMX-J-205-ANCE NMX-J-040-ANCE	<ul style="list-style-type: none"> La determinación del espesor del aislamiento se realiza con los métodos que especifica la norma, excepto que el espesor mínimo debe considerarse como el mínimo en cualquier punto del aislamiento y el espesor máximo como el máximo en cualquier punto del aislamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> En aquellos casos en que los tiempos de eliminación de una falla a tierra no se definan o en el caso de sistemas resonantes conectados a tierra, los espesores de aislamiento y tensiones de prueba deben consultarse en la documentación del producto La tensión de operación entre fases puede exceder de la tensión nominal en 5% durante la operación continua del cable, o en 10% en un periodo no mayor que 15 min.
	Resistencia eléctrica del conductor en corriente directa	NMX-J-212-ANCE		<ul style="list-style-type: none"> Monoconductores: La resistencia eléctrica a la corriente directa, no debe exceder a la máxima que especifica la norma respectiva del conductor desnudo. Multiconductores: La resistencia eléctrica a la corriente directa del cable terminado, no debe exceder en más de 2% al valor máximo que especifica la norma respectiva del conductor desnudo

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
PROTOTIPO	Continuidad y resistencia eléctrica de la pantalla metálica en corriente directa	NMX-J-212-ANCE	Esta prueba debe realizarse a todos los tramos de cable terminado y los valores que se obtienen deben registrarse solo para información	Se considera que el componente metálico tiene continuidad eléctrica, si su valor de resistencia eléctrica corresponde al de diseño
	Continuidad de las capas semiconductoras extruidas	NMX-J-522-ANCE	Se corta una rodaja transversal de 0.6 mm de espesor, conteniendo al aislamiento y las capas semiconductoras sobre el conductor y sobre el aislamiento. La rodaja se coloca durante 5 h en el equipo, el cual debe de contener un litro de solvente en ebullición y 1% en masa de antioxidante. Después de la quinta hora se saca la rodaja del solvente y se examina con una lente de por lo menos 15 aumentos para observar la continuidad	<ul style="list-style-type: none"> Las capas semiconductoras extruidas sobre el conductor y sobre el aislamiento deben mostrar continuidad en todo el perímetro de cobertura. Se admite también la separación total entre la capa semiconductor y el aislamiento después de la prueba.

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
PROTOTIPO	Descargas parciales	NMX-J-030-ANCI	Se aplica la tensión entre el conductor y los componentes metálicos de la pantalla sobre el aislamiento de los conductores individuales bajo prueba. La tensión debe incrementarse de manera uniforme hasta la tensión de prueba y debe mantenerse durante 10 s, posteriormente debe disminuirse a razón de no más de 2000 V/s hasta la extinción de descargas parciales. La tensión no debe mantenerse por más de tres minutos durante toda la prueba y en todo este tiempo debe efectuarse la medición de descargas parciales en pC.	La magnitud de las descargas puede obtenerse ya sea a través de la pantalla de un tubo de rayos catódicos, un medidor de transferencia de carga o un graficador X-Y. El nivel de descarga correspondiente debe poder leerse a partir de una gráfica X-Y.
	Factor de potencia o disipación	NMX-J-205-ANCI	La prueba del factor de disipación o tangente delta se realiza a temperatura ambiente y a la tensión de fase a tierra del cable.	

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
PROTOTIPO	Resistividad volumétrica del aislamiento	NMX-J-204-ANCE		<ul style="list-style-type: none"> • La resistividad no debe ser mayor que $1000\Omega \times m$ en condiciones normales de operación • La resistividad no debe ser mayor de $500\Omega \times m$ en condiciones máximas de operación y a $110^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$
	Absorción de humedad, método eléctrico	NMX-J-040-ANCE	<ul style="list-style-type: none"> • Esta prueba deberá realizarse en una muestra de cable terminado 	Cumplir los parámetros que se especifican en la tabla 6 de la NMX-J-142/1-ANCE-2011 (10/45)
	Alta tensión corriente alterna larga duración	NMX--J-443-ANCE		<p>Debe soportar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 24kV/mm para XLP, XLP-RA y XLP105. • 19.7kV/mm para EP, EP 105 y HEPR

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
PROTOTIPO	Tensión de impulso a la ruptura	NMX-J-309-ANCE NMX-J-440-ANCE	Deben aplicarse diez impulsos de cada polaridad con la tensión de aguante de impulso por rayo que se especifica en la tabla 19 de la NMX-J-142/1-ANCE-2011 (26/45). Posteriormente debe incrementarse la tensión en etapas de 25% de la tensión de aguante de impulso por rayo, aplicando en cada una de las etapas tres impulsos de polaridad negativa, hasta llegar a la falla del espécimen, la cual debe ocurrir en la longitud activa.	El espécimen debe soportar como mínimo 25% mas de la tensión de impulso por rayo. Los valores de tensión de aguante de impulso por rayo y a la ruptura se especifican en la tabla 19 de la NMX-J-142/1-ANCE-2011 (26/45).
	Arborescencias forzadas	NMX-J-439-ANCE	<ul style="list-style-type: none"> • La prueba debe realizarse sobre especímenes de cable con una longitud activa mínima de 5m. • El conductor debe ser cable de cobre o aluminio, sin barreras bloqueadoras contra el ingreso de humedad. 	La prueba se realiza en el tiempo que se especifica en la tabla 18 de la NMX-J-142/1-ANCE-2011 (20/45).
	Penetración longitudinal de agua en el conductor sellado y/o en la pantalla sobre el aislamiento	NMX-J-200-ANCE	<ul style="list-style-type: none"> • Se realiza en un espécimen de 6 m de cable terminado. • Se realiza con cables conductor sellado y de acuerdo con lo que se especifica en el método 1 de NMX-J-200-ANCE 	

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
PROTOTIPO	Resistencia de propagación de la flama	NMX-J-498-ANCE	Esta prueba aplica para cables monoconductores y cables triplex con designación 21.2 mm ² (4 AWG) y mayores u para cables multiconductores de cualquier designación.	Los conductores deben cumplir con lo que se especifica en NMX-J-498-ANCE
	Resistencia a la intemperie	NMX-J-553-ANCE	Debe comprobarse con la aplicación de la prueba que se establece en NMX-J-553-ANCE durante 720h.	El material de la cubierta debe retener como mínimo 80% de los valores de esfuerzo de tensión y alargamiento a la ruptura, que se obtiene en el material sin acondicionamiento.

CLASIFICACIÓN	PRUEBA	NORMA DE APLICACIÓN	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
RUTINA	Adherencia entre el aislamiento y componente semiconductor extruido sobre el aislamiento	NMX-J-431-ANCE	Los cables se someten a la prueba de adherencia, la fuerza necesaria para retirar la capa semiconductora.	Cuando los especímenes se someten a la prueba de simulación de instalación, el componente semiconductor debe poder separarse del aislamiento, de acuerdo a los límites que se especifican en la Tabla 9 de la NMX-J-142/1-ANCE-2011 (11/45).
	Factor de ionización	NMX-J-205-ANCE		El factor de ionización debe cumplir con lo que se especifica en la Tabla 6 de la NMX-J-142/1-ANCE-2011 (10/45).
	Envejecimiento en aceite de cubiertas	NMX-J-194-ANCE		Esta prueba debe cumplir con lo que se especifica en la norma NMX-J-194-ANCE
	Choque térmico	NMX-J-190-ANCE		Esta prueba debe cumplir con lo que se especifica en la norma NMX-J-190-ANCE
	Agrietamiento en ambiente controlado	NMX-J-426-ANCE		Esta prueba debe cumplir con lo que se especifica en la norma NMX-J-426-ANCE

	Cavidades contaminantes en el aislamiento e irregularidades en los componentes semiconductores extruidos	NMX-J-441-ANCE	Las muestras se cortan en rodajas y se preparan para examinarlas.	En esta prueba no deben encontrarse defectos en el aislamiento o en los semiconductores extruidos como se indica en el apartado 7.22 de la norma NMX-J-142/1-ANCE-2011 (29/45).
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	-------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 3 Pruebas en fábrica

Fuente (ASOCIACION DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, A.C.)

CAPITULO 5. PRACTICA DE INSTALACIÓN DE LOS CABLES SUBTERRÁNEOS

En esta parte estableceremos los procedimientos adecuados para la instalación de los cables de energía, y es aquí donde la responsabilidad tiene que ser asumido por la empresa y el personal que se encargara de realizar los trabajos

Los servicios que se brindaran con el uso de los cables de energía de media tensión exigen una buena instalación para su óptimo funcionamiento, para ello se necesitan conocer los principios básicos de un cable de potencia, ya no en términos de parámetros eléctricos, si no su manejo mecánico. Una forma equivocada de manipular a un cable aislado que no ha sido instalado puede ocasionar daños graves que afecten su vida útil o que se manifestaran en el momento de ponerlos en servicio, por lo cual es de vital importancia realizar una instalación de calidad.

Los accesorios son las principales fuentes de falla de un cable, dado que no son del mismo material que los cables, lo cual no es condición para que existan fallas en el cable. Por ello deben colocarse de la forma apropiada y con el conocimiento preciso del personal que realizara este trabajo.

5.1 Tendido del cable

Al momento que el cable de energía está siendo instalado, deben tomarse las siguientes recomendaciones:

- a) Considerar un excedente de cable para garantizar que hay suficiente longitud de este para las conexiones de tierra, empalmes y terminales.



Figura 21 Excedente de cable alojado en un registro
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

-
- b) Presentar el cable contra el dispositivo en el cual se conectara y considerar la suficiente longitud para maniobrar los conectores separables (codos), considerando el radio mínimo de curvatura que nos recomienda el fabricante.

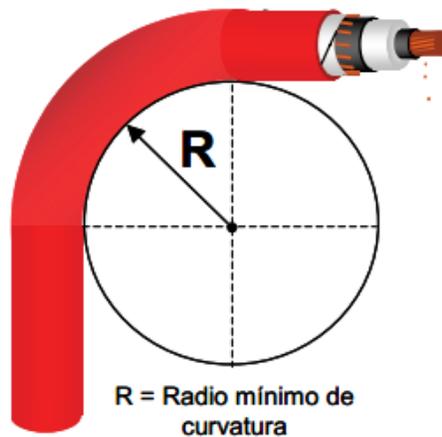


Figura 22 Radio mínimo de curvatura para cable de energía
Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

- c) Limpiar adecuadamente el cable para retirar todo agente contaminante tales como lodo, polvo, mugre, residuos de lubricante, etc.



