



# DISEÑO MODULAR DEL LABORATORIO PARA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

ANDRÉS MAURICIO SÁNCHEZ ALZATE

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD ELÉCTRICA  
TESIS DE GRADO – NIVEL TECNOLOGÍA  
RIONEGRO  
2016

ANDRÉS MAURICIO SÁNCHEZ ALZATE

TRABAJO DE TESIS PARA LA TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

LUIS GIOVANNY BERRIO ZABALA  
COORDINADOR FACULTAD ELÉCTRICA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD ELÉCTRICA  
TESIS DE GRADO – NIVEL TECNOLOGÍA  
RIONEGRO  
2016

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Luis Giovanni Berrio Zabala

---

Alba Nidia Ocampo Cuartas

Medellín, 27 de marzo de 2016 (Fecha de entrega)

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primero que todo a Dios, quien me puso en ésta carrera y ha sido guía fundamental en todo el camino que llevo realizando; a mí familia y novia quien han sido muy pacientes conmigo, además de brindarme un valioso apoyo en cada día que pasa.

Para mi jefe y tutor, el Ing Jhon Paulo Rosso, al que no tengo las palabras suficientes para agradecerle por todos sus consejos y enseñanzas en todos estos años que llevamos trabajando en EPM.

Mil gracias a todos...

# CONTENIDO

Pág.

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
2.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
4.1	OBJETIVO GENERAL	4
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
<b>5</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
5.1	Conexión de una acometida en media tensión:	5
5.2	Puentes	7
5.3	Tubo en poste	7
5.4	Terminal preformado para cables de M.T. (15kV)	8
5.4.1	Nivel de humedad	9
5.4.2	Proceso de instalación de una terminal preformada	11
5.5	Cable monopolar	13
5.5.1	Transición entre redes aéreas y redes subterráneas	13
5.5.2	Puesta a tierra de los cables para media tensión	13
5.5.3	Conductor	14
5.5.4	Blindaje del conductor	15
5.5.5	Aislamiento	16
5.5.6	Blindaje del aislamiento	18
5.5.7	Apantallamiento	18
5.5.7.1	Pantalla en cinta de cobre	18
5.5.7.2	Pantalla en hilos de cobre	19
5.5.7.3	Pantalla neutro concéntrico	19
5.5.8	Chaqueta	20
5.5.8.1	Resistencia a la humedad	20
5.5.8.2	Comportamiento frente a la llama	21
5.5.8.3	Resistencia a los rayos UV	21
5.5.8.4	Resistencia al impacto y abrasión	21
5.5.8.5	Resistencia a los hidrocarburos	21
5.5.9	Nivel de aislamiento del cable en media tensión	22

5.5.9.1	Aislamiento al 100%	22
5.5.9.2	Aislamiento al 133%	22
5.5.9.3	Aislamiento al 173%	22
5.5.10	Instalación de cables para media tensión	23
5.5.10.1	Radios de curvatura	23
5.5.10.2	Tensión de jalado	24
5.5.10.3	Presión lateral	25
5.5.11	Código de colores para cables	26
<b>5.6</b>	<b>Canalizaciones de redes en media tensión</b>	<b>27</b>
5.6.1	Material de los ductos	28
5.6.2	Dimensión del ducto para redes en media tensión	28
5.6.3	Características de la zanja	28
5.6.4	Profundidad de las canalizaciones para redes en media tensión	29
5.6.5	Condiciones para canalizaciones de redes en media tensión:	29
5.6.6	Caja para acometida de redes en media tensión a 13.2kV	32
<b>5.7</b>	<b>Subestación a 13.2kV</b>	<b>33</b>
5.7.1	Aspectos generales de las subestaciones a 13.2kV	33
5.7.2	Dimensiones de la subestación	35
5.7.3	Espacios de trabajo para subestación	35
5.7.4	Casos para espacios de trabajo	35
5.7.4.1	Caso 1	36
5.7.4.2	Caso 2	37
5.7.4.3	Caso 3	37
5.7.4.4	Excepción	38
5.7.5	Accesos para subestación	38
5.7.6	Materiales de construcción para subestaciones	41
5.7.7	Iluminación del espacio de trabajo en subestaciones	43
5.7.8	Ventilación de subestaciones	44
5.7.9	Drenaje de la subestación:	46
5.7.10	Marcación y señalización	47
5.7.11	Seguridad contra incendios	47
<b>5.8</b>	<b>Celdas de media tensión</b>	<b>48</b>
5.8.1	Aspectos generales de las celdas	48
5.8.2	Requisitos para las celdas de medida en media tensión	49
5.8.2.1	Transformadores de medida	49
5.8.2.2	Conexiones y cableado	50
5.8.2.3	Bornera y medidor	51
5.8.3	Requisitos para las celdas del seccionador y transformador	52
<b>5.9</b>	<b>Tableros para medida semidirecta y directa</b>	<b>54</b>
<b>5.10</b>	<b>Tipos de equipos de medida</b>	<b>56</b>
5.10.1	Equipo para medida directa	56