Figura 23 Limpieza de conductor con solventes dieléctricos
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

- d) Al elaborar codos o terminales pre-moldeados, procura utilizar el doblado natural del cable para no forzar el cable durante su operación o en el proceso de conexión y desconexión.

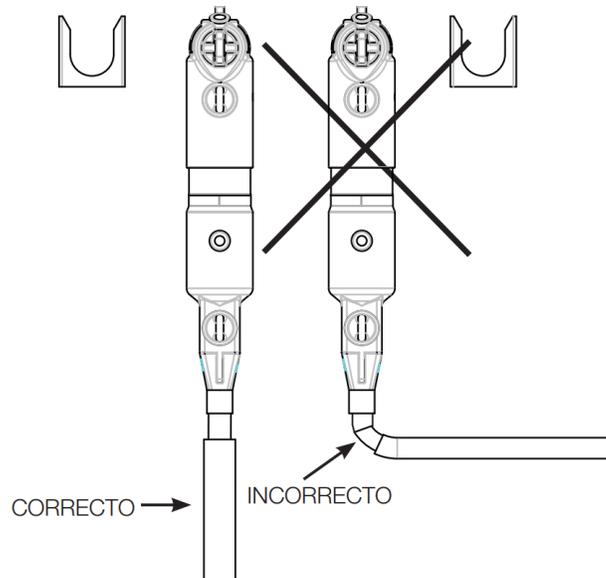


Figura 24 Colocación adecuada del cable de potencia de acuerdo a su dobléz natural
 Fuente (Thomas & Betts Corporation, 2012)

5.2 Identificación de accesorios

Ya que los accesorios formarán parte de las mismas redes de distribución que los cables y equipo periférico, y dada la importancia que tiene la continuidad del servicio, los accesorios deben estar diseñados, fabricados e instalados haciendo uso de tecnología y calidad suficientes para asegurar un largo periodo de vida con el mínimo de problemas.[1]

De igual manera hay que tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Confirmar que el accesorio que se va a instalar sea el adecuado para el cable



Figura 25 Codo occ para cable de energía cal. 1/0
 Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

- b) Considerar que los componentes vengan en buen estado y todos sus componentes estén incluidos.



El kit completo del codo incluye:

- Cuerpo del codo portafusible de operación con carga
- El fusible limitador se vende por separado
- Conector de compresión con punta de cobre
- Adaptador del electrodo
- Electrodo de operación con carga
- Herramienta para instalar el electrodo
- Llave hexagonal, 1/8"
- Llave hexagonal 3/16" suministrada con fusible (se vende por separado)
- Silicón lubricante
- Hoja de Instructivo de Instalación

Figura 26 Instrucciones de instalación del conector tipo codo portafusible para operación con carga

Fuente (Thomas & Betts Corporation, 2012)

- c) Usar el equipo de seguridad apropiado



Figura 27 Equipo de seguridad

Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

- d) El personal que realizara el trabajo debe asegurarse que cuenta con todo el equipo y herramienta necesario, antes de iniciar la preparación del cable
- e) Una vez iniciada la preparación del cable no se puede interrumpir, ya que será factor de que agentes externos se impregnen en el área a trabajar.

5.3 Preparación para la elaboración de accesorios

Tomando en cuenta las recomendaciones y lineamientos para el tendido e identificación de accesorios, se procederá a preparar el cable para tenerlo en las condiciones óptimas para la instalación de los accesorios.

5.3.1 Retiro de la cubierta

De acuerdo con el fabricante, se debe respetar la longitud desde la punta del cable hasta el punto donde se va a retirar la cubierta. Medir y hacer una marca con un plumón diferente al color del forro. Existen varias formas de hacerlo, las cuales mencionare a continuación:

- **MÉTODO USANDO CUCHILLO** : Se usa un cuchillo recto o curvo, cuidando de no perforar totalmente la cubierta para evitar dañar la pantalla metálica..



Figura 28 Método usando cuchillo
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

- **MÉTODO USANDO HERRAMIENTA ESPECIAL:** La herramienta recomendada tiene una cabeza y un mango. La cabeza tiene la facilidad de girar a 90° con objeto de hacer cortes radiales y longitudinales. Contiene una gran navaja en la punta del cable (donde se va a retirar el aislamiento del cable) de tal forma que no es importante dañar en esta zona la pantalla metálica e inclusive el aislamiento.[1]

PINZA PELA CUBIERTAS	
Referencia	Φ exterior del cable en "mm"
PG0	5 a 17
PG1	8 a 23
PG2	20 a 35
PG3	26 a 52
PG4	45 a 75
PG5	55 a 95



EXTRACTOR DE SEMICONDUCTORA	
Referencia	Φ exterior sobre la semiconductora en "mm"
LHM -P1	18 a 38
LHM - P2	38 a 60



EXTRACTOR DE AISLAMIENTO	
Referencia	Φ exterior sobre el aislamiento en "mm"
LH1	14 a 38
LH2	38 a 60
LH3	55 a 80
LH4	80 a 110



Figura 29 Herramienta sugerida para preparar puntas
Fuente (Prysmian SpA ("Prysmian"), 2007)

5.3.2 Retiro de pantalla metálica

Debe tenerse mucho cuidado evitando marcar o cortar los hilos de cobre, ya que esto puede reducir la capacidad de conducción de corriente de corto circuito o comprometer la eficiencia de las conexiones a tierra de la pantalla

Hay que recordar que, en el caso de los empalmes la pantalla debe tener continuidad a lo largo del empalme por lo que hay que dejar una longitud suficiente. En la instalación de codos premoldeados se utiliza un adaptador de tierras para el cual se deberán seguir las instrucciones del fabricante. [1]



Figura 30 Retiro de pantalla metálica
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

5.3.3 Retiro de la semiconductora sobre el aislamiento

Esta pantalla es de un material semiconductor (color negro) extruido sobre el aislamiento. Deberá usarse la herramienta especial para retirar la semiconductora. El ajuste de la navaja se hace generalmente sobre un pedazo de cable de desecho. El corte es de la mayor importancia para evitar rayar el aislamiento. Cuando el retiro de la semiconductora se hace con cuchillo, es conveniente usar un cúter cuya navaja se puede ajustar. [1]



Figura 31 Retiro de semiconductor sobre el aislamiento
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

5.3.4 Retiro del aislamiento

Respetando la dimensión indicada por el fabricante del accesorio a instalar, si se usa cuchillo se deberá hacer un corte limpio procurando no llegar hasta el conductor. Lo mejor sería usar una pinza peladora de aislamiento la cual gracias a su cuchilla ajustable te permite controlar la profundidad del corte. [1]



Figura 32 Retiro de aislamiento
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

5.3.5 Limpieza y acondicionamiento del aislamiento

Una vez terminado el lijado de la superficie del aislamiento debe limpiarse con un solvente dieléctrico aprobado para retirar polvo y/o agentes contaminantes. El solvente debe ser aplicado con un paño limpio que no suelte pelusa. Después de limpiar con solvente se deja secar completamente o bien limpiar los residuos del solvente con un trapo completamente seco y limpio. [1]



Figura 33 Limpieza del aislamiento
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

CAPITULO 6. ASPECTOS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA DURANTE LAS PRUEBAS DE CAMPO

- a) Para equipos en operación, con base en los programas de mantenimiento, tramitar los registros y licencias correspondientes.
- b) Tener la seguridad de que el equipo a probar no este energizado. Verificando la apertura física de interruptores y/o cuchillas seccionadoras.
- c) El tanque o estructura del equipo a probar, debe estar aterrizado.
- d) Aterrizar el equipo a probar por 10 minutos aproximadamente para eliminar cargas capacitivas que puedan afectar a la prueba y por seguridad personal.
- e) Desconectar de la línea o barra, las terminales del equipo a probar.
- f) En todos los casos, ya sea equipo nuevo, reparado o en operación, las pruebas que se realicen siempre deben estar precedidas de actividades de inspección o diagnóstico.
- g) Preparar los recursos de prueba indispensables como son: Instrumentos, Herramientas, Probetas, Mesas de prueba, etc.
- h) Preparar el área de trabajo a lo estrictamente necesario, delimitar el área de trabajo para evitar el paso de personas ajenas a la prueba; procurando se tengan fuentes accesibles y apropiadas de energía.
- i) Colocar él o los instrumentos de prueba sobre bases firmes y niveladas.
- j) Comprobar que las terminales de prueba están en buenas condiciones y que sean las apropiadas.
- k) No aplicar tensión de prueba, superiores a tension nominal del equipo a probar.
- l) Durante las pruebas deben tomarse todas las medidas de seguridad personal y para el equipo.
- m) Anotar o capturar las lecturas de la prueba con todos aquellos datos que requiere el formato correspondiente (multiplicadores, condiciones climatológicas, etc.).
- n) Al terminar la prueba poner fuera de servicio el instrumento de prueba y aterrizar nuevamente el equipo probado.

CAPITULO 7. PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO

La función primordial de los conductores eléctricos es transmitir eficientemente la energía eléctrica. Esto puede asegurarse mediante el control de calidad de los cables, a través de las pruebas que se realizan en los laboratorios de los fabricantes, para garantizar la continuidad del servicio y confiabilidad durante la operación; sin embargo, en la mayoría de los casos el fabricante tiene poco o ningún control sobre las operaciones de transporte, almacenaje, instalación y conexiones, por lo que es recomendable efectuar pruebas eléctricas para tener la seguridad de que el cable se encuentra en condiciones de entrar en servicio.

Además, muchos usuarios detectan que, con el tiempo, la corriente alterna causa deterioro o defectos, o revela algún daño causado en la fabricación o durante la instalación, los cuales no fueron detectados por las pruebas de fábrica o de instalación. Es una práctica común recurrir a pruebas periódicas después de algún tiempo de que el cable haya estado en servicio. Las pruebas con alta tensión pueden ser efectuadas con corriente alterna o con corriente directa; sin embargo, las pruebas de campo con equipo de corriente directa tienen varias ventajas y, por ello, son las más usadas.