5.10.2	Equipo para medida semi-directa _____	57
5.10.3	Equipo para medida indirecta _____	57
<b>6</b>	<b>DESCRIPCIÓN TÉCNICA _____</b>	<b>58</b>
6.1	Obtención de permisos _____	58
6.2	Apertura de accesos _____	59
6.3	Descripción y diseño de las obras: _____	60
6.4	Cuidado del medio ambiente _____	60
6.5	Malla de puesta a tierra _____	61
6.6	Cimentaciones _____	61
6.7	Retiro de materiales y rehabilitación de daños _____	62
6.8	Acopio de los materiales _____	62
6.9	Montaje de celdas _____	63
6.10	Conductores _____	63
6.11	Tendido de cables e instalación del transformador _____	63
6.12	Mano de obra _____	64
6.13	Control durante las obras _____	64
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA _____</b>	<b>65</b>
7.1	Tipo de estudio _____	65
7.2	El método _____	66
7.3	La observación _____	66
7.4	La inducción _____	66
7.5	La deducción _____	66
7.6	Análisis y síntesis _____	67
7.7	Población _____	67
7.8	Técnicas para recoger la información _____	67
<b>8</b>	<b>CRONOGRAMA _____</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES _____</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES _____</b>	<b>70</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA _____</b>	<b>71</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Lista de materiales para la conexión de acometida en media tensión (13.2kV) a las redes de distribución_____	6
Tabla 2: Características de materiales de aislamiento para cables de media tensión____	17
Tabla 3: Características de los materiales para chaqueta de cables en media tensión__	21
Tabla 4: Espesores de aislamiento para los diferentes voltajes y niveles de aislamiento	23
Tabla 5: Código de colores para conductores en c.a. _____	27
Tabla 6: Profundidades mínimas de enterramiento para redes de distribución _____	29
Tabla 7: Espacios de trabajo _____	36
Tabla 8: Espesor mínimo para muros cortafuegos_____	41



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Conexión de acometida en media tensión (13.2kV) a las redes de distribución_	6
Figura 2: Proceso de instalación para las terminales preformadas en media tensión a 15kV _____	10
Figura 3: Terminales tipo interior y exterior para cables en media tensión a 15kV _____	12
Figura 4: Conductor de siete hilos cableado clase B _____	14
Figura 5: Conductor comprimido                      Figura 6: Conductor compactado _____	15
Figura 7: Distribución del campo eléctrico para un cable recubierto con blindaje semiconductor _____	16
Figura 8: Cable para media tensión con apantallamiento en cinta de cobre _____	19
Figura 9: Cable para media tensión con apantallamiento en neutro concéntrico _____	20
Figura 10: Radio de curvatura para cables en media tensión _____	24
Figura 11: Radio de curvatura para cables en media tensión _____	25
Figura 12: Canalizaciones para redes en media tensión a 13.2kV _____	31
Figura 13: Caja para acometida en media tensión a 13.2kV _____	32
Figura 14: Montaje típico de los DPS en los equipos a proteger _____	33
Figura 15: 1.2m para tensión entre (2501 – 9000) V _____	36
Figura 16: 1.5m para tensión entre (2501 – 9000) V _____	37
Figura 17: 1.8m para tensión entre (2501 – 9000) V _____	37
Figura 18: Espacios mínimos para subestación interior _____	38
Figura 19: Caso donde se hace necesario otra puerta de acceso o evacuación _____	39
Figura 20: Caso donde solo es necesario una puerta de acceso o evacuación _____	40
Figura 21: Ubicación de las aberturas de entrada y salida de aire en la bóveda del transformador _____	45
Figura 22: Celda de medida en media tensión con tres elementos _____	52
Figura 23: Celda con seccionador _____	53
Figura 24: Celda con transformador seco _____	54
Figura 25: Medida semidirecta    Figura 26: Medida directa _____	56