El equipo para pruebas con corriente directa es en sí pequeño, ligero y menos costoso que las unidades de corriente alterna; también es menos probable que el cable se dañe al efectuar las pruebas y los resultados son menos ambiguos y más fáciles de interpretar. Aun cuando las pruebas con corriente directa no simulan las condiciones de operación tan bien como las pruebas con corriente alterna, la experiencia en la industria ha ayudado a desarrollar pruebas que reflejan la "salud" de los cables en alto grado.

Es evidente que la tensión de prueba debe estar relacionada con el nivel básico de impulso (BIL) del sistema, más que con el tipo de espesor del aislamiento. La decisión de emplear pruebas de mantenimiento debe ser evaluada por cada usuario en particular, teniendo en cuenta el costo de las fallas en servicio e incluyendo el costo de las pruebas eléctricas.

7.1 Tipos de pruebas

Existen básicamente dos tipos de prueba para la puesta en servicio de cables de energía, siendo:

- Resistencia de aislamiento en corriente directa
- Alta tensión de corriente alterna a baja frecuencia (0.1 Hz)

7.2 Resistencia de aislamiento en corriente directa

La resistencia de aislamiento se define como la oposición al paso de una corriente eléctrica que ofrece un aislamiento al aplicarle una diferencia de potencial de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo y generalmente expresada en Megaohms, Gigaohms o Teraohms.

Se ha visto que un buen aislamiento tiene alta resistencia eléctrica; un aislamiento pobre tiene baja resistencia eléctrica relativamente. Los valores reales de resistencia eléctrica de aislamiento pueden ser más altos o más bajos, dependiendo de factores como la temperatura o el contenido de humedad (la resistencia disminuye con la temperatura o la humedad).

Sin embargo, con los registros y un poco de sentido común, usted puede tener una buena imagen de las condiciones del aislamiento de valores que son sólo relativos. Para un buen aislamiento, la resistencia se lee generalmente en el rango de los megaohms (MΩ).

El probador de aislamiento es esencialmente un medidor de resistencia de alto rango (óhmetro) con un generador de corriente directa interconstruido. Este medidor es de construcción especial con bobinas de corriente y bobinas de tensión que permiten que los ohms verdaderos se puedan leer directamente, independientemente de la tensión aplicada.

Este método no es destructivo; es decir, no ocasiona deterioro del aislamiento.

7.2.1 Factores que afectan la prueba

Se debe recordar que la resistencia medida (del aislamiento) serán determinadas por la tensión aplicada y la corriente resultante ($R = E/I$). Existen distintos factores que afectan la corriente, incluidas la temperatura del aislamiento y la humedad.

Ahora, consideremos sólo la naturaleza de la corriente a través del aislamiento y el efecto del tiempo que se aplica la tensión.

La corriente a través y a lo largo del aislamiento forma parte de una corriente relativamente estable en las trayectorias de fuga sobre la superficie del aislamiento. La electricidad también fluye a través del volumen del aislamiento. Realmente, nuestra corriente total comprende tres componentes:

1. **Corriente de carga capacitiva** - Corriente que empieza alta y cae después de que el aislamiento se ha cargado a tensión plena (de manera similar al flujo de agua en una manguera de jardín cuando se abre la llave).
2. **Corriente de absorción** - También una corriente alta inicialmente que luego cae, esta corriente se origina por el fenómeno de polarización en el aislamiento del cable de energía.
3. **Corriente de conducción o fuga** - Una corriente pequeña esencialmente estable a través del volumen y sobre el aislamiento.

En la práctica, se necesita un valor que es la resistencia aparente - un valor útil para diagnosticar problemas, qué es lo que se quiere hacer. La corriente de carga desaparece relativamente rápido conforme se carga el equipo bajo prueba. Las unidades grandes con más capacitancia tardarán más en cargarse. Esta corriente también es la energía almacenada descargada inicialmente después de su prueba, poniendo el aislamiento en corto circuito y a tierra.

SIEMPRE TOME ESTA MEDIDA DE SEGURIDAD.

La corriente de absorción disminuye con una rapidez relativamente lenta, que depende de la naturaleza exacta del aislamiento. Esta energía almacenada, también, debe ser liberada al final de una prueba y requiere un tiempo más largo que la corriente de carga capacitiva – alrededor de cuatro veces el tiempo de tensión aplicado. Con buen aislamiento, la corriente de conducción o de fuga debe subir a un valor estable que es constante para la tensión aplicada. Cualquier incremento de la corriente de fuga con el tiempo es una advertencia de problema.

Como medida de seguridad al personal, el cable debe ponerse a tierra por un tiempo mínimo de 4 veces el tiempo de duración de la prueba, esto es cuando se mide el índice de polarización la prueba dura 10 min., por lo cual se debe poner a tierra 40 minutos, para eliminar a tierra cualquier carga remanente.

7.2.2 Tipos de pruebas

Con un antecedente ahora de cómo el tiempo afecta el significado de las lecturas del instrumento, consideremos tres métodos comunes de prueba:

- Lectura de corto tiempo o puntual.
- Tiempo –resistencia o Absorción dieléctrica.

7.2.2.1 Lectura de corto tiempo o puntual

Consiste en conectar el instrumento al equipo que se va a probar y operarlo durante 60 segundos. Este método tiene su principal aplicación en equipos pequeños y en aquellos que no tienen una característica notable de absorción, como son los interruptores, apartarrayos, etc.

7.2.2.2 tiempo resistencia o absorción dieléctrica

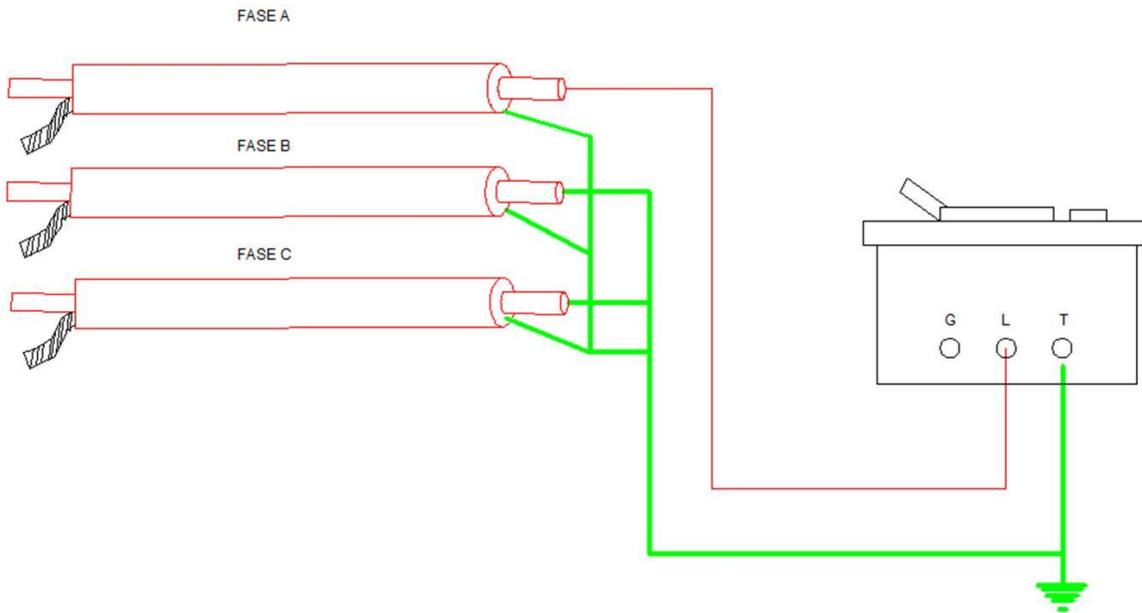
Consiste en aplicar una tensión de prueba durante un período de 10 minutos, tomando lecturas a 15, 30, 45 y 60 segundos, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos. Su principal aplicación es en transformadores de potencia, en grandes máquinas rotatorias y cables de energía dadas sus notables características de absorción

7.2.3 Preparación de equipo

- a) Considerar lo establecido en el capítulo 6, sobre las precauciones y seguridad para realizar las pruebas.
- b) Desenergizar completamente el cable y dejar transcurrir cinco minutos para que se descargue, verificar ausencia de potencial con el detector correspondiente.
- c) Por seguridad conectar el cable a través de un conductor sólidamente aterrizado, utilizando una pértiga.
- d) Desconectar las terminales del cable y limpiarlas perfectamente, para evitar errores en la medición.
- e) Antes de efectuar la prueba verificar perfectamente el etiquetado en ambos extremos del cable que se vaya a probar, sin tocar a los otros cables.
- f) Verificar la operación del equipo de pruebas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- g) Al terminar la prueba se debe registrar la temperatura del cable para efectuar la corrección correspondiente.
- h) Al calcular la resistencia del aislamiento se debe efectuar la corrección por longitud ya que esta varía inversamente proporcional con ella.

7.2.4 Conexiones para prueba

Las conexiones para realizar la prueba con el equipo se muestra en la siguiente figura.



PRUEBA	CONEXIÓN DE PRUEBA		
	L	G	T (TIERRA)
1	A	-----	B + C + T
2	B	-----	C + A + T
3	C	-----	B + A + T
4	ABC	-----	T (TIERRA)

L = FASE

T= TIERRA

G= GUARDA

Figura 34 Cables de potencia prueba de resistencia de aislamiento representacion prueba 1

Fuente (MANUAL TECNICO CFE, 2003)

7.2.5 Procedimiento

- a) Conectar la terminal “ L” del equipo de medición al conductor o conductores bajo prueba y la terminal “ T” del equipo , pantallas o aislamiento.
- b) Aplicar la tensión de prueba y tomar lecturas durante un período de 10 minutos, tomando lecturas a 15, 30, 45 y 60 segundos, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos.
- c) Tomar la lectura de la temperatura ambiente.

7.2.6 Cálculos

La resistencia de aislamiento se ve afectada por la temperatura, humedad, suciedad, envejecimiento o daño mecánico. El valor de resistencia de aislamiento se reporta a 20 °C, a una longitud unitaria de 1 km.