## GLOSARIO

**Acometida eléctrica:** De acuerdo con el RETIE es “Derivación de la red local del servicio respectivo que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios la acometida llega hasta el registro de corte general.” Y de acuerdo con la CREG 070 de 1998: “Derivación de la red local del servicio respectivo que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios y, en general, en las Unidades Inmobiliarias Cerradas de que trata la Ley 428 de 1998, la acometida llega hasta el registro de corte general”.

**Aviso de seguridad:** Advertencia de prevención o actuación, fácilmente visible, utilizada con el propósito de informar, exigir, restringir o prohibir.

**Barraje Puesto a Tierra:** Barra en platina de cobre o de un material con capacidad de conducción equivalente de una instalación o circuito que es conectado intencionalmente al sistema de puesta a tierra. Generalmente corresponde al neutro de un sistema monofásico o de un sistema trifásico en estrella.

**Barraje:** Barra de cobre o conductor de sección equivalente, al cual pueden conectarse separadamente varios circuitos eléctricos.

**Bóveda:** Encerramiento dentro de un edificio con acceso sólo para personas calificadas, reforzado para resistir el fuego, sobre o bajo el nivel del terreno, que aloja transformadores de potencia para uso interior aislados en aceite mineral, secos de más de 112,5kVA o de tensión nominal mayor a 35kV. Posee aberturas controladas (para acceso y ventilación) y selladas (para entrada y salida de canalizaciones y conductores).

**Cable Apantallado:** Cable con una envoltura conductora alrededor del aislamiento que le sirve como protección electromecánica. Es lo mismo que cable blindado.

**Calibración:** Diagnóstico sobre las condiciones de operación de un equipo de medición y los ajustes, si son necesarios, para garantizar la precisión y exactitud de las medidas que con el mismo se generan.

**Capacidad o potencia Instalada:** También conocida como carga conectada, según RETIE, es la sumatoria de las cargas en kVA continuas y no continuas, previstas

para una instalación de uso final. Igualmente, es la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de la red de distribución.

**Capacidad O Potencia Instalada:** También conocida como carga conectada, es la sumatoria de las cargas en kVA continuas y no continuas, previstas para una instalación de uso final. Igualmente, es la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de la red de distribución.

**Celda:** Es una estructura construida para instalarse de manera autosoportada y destinada a encerrar equipo eléctrico como: transformadores de potencia, transformadores de corriente, transformadores de potencial, equipos de medición y equipos de seccionamiento de media tensión tales como interruptores o seccionadores. También se denominan cuadros, paneles, gabinetes, consolas, armarios.

**Clase de exactitud:** Designación asignada a transformadores de corriente y de tensión, cuyos errores permanecen dentro de los límites especificados para las condiciones de uso prescritas.

**Compartimento:** cada una de las partes en la que se divide un tablero o celda.

**Conductor A Tierra:** También llamado conductor del electrodo de puesta a tierra, es aquel que conecta un sistema o circuito eléctrico intencionalmente a una puesta a tierra.

**Conductor Energizado:** Todo aquel que no está conectado a tierra.

**Conductor Neutro:** Conductor activo conectado intencionalmente al punto neutro de un transformador o instalación y que contribuye a cerrar un circuito de corriente.

**Conexión Equipotencial:** Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de manera que cualquier corriente que pase no genere una diferencia de potencial sensible entre ambos puntos.