Antes de realizar la medición conviene calcular la resistencia de aislamiento, utilizando la expresión siguiente:

Fórmula 1 :

$$R_{aisl} = K \log_{10} \frac{D}{d}$$

Dónde:

Raisl	Resistencia de aislamiento en Megohms-Km
D	Diámetro sobre el aislamiento en milímetros
d	Diámetro bajo aislamiento en milímetros
K	Constante de resistencia de aislamiento en Mogohms-Km; Siendo como se muestra en la siguiente tabla:

Aislamiento	K (M Ω - km)
Polietileno	15240 a 20° C
Vulcanel XLP	6110 a 20° C
Vulcanel EP	6110 a 20° C
XLP Baja Tensión	3048 a 20° C
PVC	610 a 20° C
PVC + Nylon	914 a 20° C

Tabla 4 Constante(K) de resistencia de aislamiento a 15.6 °C
Fuente (SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV, 2006)

7.2.7 Corrección por temperatura

En la mayor parte de los materiales aislantes, la resistencia de aislamiento varía inversamente con la temperatura. Para comparar apropiadamente las mediciones per de resistencia de aislamiento, es necesario efectuar las mediciones a la misma temperatura, o convertir cada medición a una misma base. Esta conversión se efectúa utilizando la ecuación:

Fórmula 2 :

$$R_c = K_t \times R_t$$

Dónde:

R_c Resistencia de aislamiento corregida a la temperatura base ($M\Omega$)
 K_t Coeficiente de corrección por temperatura
 R_t Resistencia de aislamiento a la temperatura que efectuó la prueba ($M\Omega$)

La base de temperatura recomendada por los Comités de Normas es de: 20 °C para cables.

Debido a que las características de temperatura de los sistemas aislantes varían con el tipo de combinación de los materiales, cada uno tiene sus propios factores de corrección por temperatura. En la tabla 5 se muestran los factores de corrección más utilizados.

TEMPERATURA EN °C	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	
	PAPEL IMPREGNADO EN ACEITE	MATERIAL SINTÉTICO
10	0.30	0.25
12	0.35	0.31
14	0.45	0.40
16	0.55	0.52
18	0.75	0.74
20	1.00	1.00
22	1.32	1.45
24	1.68	2.20
26	2.20	3.30
28	2.60	4.50
30	3.30	6.85

Tabla 5 Factores de corrección por temperatura de la resistencia de aislamiento en cables subterráneos

Fuente (MANUAL TECNICO CFE, 2003)

7.2.8 Índice de polarización

Este índice se presenta debido al cambio en la corriente de absorción dieléctrica con respecto al tiempo y permiten medir la variación de la resistencia eléctrica de los aislamientos, en función del tiempo, al aplicarles una tensión de corriente directa. También son considerados como un método indirecto para determinar el contenido de humedad en los aislamientos, lo que permite evaluar la condición de los aislamientos.

El índice de polarización (i_p) se expresa como la relación entre el valor de resistencia de aislamiento a los 10 minutos y la medición a 1 minuto a partir de la aplicación de la tensión.

Fórmula 3

$$i_p = \frac{R_{AISL\ 10\ min}}{R_{AISL\ 1\ min}}$$

Dónde:

i_p	Índice de polarización
$R_{AISL\ 1\ min}$	Resistencia de aislamiento a 1 minuto
$R_{AISL\ 10\ min}$	Resistencia de aislamiento a 10 minutos

7.2.9 Interpretación e informe

- La resistencia de aislamiento corregida se comprara contra la resistencia de aislamiento mínima especificada en la norma de producto correspondiente.
- Para determinar el factor de corrección (f_c) a la temperatura de referencia de 15.6°C, se usa la Tabla 5 conociendo la temperatura de medición y el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura por 1°C, el cual depende del tipo de aislamiento.

El informe de los resultados debe contener como mínimo los datos expresados siguientes, conforme a lo establecido en NOM-008-SCFI, en lo aplicable:

- Nombre de laboratorio responsable
- Descripción del producto
- Identificación del equipo utilizado para la prueba
- Longitud del cable
- Resistencia de aislamiento medida
- Temperatura de medición

- Factor de corrección
- Temperatura de referencia
- Resistencia de aislamiento corregida a la temperatura de referencia y a 1 km de longitud
- Resistencia de aislamiento mínima especificada
- Comentarios y observaciones sobre los resultados obtenidos
- Fecha de realización de la prueba

7.2.10 Resultados

La prueba de Resistencia de aislamiento la realice con un equipo “AEMC INSTRUMENTS” modelo 5050 con fecha de calibración Noviembre 14, 2014 quedando dentro del rango de calibración por parte del fabricante que es de no más de un año.

La prueba se realizó a un conductor marca Condumex con una longitud de 50 m, calibre 1/0 para 25kV a una temperatura de 24 °C, instalado en un banco de ductos de una fábrica localizada en la CD de México.

Dada la falta de equipo dentro de los laboratorios de la escuela y el costo del equipo, por cuenta propia decidí realizar las pruebas describiendo y siguiendo paso a paso como se indica en este capítulo.

Los tiempo de duración para cada medición fue de diez minutos. Se tomaron las lecturas a los 30, 60 , 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos de iniciada la prueba. Se tomo la lectura de temperatura del ambiente y de humedad relativa. Estos datos junto con los valores obtenidos se registran en el formato de prueba correspondiente como lo indica la Figura 35.

Los valores teóricos calculados fueron los siguientes:

Fórmula 4 :

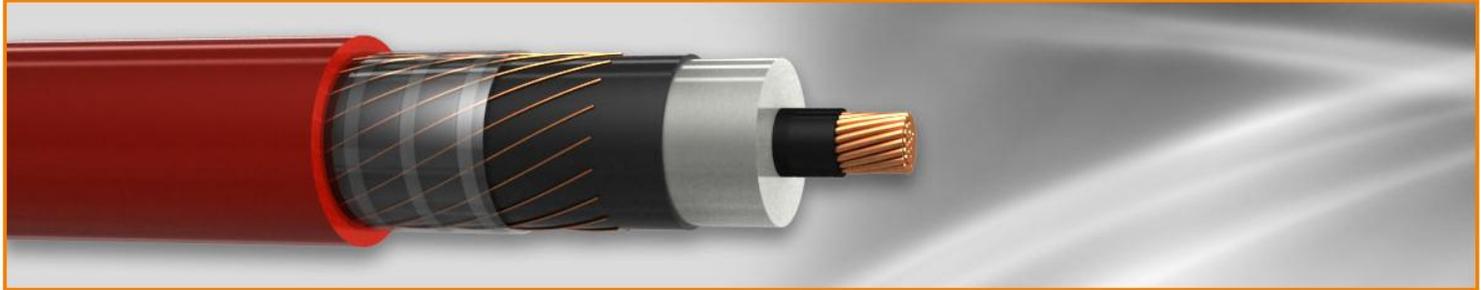
$$R_{aisl} = K \log_{10} \frac{D}{d}$$

El valor de K se obtiene de la tabla 4, y los valores D y d se obtuvieron de la tabla * la cual proporciona los valores del fabricante

K =

Vulcanel XLP	6110 a 15.6° C
--------------	----------------

CABLE VULCANEL 2000^{MR} PARA AMBIENTES SECOS CON AISLAMIENTO DE XLP 100% NIVEL DE AISLAMIENTO DE 5kV A 35kV CONDUCTOR DE COBRE COMPACTO Y CUBIERTA DE PVC



Número de producto	Tensión de Operación (V)	Calibre (AWG-kcmil)	Área de la sección transversal (mm ²)	Número de alambres del conductor	Diámetro del conductor (mm)	Espesor nominal del aislamiento (mm)	Diámetro nominal sobre aislamiento (mm)	Número de alambres de la pantalla metálica	Calibre de los alambres de la pantalla metálica (awg)	Área de la sección transversal de la pantalla metálica (mm ²)	Diámetro exterior nominal (mm)	Peso nominal del cable (kg/km)	Empaque	Tramo
160100022A	25 000	1/0	53.50	19	8.50	6.60	22.98	12	22	3.99	30.60	1 285	CARRETE	*
1601000C5B	25 000	1/0	53.50	19	8.50	6.60	22.98	12	22	3.99	30.60	1 285	CARRETE	500 m

Tabla 6 Cable Vulcanel 2000 para ambientes secos con aislamiento de XLP 100% nivel de aislamiento de 5kv a 35kv conductor de cobre compacto y cubierta de pvc

Fuente Grupo CONDUMEX catalogo

$$R_{aisl} = 6110 \log_{10} \frac{22.98}{8.50}$$

$$= 2639.09 \text{ M}\Omega$$

Teniendo una temperatura promedio del cable de 24 °C, la corrección de temperatura se realiza usando la siguiente formula.

Fórmula 5 :

$$R_C = K_t \times R_t$$

Donde el valor de K_t es dada de acuerdo a la tabla 5 obteniendo los siguientes valores:

TEMPERATURA EN °C	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	
	PAPEL IMPREGNADO EN ACEITE	MATERIAL SINTÉTICO
24 °C	1.68	2.20

$$R_C = 2.20 \times 2639.09$$

$$= 5805.99 \text{ M}\Omega$$

Al corregir por longitud la R_C final será

$$R_C = \frac{2639.09}{X} \quad \frac{1000}{50}$$

$$R_C = 131.95 \text{ M}\Omega$$

El índice de polarización:

Fórmula 6

$$i_p = \frac{R_{\text{AISL}} 10 \text{ min}}{R_{\text{AISL}} 1 \text{ min}}$$

$$i_p = \frac{33.2}{19}$$

$$i_p = 1.74$$

Estos resultados son satisfactorios ya que el valor mínimo permitido para índice de polarización es de 1.5 de acuerdo a la NMX-J-294-ANCE-2002 Wires and Cables- Insulation Resistance- Test Method / Resistencia de aislamiento – Método de prueba.

El resultado de Resistencia de aislamiento es satisfactorio ya que el valor obtenido es mayor o igual que el valor calculado, el cual es proporcionado por el fabricante, todo esto de acuerdo a la NMX-J-294-ANCE-2002 Wires and Cables- Insulation Resistance- Test Method / Resistencia de aislamiento – Método de prueba.

A continuación se detalla el reporte de prueba en campo de dichas pruebas:



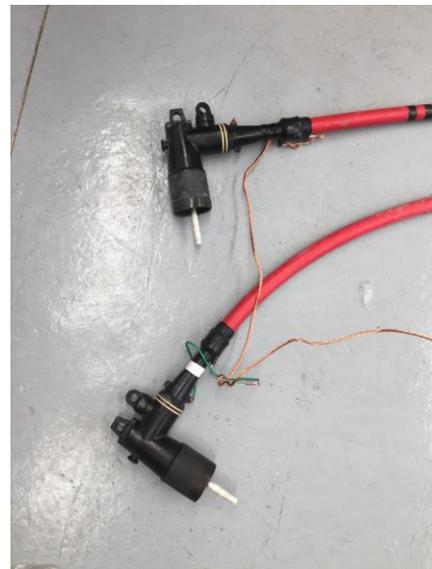
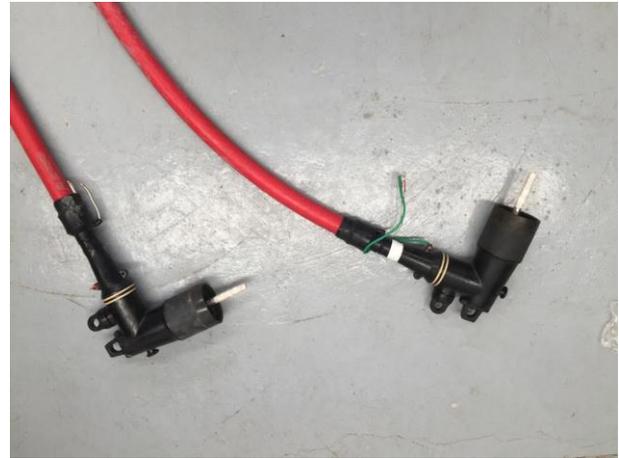


Figura 35 Reporte fotográfico de prueba de resistencia de aislamiento
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)
Tomadas de las pruebas realizadas

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A CABLE DE POTENCIA			
SUBESTACION	ABADIMEX SA DE CV	VOLTAJE	23 000 V
UBICACIÓN		AISLAMIENTO	XLP 100%
EQUIPO	CABLE DE POTENCIA	CALIBRE	1/0 AL
LONGITUD	50 MTS	TEMPERATURA	24 °C
MARCA:	CONDUMEX	FECHA	01/02/2015
PROBADOR DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO			
MARCA:	AEMC	SERIE No.	110064-CA TIPO: 5050
PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A CABLE DE POTENCIA			
PRUEBA	AT VS TIERRA	AT VS BT	BT VS TIERRA
V. PRUEBA	5000 VCD	5000 VCD	500 VCD
(-) LINEA GUARDA	FASE A	FASE B	FASE C
(+) REGRESO	TIERRA	TIERRA	TIERRA
TIEMPO	CORREGIDO GΩ A 20° C	CORREGIDO GΩ A 20° C	CORREGIDO GΩ A 20° C
15"	19	13.31	14.65
30"	25	17.7	19.31
45"	28.94	20.83	22.2
60"	32.2	23.8	24.8
2"	32.5	25.1	25.5
3"	33	25	26.1
4"	33	26.8	26.8
5"	33.1	26.7	28.9
6"	33.1	26.9	29.17
7"	33.1	28.2	28.2
8"	33.2	30.1	30
9"	33.1	30.1	32.2
10"	33.2	30.1	32.2

RESULTADOS SATISFACTORIOS YA QUE EL VALOR MINIMO PERMITIDO PARA EL INDICE DE ABSORCIÓN ES DE 1.2 Y PARA EL INDICE DE POLARIZACIÓN ES DE 1.5

REALIZO
ING. ARTURO MARTÍNEZ LEÓN

SUPERVISOR
ING. TOBIAS VELASCO OLIVARES

PLAN DE ACATEMPAN No.21 INT.B301 COL. LA PURISIMA TICOMAN, C.P. 07320, DELG. GUSTAVO A. MADERO MEXICO, D. F., teléfonos: 01(55)57527932, (55)44442280, cel. 5550689747, Correo: adolfo.velro@gmail.com

Figura 36 Reporte de prueba en campo de Resistencia de aislamiento
Fuente Ingeniería Eléctrica y Arquitectura VELRO SA de CV

7.3 Alta tensión de corriente alterna en baja frecuencia (0.1 Hz)

La prueba de alta tensión de corriente alterna en baja frecuencia, es una prueba fundamentalmente de puesta en servicio y tiene por objeto detectar todos aquellos defectos o anomalías que pudieran tener los cables de energía y dispositivos asociados (accesorios premoldeados, terminales, etc.), antes de entrar en operación y debe aplicarse al sistema completo de canalización subterránea, teniendo cuidado de no incluir los devanados de transformadores de potencia, de servicios propios y de potencial, por lo que al efectuar la prueba de alta tensión de corriente alterna a baja frecuencia, se deben abrir los interruptores, cuchillas, seccionadores o cortacircuitos fusibles de potencia que se encuentren asociados a ambos extremos del cable por probar.

La prueba se realiza por medio de un equipo que genera a una frecuencia de por lo general 0.1 Hz. Típicamente esta unidad comprende una fuente de corriente directa, un circuito desconectador de media tensión, un reactor para la inversión de la polaridad y un capacitor de apoyo para compensar muestras bajo prueba de baja capacitancia. El equipo contiene los medidores y métodos de prueba que registran las corrientes de fuga y permiten obtener los resultados de la prueba.

La IEEE ha publicado el ante proyecto de norma IEEE P 400.2/D5 “Guide for Field Testing of Shielded Power Cables Systems Using Very Low Frequency (VLF)” en el cual recomienda la prueba VLF como la mejor opción para sustituir la prueba de CD; debido a que la prueba de alta tensión de corriente directa, se ha eliminado porque en la práctica se han detectado problemas de esfuerzos dieléctricos elevados en las terminales o mufas y como consecuencia la ocurrencia de falla.

7.3.1 Preparación y recomendaciones para realizar la prueba.

- a) Considerar lo establecido en el capítulo 6, sobre las recomendaciones generales para realizar las pruebas.
- b) Verificar que los cables que se van a probar se encuentren desenergizados totalmente y que son exactamente los que se quieren probar.



Figura 37 Libranza por parte de la compañía suministradora

Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

Tomadas de las pruebas realizadas

- c) Desconectar y poner a tierra todos aquellos cables y equipos que no deben entrar en la prueba, igualmente todas aquellas partes metálicas que se encuentren en las cercanías del cable y equipos bajo prueba.



Figura 38 Puesta a tierra de cables y equipos

Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

Tomadas de las pruebas realizadas

- d) Verificar que todo tipo de transformadores que se encuentren conectados al cable bajo prueba estén desconectados del cable, para impedir que la tensión de prueba llegue a sus devanados, ya que a través de éstos quedaría el cable conectado a tierra.

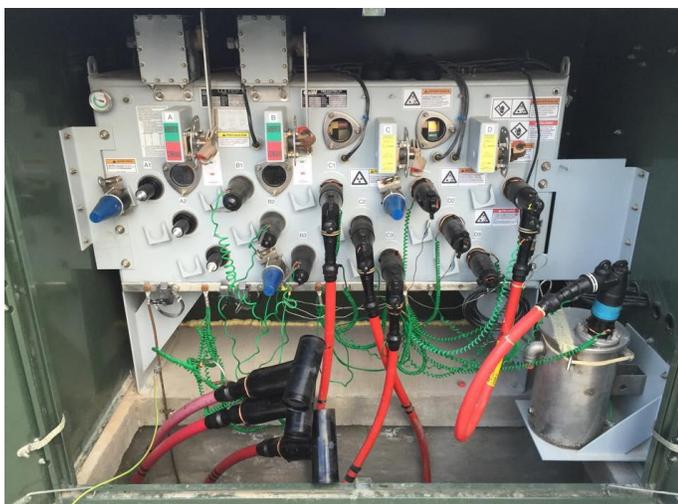


Figura 39 Verificación de conductor desconectado
 Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)
 Tomadas de las pruebas realizadas

- e) Verificar que todos los accesorios premoldeados conectados al cable bajo prueba se encuentren debidamente puestos a tierra a través del ojillo que para ese efecto tienen, y que la pantalla del cable esté debidamente puesta a tierra.

7.3.2 Conexiones para prueba

Para ejecutar la prueba de alta tensión de corriente alterna de baja frecuencia en campo, se muestra en la siguiente figura el diagrama de conexión típico para ejecutar la prueba a un cable de energía.

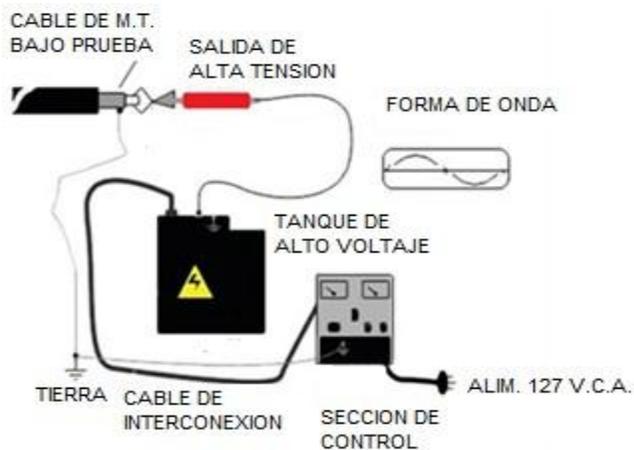


Figura 40 Diagrama de conexión para prueba de alta tensión de corriente alterna de baja frecuencia
 Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)

7.3.3 Procedimiento de prueba

Este trabajo se considera como guía de prueba, la Norma del IEEE 400.2 Guide for field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF). Toma en cuenta normas existentes sobre VLF y consensos en general de la industria relacionados con la prueba de cables, incluyendo miembros del IEEE, EPRI, CEA, VDE, asociaciones de ingeniería en el mundo, fabricantes de cable y usuarios.