**Corriente dinámica nominal (Idyn):** Es el valor máximo o pico de la corriente primaria que el transformador puede soportar cuando el secundario está en cortocircuito sin sufrir daño eléctrico o mecánico. La corriente dinámica se calcula así:

$$I_{dyn} = 2.54 * I_{th}$$

**Corriente térmica nominal de corta duración (I<sub>th</sub>):** Es el valor RMS (eficaz) de la corriente primaria que el transformador puede soportar en 1 segundo, con el secundario en corto sin sufrir daños y sin sobrepasar la temperatura de los devanados. La corriente térmica se expresa de la siguiente manera:

$$I_{th} \text{ (kA)} = \text{Potencia de Corto Circuito (MVA)} / (1.73 * \text{Tensión (kV)})$$

**Cortocircuito:** Unión de muy baja resistencia entre dos o más puntos de diferente potencial del mismo circuito.

**Cuarto Eléctrico:** Recinto o espacio en un edificio dedicado exclusivamente a los equipos y dispositivos eléctricos, tales como transformadores, celdas, tableros, UPS, protecciones, medidores, canalizaciones y medios para sistemas de control entre otros.

**Equipo de medida:** Conjunto de dispositivos destinados a la medición o registro del consumo de energía.

**Equipotencializar:** Es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados.

**Frente muerto:** Parte de un equipo accesible a las personas y sin partes activas expuestas. Debe ser del mismo material del tablero.

**Instalación eléctrica:** Conjunto de aparatos eléctricos y de circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, rectificación, conversión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

**Norma Técnica Colombiana (Ntc):** Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización.

**Operador De Red:** Empresa de Servicios Públicos encargada de la planeación, de la expansión y de las inversiones, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o un Sistema de Distribución Local.

**Panel de distribución:** Un solo panel o grupo de paneles diseñados para ensamblarse en forma de un solo panel que incluye elementos de conexión,

transformadores de potencia, equipos de medición, dispositivos automáticos de protección de sobrecorriente y puede estar equipado con interruptores para accionamiento de circuitos de alumbrado, calefacción o fuerza.

**Partes Vivas:** Conductores, barras, terminales o componentes eléctricos sin aislar o expuestos, que crean riesgo de arco o choque eléctrico.

**Persona Calificada:** Persona natural que demuestre su formación (capacitación y entrenamiento) en el conocimiento de la electrotecnia y los riesgos asociados a la electricidad.

**Persona calificada:** Persona natural que demuestre su formación profesional en el conocimiento de la electrotecnia y los riesgos asociados a la electricidad y además, cuente con matrícula profesional, certificado de inscripción profesional, o certificado de matrícula profesional, que según la normatividad legal vigente, lo autorice o acredite para el ejercicio de la profesión.

**Precaución:** Actitud de cautela para evitar o prevenir los daños que puedan presentarse al ejecutar una acción.

**prevención:** Evaluación predictiva de los riesgos y sus consecuencias. Conocimiento a priori para controlar los riesgos. Acciones para eliminar la probabilidad de un accidente.

**Previsión:** Anticipación y adopción de medidas ante la posible ocurrencia de un suceso, en función de los indicios observados y de la experiencia.

**Puerta Cortafuego:** Puerta que cumple los criterios de estabilidad, estanqueidad, no emisión de gases inflamables y aislamiento térmico cuando se encuentra sometida al fuego o incendio durante un período de tiempo determinado.

**Reglamento Técnico:** Documento en el que se establecen las características de un producto, servicio o los procesos y métodos de producción, con inclusión de las disposiciones administrativas aplicables y cuya observancia es obligatoria.

**Sistema De Puesta A Tierra (Spt):** Conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

**Subestación:** Conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia.

**Tablero auto soportado:** Se entiende por tablero autoportado aquel que tiene la capacidad de soportar o sostener su propio peso y se instala fijado o anclado sobre un pedestal.

**Tablero sobrepuesto o empotrado:** Gabinete o panel empotrado o sobrepuesto, el cual es fijado a la pared a través de mampostería y medios de sujeción adecuados. Es un tablero que por su tamaño no está apoyado sobre el piso.