Durante una prueba de alta tensión de baja frecuencia la presencia de arborescencias en un defecto de aislamiento es forzado a penetrar el aislamiento. El comienzo de un arborescencia y su crecimiento están en función de la amplitud y frecuencia de la señal de prueba. Para una penetración completa de la arborescencia en el aislamiento durante la duración de la prueba, se han establecido niveles de tensión para esta prueba y tiempos de duración para las dos señales de prueba más usadas comúnmente como son la forma de onda senoidal y coseno rectangular.

Los niveles de tensión (instalación y aceptación) se basan en las prácticas usadas a nivel mundial de entre 2 V₀ y 3 V₀, donde V₀ es la tensión nominal para cables con niveles de tensión entre 5kV y 35kV. El nivel de tensión para una prueba de mantenimiento es del 80% del nivel de la tensión de la prueba de aceptación.

Las tablas 7 y 8 enlistan los niveles de tensión para una prueba de aguante de cables de energía usando formas de onda coseno rectangular y onda senoidal. Para una onda forma de onda senoidal el valor rms es 0.707 del valor pico si la distorsión es menor del 5%.

<i>Clase del Cable Fase a Fase</i>	<i>Instalación (Ver Nota 2) Fase a Tierra</i>	<i>Aceptación (Ver Nota 2) Fase a Tierra</i>	<i>Mantenimiento (Ver Nota 3) Fase a Tierra</i>
<i>Voltaje rms en kV</i>	<i>Voltaje rms/Voltaje Pico</i>	<i>Voltaje rms/Voltaje Pico</i>	<i>Voltaje rms/Voltaje Pico</i>
5	12	14	10
8	16	18	14
15	25	28	22
25	38	44	33
35	55	62	47

Tabla 7 Tensiones de prueba de alta tensión con baja frecuencia para forma de onda coseno rectangular (ver nota 1).

Fuente (PRUEBA DE CABLES SUBTERRANEOS CON DIELECTRICO)

Notas

1- Para una onda coseno rectangular el valor rms se considera igual al valor pico.

2- Ver notas 2 y 3 debajo de la Tabla 8

<i>Clase del Cable Fase a Fase</i>	Instalación <i>(Ver Nota 2) Fase a Tierra</i>	Aceptación <i>(Ver Nota 2) Fase a Tierra</i>	Mantenimiento <i>(Ver Nota 3) Fase a Tierra</i>
<i>Voltaje rms en kV</i>	<i>rms o (Voltaje Pico)</i>	<i>rms o (Voltaje Pico)</i>	<i>rms o (Voltaje Pico)</i>
5	9 (13)	10 (14)	7 (10)
8	11 (16)	13 (18)	10 (14)
15	18 (25)	20 (28)	16 (22)
25	27 (38)	31 (44)	23 (33)
35	39 (55)	44 (62)	33 (47)

Tabla 8 Tensiones de prueba de alta tensión con baja frecuencia para forma de onda senoidal (ver nota 1).

Fuente (PRUEBA DE CABLES SUBTERRANEOS CON DIELECTRICO)

Notas

1- Para una onda senoidal VLF las tensiones están dados tanto en valores rms y valores pico. Para una onda senoidal el valor rms es 0.707 del valor pico si la distorsión es menor al 5%.

2- Los resultados de pruebas en campo de alrededor 15000 cables XLPE probados mostraron que ~68% de las fallas registradas ocurrieron dentro de los 12 minutos, ~89% dentro de los 30 minutos, ~95% después de 45 minutos, y 100% después de 60 minutos . El tiempo de prueba recomendado varia entre 15 y 60 minutos, aunque los datos sugieren un tiempo de prueba de 30 minutos. El tiempo de prueba actual y tensión puede ser definido por el proveedor y usuario y depende de la filosofía de prueba, sistema del cableado, condición de aislamiento, que tan frecuente se realiza la prueba, y el método de prueba seleccionado. Las bases de datos de prueba o Pager et al. [B7] se pueden consultar cuando se elija un tiempo de prueba preferido. Cuando una prueba VLF es interrumpida, se recomienda reiniciar el timer de prueba al tiempo original cuando se reinicie la prueba VLF.

3- Para una tensión de prueba VLF a 0.1 Hz, la duración de la tensión de mantenimiento sugerido es de 15 minutos

Hay que considerar el siguiente procedimiento para la realización de las pruebas:

- a) Una vez cubiertos todos los pasos que se indica en 7.3.1, preparar el equipo de prueba de acuerdo a su instructivo (hay varias marcas de equipo y cada una tiene sus propias indicaciones para la conexión y operación). Verificar que la consola de control y el módulo de prueba estén debidamente puestos a tierra.



Figura 41 Conexiones de equipo vlf
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)
Tomadas de las pruebas realizadas

- b) Soportar mediante algún herraje debidamente aislado, el cable de Media Tensión del módulo, para probar el equipo en vacío y verificar su correcta operación.
- c) Algunos equipos tienen un interruptor adicional de seguridad, con el propósito de que el equipo sea inmediatamente descargado y desenergizado cuando se presione este interruptor de emergencia o cuando deje de presionarse según el modelo del equipo.
- d) Si una vez energizado el equipo no trabaja a pesar de encontrarse correctamente conectado, revisar la perilla del reóstato, probablemente no se encuentre en la posición de cero, lo que bloquea el circuito.
- e) Después de verificar el correcto funcionamiento del equipo de prueba, se debe apagar y conectar la salida de Alta Tensión del equipo al cable bajo prueba.
- f) Colocar el amperímetro en la escala de microamperes (si es seleccionable) y el reóstato en cero, iniciar la prueba elevando lenta y suavemente la corriente por medio del reóstato, en pasos, hasta alcanzar el nivel de tensión de prueba requerido (22.9 kV para sistemas de 13.2 kV; 40 kV para sistemas de 23 kV y 60 kV para sistemas de 34.5 kV). La duración de la prueba es de una hora. Reducir el tiempo de prueba puede causar que no se detecte alguna falla en el cable, lo cual pudiera originar un disturbio cuando ya se encuentre en operación.



Figura 42 Tablero de equipo vlf
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)
Tomadas de las pruebas realizadas

- g) En el momento que se alcance la tensión de prueba, se debe mantener esta tensión y observar el amperímetro, buscando lecturas irregulares, caídas o incrementos durante la prueba. Incrementos obtenidos después de cargar el cable indican una posible falla en el corto tiempo. Después de terminar los 60 minutos, regresar lentamente el reóstato a cero y esperar que la tensión se reduzca a un nivel abajo del 50 % de la tensión máxima de prueba antes de apagar la unidad completamente.
- h) Si la prueba se completó sin problemas, graficar los valores obtenidos en el formato correspondiente (tiempo-mili amperes), e interpretar la gráfica.
- i) Si el equipo se descarga en el transcurso de la prueba es un signo inequívoco de falla en algún elemento del circuito. Esto es indicado por una luz roja o en una pantalla, señalando la falla del cable durante la prueba.
- j) Si la descarga o falla del cable ocurrió antes de llegar a los 60 minutos del periodo de prueba, no se concluyó con la prueba de VLF. Es necesario entonces registrar el tiempo transcurrido y continuar con el tiempo restante después de localizar y reparar la falla. Algunos temporizadores están equipados para hacer esto automáticamente.
- k) Si durante el transcurso de la prueba se abate la tensión y la corriente, revisar la fuente que alimenta al equipo, puede haber fallado o haber tenido una falta de tensión lo que ocasionó que se desenergizara el equipo.
- l) Si fue la fuente que alimenta el equipo la que falló, se debe encender de nuevo el equipo y elevar lenta y constantemente la tensión hasta alcanzar la que se tenía antes de la interrupción y continuar la prueba desde ese punto.

- m) Poner a tierra el equipo y la terminal o terminales bajo prueba, revisar el equipo y la instalación para ver si encuentra algo evidente que haya provocado la falla, en caso de que no se observe nada irregular, retirar las tierras de la terminal bajo prueba y del equipo.
- n) Localizar y reparar la falla mediante alguno de los métodos disponibles.
- o) Continuar la prueba con el tiempo restante.
- p) Se debe esperar a que la tensión vaya decreciendo por sí sola, no tratar de descargar con alambres puestos a tierra, ya que esto podría dañar el cable o el equipo de prueba, en caso de que requiera descargar con mayor rapidez el cable, utilizar el interruptor de emergencia de apagado el cual ya tiene una resistencia integrada de descarga.

La recomendación y práctica para la mayoría de pruebas de mantenimiento a un cable a 0.1 Hz es aplicar una tensión 2-3 veces la tensión nominal de fase a tierra por 15 minutos. Variaciones a esto se basan en el historial del cable, lugar instalado, edad del cable, y otros factores. La mayoría de usuarios aplican tres veces la tensión nominal por al menos 15 minutos.

La norma alemana marca un tiempo de 60 minutos para puesta en servicio, sin embargo, la práctica típica en Estados Unidos es de 15 minutos para mantenimiento, dependiendo la frecuencia. A frecuencias menores a 0.1 Hz, tal como 0.02 Hz, la duración de la prueba normalmente es mas larga, puesto que menos ciclos ocurren para un periodo de tiempo dado. Por ejemplo, a 0.1 Hz, el periodo de una onda senoidal es de 10 segundos, por lo que cada 5 segundos, se aplica un stress pico CA. A 0.02 Hz, el periodo de una onda senoidal es de 50 segundos. Si la duración de la prueba fuera la misma a cada frecuencia, entonces la prueba a 0.02 Hz aplicará menos stress total en un cable, por lo tanto la duración de la prueba normalmente se extiende. [12]

Se tiene que tomar en consideración que este tipo de equipos requiere una calibración especializada la cual se debe de hacer cada año o según indicaciones del fabricante

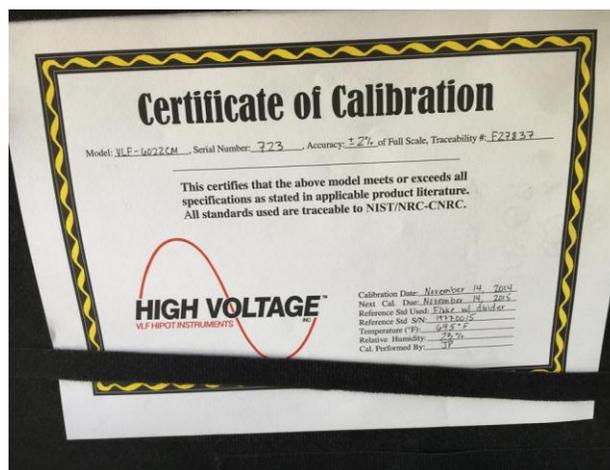


Figura 43 Certificado de calibracion
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)
Tomadas de las pruebas realizadas

7.3.3.1 Resultados

Dada la falta de equipo dentro de los laboratorios de la escuela y el costo del equipo, por cuenta propia decidí realizar las pruebas tomando en cuenta todo lo que se describe en este documento, siguiendo paso a paso las indicaciones, de igual manera tomando en cuenta todas las medidas de seguridad.