**Tablero:** Encerramiento metálico o no metálico donde se alojan elementos tales como aparatos de corte, control, medición, dispositivos de protección, barrajes, para efectos de este reglamento es equivalente a panel, armario o cuadro.

**Tableros de medida:** Estructuras metálicas o no metálicas que cumplen con condiciones mecánicas y de seguridad, construidos para instalarse generalmente de manera empotrada, sobre puesta en los muros o paredes o autoportados y destinados a encerrar equipos de baja tensión como medidores de energía, equipos de protección y transformadores de medida.

**Transformación:** Proceso mediante el cual son modificados, los parámetros de tensión y corriente de una red eléctrica, por medio de uno o más transformadores, cuyos secundarios se emplean en la alimentación de otras subestaciones o centros transformación (incluye equipos de protección y seccionamiento).

**Transformador de corriente (TC):** Transformador para instrumentos en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la corriente primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero para una dirección apropiada de las conexiones.

**Transformador de tensión o potencial (TT ó TP):** Transformador para instrumentos en el cual la tensión secundaria en las condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la tensión primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero, para un sentido apropiado de las conexiones.

## **RESUMEN**

Las subestaciones eléctricas de distribución tienen por objeto transformar la energía que reciben en alta tensión del operador de red o la compañía que la suministra, a una tensión de uso para los equipos que requiera cada cliente en especial.

Dentro de las subestaciones abra un armario blindado con las dimensiones adecuadas y normalizadas de acuerdo al valor de tensión, provisto para alojar dentro de él, el equipo de medición que se conforma por TC, TP, equipo de medida, barras y cables, el cual registrará el consumo de energía de la carga conectada aguas abajo del transformador.

Las subestaciones se conforman por un conjunto de celdas independientes y unidas entre sí según sea el caso. Las celdas se presentan una gran variedad de tamaños y especificaciones, y dentro de ellas irán instalados equipos como interruptores, cuchillas, transformadores, seccionadores, entre otros elementos eléctricos.

Las celdas se alojarán dentro de una obra civil, la cual tendrá una resistencia específica, dependiendo el transformador que elija el cliente.

Éste trabajo ampliará con más detalle y basado en la normatividad nacional, todo lo relacionado a subestaciones de distribución, respecto a su construcción y diseño.

### **Palabras claves**

Subestación, celdas, modular, seguridad, deber, transformador, cables.

## 1 INTRODUCCIÓN

Una subestación es la parte de una red eléctrica encargada de dirigir y transformar el flujo de la energía en diferentes niveles de tensiones; existen varios tipos de subestaciones, pero en éste apartado se pretende explicar y describir con base en la normatividad nacional, las que son empleadas por el cliente final en diferentes tipos de usos, como residencial, comercial e industrial, con la motivación que ha dado lugar, la realización del diseño modular del laboratorio para la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Las subestaciones como integrantes en sistemas eléctricos en el pasado como en la actualidad, son los principales responsables de realizar la conmutación con otros sistemas eléctricos, proporcionando alta confiabilidad, alternatividad, continuidad, para satisfacer las diferentes servicios y aplicaciones que demandan los usuarios finales en sus instalaciones eléctricas; las subestaciones que emplean los clientes finitos son de distribución y están conformadas por una serie de equipos que permiten controlar el flujo de energía a través de transformadores de potencia, convirtiendo la tensión de suministro en niveles de voltajes más bajos o altos, de acuerdo a la necesidad preestablecida.

Dentro de un sistema eléctrico de potencia, la subestación es la muestra física de un nodo y está conformada por varios circuitos eléctricos, que a su vez tienen elementos de protección como interruptores o seccionadores, para asegurar la adecuada prestación del servicio y maniobrabilidad de las instalaciones, estos equipos deben ser capaces de cortar la intensidad máxima de corriente y su elección depende principalmente de cálculos matemáticos basados en las condiciones o necesidades que tiene cada cliente en especial.