La prueba de Alta tensión de corriente alterna a baja frecuencia (0.1 Hz) la realice con un equipo "HIGH VOLTAGE modelo VLF-6022CM" con fecha de calibración Noviembre 14, 2014 quedando dentro del rango de calibración por parte del fabricante que es de no más de un año.

La prueba se realizó en el Distrito Federal, a cables de energía nuevos que se pusieron en servicio





Figura 44 Reporte fotográfico de proceso para prueba
Fuente (ELABORACION PROPIA, 2014)
Tomadas de las pruebas realizadas

Después de realizar las pruebas y tomando de referencia el capítulo 7.3 Se obtuvieron los siguientes resultados:

CABLES DE MEDIA TENSIÓN
PROTOCOLO DE PRUEBA

12.2 VELRO CM

Cliente: RESIDENCIAL VERAMONTE Ubicación: DISTRITO FEDERAL Fecha: 14-ene-15
S.E. PRINCIPAL Lugar: AV. BERNARDO QUINTANA # 205, TORRE "C", COL. SANTA FE.

1. DATOS TÉCNICOS

Circuito No.: SUBESTACIÓN PRINCIPAL Marca: CONDUMEX Aislamiento: XLP 100%
Tensión Nom. 23kV Longitud: 25 m. Conductor: COBRE 1/0 AWG
Clase Aisl.: 25kV Terminales: TERMINALES EN FRÍO

2. VERIFICACIÓN GENERAL

Aislamiento: Bien Falta
Aterrizamiento: Bien Falta
Terminales: Bien Falta
Identificación: Bien Falta
Limpieza: Bien Falta
Correspondencia de fases: Bien Falta

3. PRUEBA DE ALTA TENSIÓN DE C.A. VLF

Realizar pruebas de potencial aplicado con alta tensión alterna a un cable de potencia a la frecuencia de 60Hz, resultaría impráctico y costoso por la dimensión de los equipos de prueba de que se tendrían que utilizar, esto derivado que el cable bajo prueba demandaría mucha potencia, por la alta capacitancia que presentaría este.

Dado que la capacitancia es directamente proporcional a la frecuencia, reduciendo esta última se pueden probar cables largos con equipos de baja potencia, portátiles. Esto es el caso de la prueba de alta tensión a muy baja frecuencia, conocida como VLF.

La prueba se realizó de acuerdo al manual de pruebas en campo SOM-3531, capítulo 12.

1. La forma de onda aplicada debe ser senoidal a una frecuencia 0.1Hz. (Tensión alterna a baja frecuencia)
2. Las tensiones de prueba de acuerdo a la clase de aislamiento del cable, se muestran en la siguiente tabla:

Clase de aislamiento (kV)	Tensión de prueba fase-tierra (Tensión pico kV)
15.0	22.9
25.0	40
35.0	60

4. La duración de la prueba será de 60 minutos, con una tensión de prueba de 40 kV pico.

5. Evaluación de la prueba.

La prueba se considera satisfactoria si durante los 60 minutos no se presenta descarga disruptiva o falla del cable.

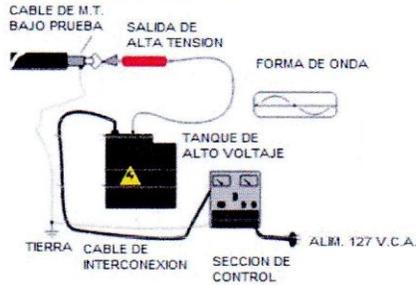
Firma	Realizó:	Revisó:	Supervisó:	Revisó:
				
Nombre	Daniel Velasco Rodríguez.	Ing. Magdaleno Pérez Mtz.	Ing. Tobias Velasco Olivares	
Fecha	14-ene-15	14-ene-15	14-ene-15	

Figura 45 Reporte de prueba en campo 1
Fuente Ingeniería Eléctrica y Arquitectura Velro SA de CV

**CABLES DE MEDIA TENSION
PROTOCOLO DE PRUEBA**

12.2 VELRO CM

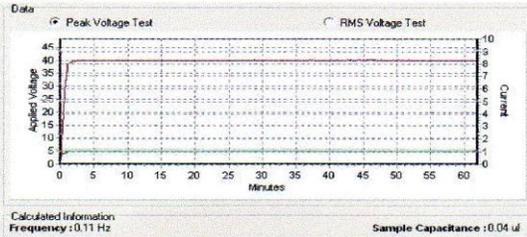
4. CONEXIONES DE PRUEBA



Pba. No.	Se prueba	A.T.	TIERRA
1	Fase A	A	B,C +T
2	Fase B	B	A,C +T
3	Fase C	C	A,B +T

5. GRAFICA DE TENSION APLICADA CONTRA CORRIENTE DE FUGA

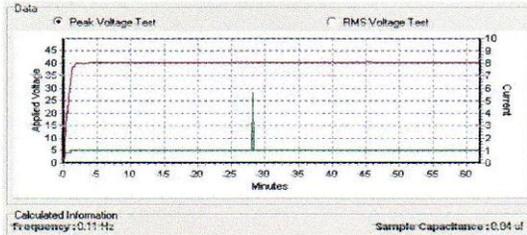
5.1. FASE "A"



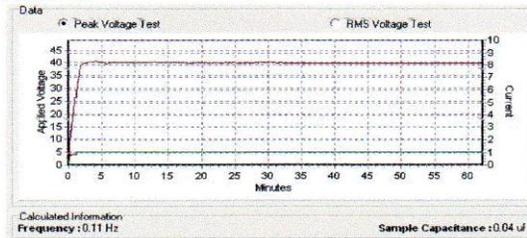
5. DATOS DEL EQUIPO DE PRUEBA

Marca:	Modelo:	Identificador:
HIGH VOLTAGE	VLV-6022CM	723

5.2. FASE "B"



5.3. FASE "C"



CONCLUSIONES

- Para las tres fases la prueba es satisfactoria al no ocurrir descarga disruptiva continua, esto se aprecia en la graficas ya que no hubo una caída súbita de voltaje e incremento de corriente constante.

Firma	Realizó:	Revisó:	Supervisó:	Revisó:
				
Nombre	Daniel Velasco Rodríguez.	Ing. Magdaleno Pérez Mtz.	Ing. Tobias Velasco Olivares	
Fecha	14-ene-15	14-ene-15	14-ene-15	

Figura 46 Reporte de prueba en campo 2

Fuente Ingeniería Eléctrica y Arquitectura Velro SA de CV

La prueba VLF es una prueba pasa/falla. El cable mantendrá la tensión de prueba o fallara. Si ocurre una falla, se debe detener la prueba y se debe reparar el cable o reemplazar. Se deben utilizar métodos convencionales para localizar la falla. Una vez que se ha reparado o reemplazado el cable, la prueba se debe repetir. Si ocurre una segunda falla, repare el cable nuevamente, o reemplace la sección fallada. En este momento, se debe determinar si se continúa haciendo la prueba. Si la falla fuera un empalme u otros accesorios, se puede acordar continuar la prueba hasta que todos los accesorios defectuosos se expongan y se reparen.

Si las fallas estuvieran en el aislamiento del cable, se puede optar por detener la prueba y hacer las reparaciones o reemplazos del cable en forma rápida. Al experimentar múltiples fallas en el aislamiento, indica extrema humedad en el cable y muchas arborescencias y esto indica que el tramo del cable no está sano y se debe reemplazar.

Mientras que el IEEE y otras normas a nivel mundial tienen guías para tensiones de prueba y duración (la norma europea indica probar $3xV_0$ por 60 minutos mientras que la norma IEEE/EPRI es $2-3 V_0$ por 15-60 minutos), cada usuario debe crear su propia norma de prueba para cada situación. Otros factores, como edad del cable, historial de fallas, nivel crítico del sistema, facilidad de reparación o reemplazo, etc. Determinarán cual es apropiado para cada situación. Por ejemplo, para cable nuevo instalado se puede probar a $3xV_0$ o más mientras que para cables viejos se puede probar a solo $2xV_0$ la tensión nominal de fase a neutro.

Al termino de las pruebas se realiza un análisis de los resultados obtenidos dando satisfactoria la prueba ya que no ocurrió ninguna descarga disruptiva continua, esto se aprecia en las gráficas ya que no hubo una caída súbita de tensión e incremento de corriente constante.

CAPITULO 8. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El análisis costo- beneficio, es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión, a la contratación de una empresa para realizar las pruebas de puesta en servicio.

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo beneficio sea mayor que la unidad

$$C-B > 1 \quad \text{El proyecto es rentable}$$

8.1 Determinación de la inversión total del proyecto

A continuación se detalla el costo total de la inversión, para las pruebas a realizar.

61				12 de noviembre de 2015	
				0399-DVR-	
LE PRESENTO LA COTIZACIÓN PARA LOS SIGUIENTES TRABAJOS A REALIZAR:					
CODIGO	UNIDAD	CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.	IMPORTE
CIVIL					
1181	pza	3	Prueba de VLF a conductor de potencia	\$ 2,300.00	\$ 6,900.00
1182	pza	3	Prueba de Resistencia de Aislamiento a conductor de potencia	\$ 1,500.00	\$ 4,500.00
				SUBTOTAL	\$ 11,400.00
				IVA	\$ 1,824.00
				TOTAL	\$ 13,224.00

NOTAS:

Figura 47 Cotización de pruebas a cable de potencia
Fuente Ingeniería Eléctrica y Arquitectura Velro SA de CV

8.2 Evaluación de los costos-beneficios

Para aceptar la realización del proyecto propuesto, el valor presente debe ser mayor que cero y la tasa de retorno mayor que uno

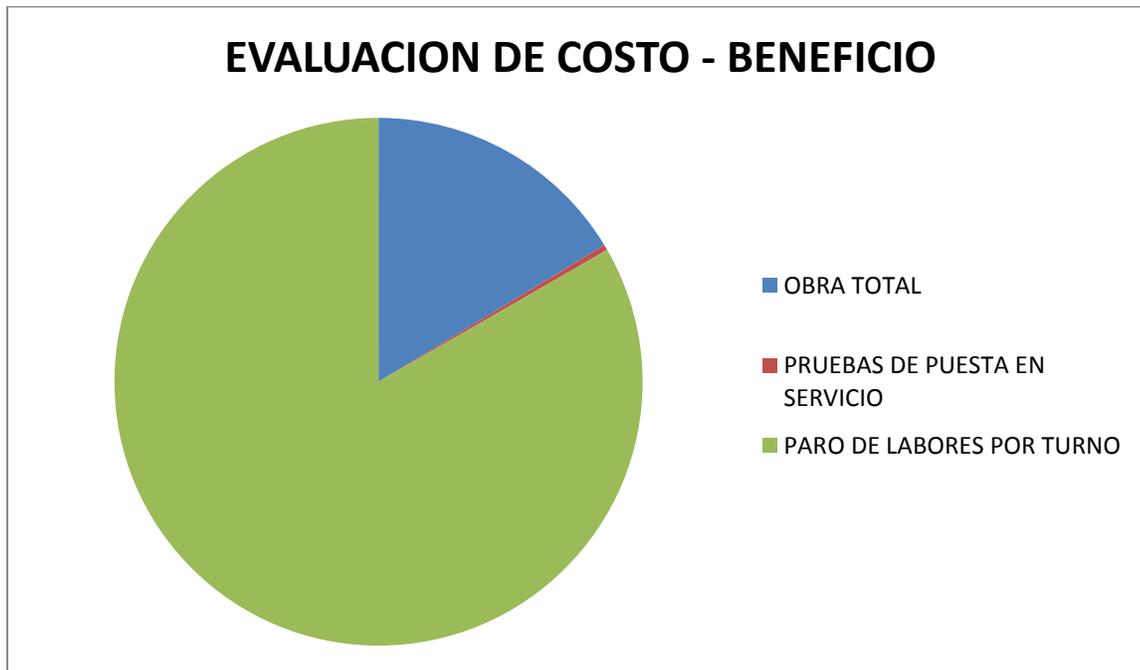


Figura 48 Grafica Costo Beneficio de Pruebas
(ELABORACION PROPIA, 2014)

9.1 Tiempo de recuperación

A comparación de otros proyectos, el tiempo de recuperación es inmediato, ya que al certificar que el conductor de potencia está correctamente instalado y cumple con todas las características que la norma estipula, este puede entrar en funcionamiento con total seguridad.

Con base a estos indicadores, se observa que el proyecto es rentable desde el punto de vista económico y social, pues, al ponerse en operación el conductor de potencia y certificar su correcta instalación, este puede comenzar a generar ganancias, las cuales se reflejarán inmediatamente.

CAPITULO 9. CONCLUSIONES

Los cables subterráneos de energía tiene una aportación muy importante en materia de seguridad eléctrica ya que permite que las instalaciones sean más seguras, la continuidad del servicio es mayor. Todo esto ha traído como consecuencia un aumento en la realización de proyectos y obras en redes subterráneas.

Este tipo de obras da a conocer el avance tecnológico que permite la modernización de las técnicas al momento de realizar la obra así como el empleo de nuevos materiales, equipos y accesorios. Y todo en conjunto con una correcta instalación tendrá como resultado un servicio más eficiente, duradero y que facilitaran la operación y mantenimiento de la red

El diseño de los cables de energía es cada vez más completo, ya que las plantas productoras buscan disminuir las fallas provocadas por una mala construcción, es por eso que ahora las empresas cuentan con laboratorios acreditados que evalúan la calidad del producto.

Estos laboratorios son una parte fundamental ya que a partir de su evaluación establecen parámetros que será usado de referencia para las pruebas de puesta en servicio.

Todas las pruebas ya sean prototipo, de aceptación, de puesta en servicio o de mantenimiento tienen que ir de acuerdo a las normas nacionales (NMX) y extranjeras (IEEE) vigentes ya que estas establecen parámetros y métodos obligatorios para evaluar el comportamiento de materiales y por otro lado el comportamiento del cable completo.

La correcta instalación de los cables de energía en media tensión representa la mayor parte del gasto de mantenimiento en los años posteriores, ya que dependiendo del mantenimiento y los cuidados necesarios, será la calidad del servicio que se tenga. Uno de los cuidados más importantes que se deben considerar es la integridad del personal que realizara la instalación.

Durante la vida útil de los cables sufren cierto envejecimiento que se evalúan con pruebas de mantenimiento y su análisis no es motivo de este trabajo, el motivo es un correcto funcionamiento al momento de entrar en operación. La realización de pruebas en campo o pruebas de puesta en servicio da un panorama diferente de este tema ya que se pone en marcha lo aprendido con la experiencia y teoría.

La esencia de este trabajo es darle un sentido práctico a las pruebas ya que por experiencia propia en campo te encuentras a diferentes problemas al estar realizando las pruebas. Los resultados obtenidos en las dos pruebas realizadas son el análisis a la forma de realización de estas, ya que cada una se comporta de manera y en condiciones diferentes.

El resultado de resistencia de aislamiento me llevo a un proceso de cálculos, interpretación y comparación de resultados para así poder declarar la correcta instalación del cable. Por otra parte la prueba de alta tensión de corriente alterna en baja frecuencia es completamente diferente ya sea en precauciones al realizar la prueba como en interpretación de esta. El resultado de esta prueba es denominado “Pasa – No Pasa”.

Aun así con las diferencias de estas se rigen bajo normas las cuales estableces parámetros de aceptación o rechazo. Es por eso la importancia de realizarlas antes de ponerlos cables en servicio. Una prueba que no se mencionó en este trabajo es la prueba de CD, ya que por recomendaciones por parte de asociaciones a nivel mundial ejerce cierto daño al cable, esto debido a los esfuerzos del campo eléctrico y se ha recomendado la prueba de alta tensión de corriente alterna en baja frecuencia.

En México hay muy poca infraestructura de equipamiento ya que el equipo a pesar de ser costoso requiere que lo opere personal certificado.

Los beneficios del cable de energía en media tensión que se desglosan en este trabajo generan gran valor técnico en la distribución a mediano y largo plazo en nuestro país. Es necesario seguir actualizando todos estos nuevos métodos que a nivel mundial han permitido el crecimiento no solo en infraestructura, también en seguridad y confiabilidad del sistema subterráneo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Herculano Martínez, A., & Maza Sánchez, C. (2012-05-02). *Manual para la instalación de cables de energía de media tensión*. MEXICO DF.
- [2] COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. (08 de 2014). NORMA A CFE-IDP. MEXICO, DF, MEXICO.
- [3] SERVICIOS CONDUMEX SA DE CV. (2006). *MANUAL TECNICO DE CABLES DE ENERGIA*. MEXICO, D.F.: PROPIA
- [4] Avelino Pérez, Pedro, “Transformadores de distribución”, Editorial Reverte Segunda edición 2001
- YAÑEZ HERRERA, E. (22 de 08 de 2013). *PREZI*. Recuperado el 3 de 09 de 2014, de <http://prezi.com/vll4gg7d897i/conexion-radial-y-en-anillo/>
- [6] Electrical Products Division. (2007). Empalme Contráctil en Frío QS-III. Austin, Texas, USA
- [7] 386-2006 - IEEE Standard for Separable Insulated Connector Systems for Power Distribution Systems Above 600 V
- [8] Thomas & Betts Corporation. (2012). <http://www.cooperindustries.com>. Recuperado el 22 de 09 de 2014, de http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/powersystems/resources/library/500_LoadbreakConnectors/S5001101EA.pdf
- [9] Maquinaria Continental Electric, S. A. de C. V. (02 de 05 de 2006). *CONTINENTAL ELECTRIC*. Recuperado el 08 de 09 de 2014, de SITIO WEB DE CONTINENTAL ELECTRIC: <http://www.continentalelectric.com.mx/>
- [10] IUSA, CABLES DE MEDIA TENSION. (s.f.).
- [11] ASOCIACION DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, A.C. (2011). *CONDUCTORES- CABLES DE ENERGIA CON PANTALLA METALICA, AISLDOS CON POLIETILENO DE CADENA CRUZADA O A BASE DE ETILENO- PROPILENO PARA TENSIONES DE 5KV A 35 KV- ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA*. NORMA MEXICANA ANCE.
- [12] Ing. Axayácatl Padilla Reyes, I. J. (s.f.). PRUEBA DE CABLES SUBTERRANEOS CON DIELECTRICO. MEXICO, DF, MEXICO.

-
- [13] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC. (2005). IEE GUIDE FOR FIELD TESTING OF SHIELDED POWER CABLE SYSTEMS USING VERY LOW FREQUENCY (VLF). En *IEEE std 400.2-2004* (pág. 29). NEW YORK, USA: IEEE. (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC, 2005)
- [14] Manual de Operación de Equipo VLF modelo VLF6022CM marca High Voltaje. <http://www.hvinc.com/>
- [15] Solid Dielectric Cable Testing: New Technologies-New Methods. Michael T. Peschel. High Voltaje
- [16] AC Testing Without Cable Degradation. C.J. Doman and S.J. Heyer, PECO Energy Co.
- [17] SUBGERENCIA DE DISTRIBUCION. (2003). MANUAL TECNICO CFE. En S. D. DISTRIBUCION, *MANUAL TECNICO CFE* (pág. 527)
- [18] <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas-mexicanas>
- [19] MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/2009/03BS2009E0010.pdf>
- [20] CFE INFORME ANUAL, <http://app.cfe.gob.mx/informeanual2009/7.2.html>