El presente contenido contempla las generalidades de subestaciones, con conceptos, definiciones que introducen al conocimiento de estos y se espera que éste tratado favorezca en el conocimiento y salida de dudas, con respecto a las subestaciones, ante todo lo expuesto se espera que el resultado final logre ser de gran apoyo para la ejecución del proyecto del laboratorio en la Universidad Pascual Bravo.



## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, la Institución Universitaria Pascual Bravo adscrita al municipio de Medellín, ubicada en la dirección: CL 73 N° 73A-226, barrio: Robledo de la ciudad Medellín, en los laboratorios actuales que posee como los de motores, transformadores, metalurgia, soldadura, máquinas industriales, entre otros, no cuentan con un aula que permita realizar las prácticas enfocadas a las subestaciones eléctricas, ya que no hay una idea clara de las necesidades y costos que requiere un salón técnico con estas características.

En los grandes proyectos urbanísticos de residencias, comercio e industria hay una gran demanda de energía eléctrica y tal necesidad es atendida en la mayoría de los casos por subestaciones eléctricas, que suministran el servicio de energía a todos los proyectos mencionados, por tal razón, todas las personas que estudien ingeniería eléctrica, deben poseer los conocimientos necesarios para atender la gran demanda del mercado en el hacer y diseñar.

¿Porque es importante que la institución este dotada de las herramientas necesarias para un óptimo aprendizaje en lo relacionado con las subestaciones de energía?

¿Cuáles son los factores que inciden en el rendimiento académico enfocado a las subestaciones, de los alumnos que estudian Ingeniería Eléctrica en la Universidad Pascual Bravo?

El programa académico de tecnología eléctrica e ingeniería eléctrica, cuenta con unos planes de estudio organizados por áreas, y asignaturas organizadas por niveles, permitiendo así que el proceso de formación se realice de los más simple hacia lo más complejo.

Los programas de formación en el área eléctrica, requieren conocimientos básicos generales en matemáticas, humanidades, y las áreas generales y específicas de la tecnología eléctrica y la ingeniería, desarrollando conocimientos integrales los cuales logran integrar el ser, el saber y el hacer en los estudiantes.

El área de las subestaciones eléctricas es de suma importancia para los profesionales de la electrotecnia y ya que la institución no cuenta con un buen laboratorio para realizar las diferentes prácticas, que lleven a comprender de una

mejor manera la teoría que transmiten los tutores de dicha área de la electricidad, es necesario realizar un aula con las condiciones técnicas necesarias, que permitan a los alumnos poner en práctica los conocimientos adquiridos.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

La Institución Universitaria Pascual Bravo tiene formación académica desde el nivel técnico a ingeniería, en un modelo pedagógico de formación por competencias, lo cual implica que el estudiante debe desarrollar habilidades en el que hacer.

A través de la construcción del laboratorio para la subestación, se beneficiarán los estudiantes que estén en proceso de formación del ciclo profesional, además de estos, también lo harán los alumnos que vienen realizando el proceso tecnológico y quieran seguir adelante con la ingeniería y por último la universidad, ya que contará con un espacio de última generación en subestaciones eléctricas, donde sus estudiantes podrán realizar las practicas necesarias que conlleven a mejorar la calidad de su proceso de formación.

La tecnología e ingeniería eléctrica, es una de las principales carreras de la universidad y es reconocida en el medio por su buena reputación, lo que eleva la importancia del laboratorio modular para subestación, dado que, a través del mismo, se podrá subir el nivel de los profesionales que salen de la universidad, lo que lleva a la institución a poder destacarse aún mucho más en el medio y competir con las demás instituciones del sector.

Éste proyecto se realiza con fundamento en una necesidad real que tiene la institución y es necesario realizar los diseños eléctricos para el laboratorio, ya que es de suma importancia evaluar desde los planos lo que se quiere para la universidad, además de esto, los diseños serán una guía muy importante que servirán a los estudiantes, para conocer los componentes eléctricos y topologías más comunes de diseños en subestaciones; finalmente le serán muy útiles a la universidad para proyectar los costos y espacios que llevara a la construcción del laboratorio.

e Habiendo realizado una revisión exhaustiva de proyectos relacionados, se logró determinar un diseño más didáctico que permita lograr una aplicación de la teoría real de la práctica.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño modular para el laboratorio de la subestación eléctrica de la Institución universitaria Pascual Bravo, que permitirá a través del mismo, realizar las prácticas en subestaciones de energía con diferentes topologías, con el fin de mejorar la calidad de aprendizaje de los estudiantes de ingeniería eléctrica.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las topologías más usadas, para la implementación de subestaciones eléctricas en media tensión.
2. Determinar las características de los módulos que llevaran dentro de ellos, los elementos eléctricos que conforman la subestación.
3. Diseñar los módulos y las distribuciones, con base en las normas vigentes para que se adopten al espacio donde irá ubicado el laboratorio.
4. Elaborar las guías de las posibles configuraciones que se podrán implementar en el laboratorio.

## 5 MARCO TEÓRICO

Se realizará la parte teórica de las subestaciones con la normatividad general del operador de red EPM, EL RETIE, la NTC 2050 entre otros documentos que se mencionarán en cada numeral del desarrollo del marco teórico.

Es importante enfatizar, que el índice central que tendrá éste documento es el desarrollo en la parte de diseño y construcción para subestaciones con un nivel de tensión de 13.2kV, ya que éste voltaje se emplea normalmente en todo el país y sobre todo en el departamento de Antioquia con el operador de red EPM.

### 5.1 CONEXIÓN DE UNA ACOMETIDA EN MEDIA TENSIÓN:

Normalmente, siempre se realizará la conexión de la acometida primaria o la derivación de una subestación, desde un punto de anclaje, habitualmente se emplea un poste con una resistencia mínima de 510 kgf, el cual tendrá sus respectivas redes en media tensión energizadas a 13.2kV; en las zonas urbanas siempre se encuentra con éstas redes y no es necesario la proyección de líneas trifásicas, lo que no ocurre en la zona rural, donde casi siempre es preciso el diseño e instalación de líneas trifásicas, pero el desarrollo de éste trabajo no se enfocará en la proyección de redes en media tensión, ya que hace parte de otra parte de la ingeniería eléctrica.

El poste donde se instalará la acometida de la subestación, debe ser empotrado a una profundidad igual a 60 cm más el 10% de la longitud del poste y siempre se debe verificar que no presente peligro de volcamiento. (RETIE, Requisitos de instalación, 2013)

La acometida siempre tendrá las protecciones necesarias para evitar que una falla aguas abajo de la subestación se transfiera a las redes de distribución, el sistema de protección para la acometida está conformado por los DPS y los cortacircuitos con sus respectivos fusibles (ver figura 1 y tabla 1), la capacidad del fusible siempre es dada por el operador de red, quien se encargará de la coordinación de protecciones para las nuevas cargas que ingresen a su sistema de distribución.

Figura 1: Conexión de acometida en media tensión (13.2kV) a las redes de distribución

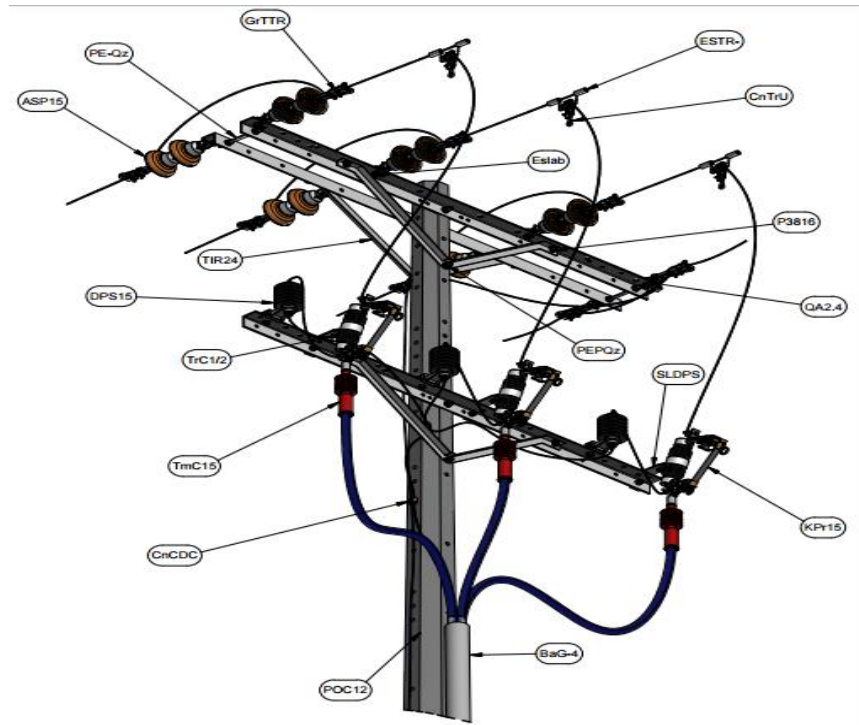


Imagen tomada de la norma RA2-017 del operador de red EPM

Tabla 1: Lista de materiales para la conexión de acometida en media tensión (13.2kV) a las redes de distribución

LISTA DE MATERIALES					
CÓDIGO NEMOTÉCNICO	CANT.	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	COD. OW-INVERSIÓN	COD. OW-COSTO
POC12	1	POSTE CONCRETO 12 M OCTOGONAL	RA7-035	91159	59345
QA2.4	3	CRUCETA ANGULAR METÁLICA DE 1500mm	RA7-013	92269	10504
TIR24	3	TIRANTA PARA CRUCETA DE 2400mm	RA7-013	92290	12034
Eslab	8	ESLABÓN DE 5/8 in	RA7-005	692	92216
ASP15	12	AISLADOR SUSPENSIÓN 13,2 kV 165 mm	RA7-011	92237	1611
GrTTR	8	GRAPA TERMINAL TIPO RECTA	RA7-024	92458	11512
DPS15	3	DISPOSITIVO DE PROTECCION DE SOBRETENSIÓN	RA7-108	92280	11014
KPr15	3	CAJA PRIMARIA 15KV	ET	92249	10018
SLDPS	3	SOPORTE EN L CORTACIRCUITOS Y PARARRAYOS	RA7-053	95698	95697
BaG-4	1	TUBO BAJANTE GALVANIZADO 4in	ET	97440	7310
TmC15	3	TERMINACION POLIMERICA PARA CABLES	ET	92343	31640
ESTR-	3	ESTRIBO	RA6-009	N/A	N/A
CnTrU	3	CONECTOR TRANSVERSAL UNIVERSAL	RA7-079	92262	10219
CnCDC	3	CONECTOR COMPRESION DERIVACION EN C COBRE 2	RA2-018	92240	7701
P3816	12	TORNILLO DE Ø 5/8 in x 1 1/2 in	RA7-001	1275	92217
TrC1/2	3	TORNILLO CARRUAJE PARA CAJAS PRIMARIAS	RA7-001	98643	98642
PEPQz	2	PERNO ESPACIADOR 15.9 x 254 mm	RA7-001	92223	1341
PEPQz	4	PERNO ESPACIADOR 15.9 x 254 mm	RA7-001	92223	1341

Imagen tomada de la norma RA2-017 del operador de red EPM

## 5.2 PUENTES

Los puentes son las conexiones que se emplearán desde la red del operador de red hasta los cortacircuitos (ver figura 1), para ésta conexión se empleará cable rígido de cobre N° 4 AWG, está prohibido el aluminio para éste uso por los efectos de dilatación térmica (creep), corrosión y par galvánico, ya que los conectores de las protecciones son fabricados en cobre.

La conexión de los puentes a la red, se realizará a través de un conector transversal y no podrán ser instalados directamente a las líneas, sino a través de un estribo (ver tabla 1) ya que por la conexión y desconexión de los puentes, se puede desflectar la red y generar un corte de energía a gran escala.

## 5.3 TUBO EN POSTE

Para la instalación de la acometida en el poste, se deberá realizar a través de un ducto del tipo IMC de diámetro Ø 4", está prohibido que el material sea no metálico o PVC especificación (Schedule 40).

No deben instalarse tuberías no metálicas en lugares expuestos a daños físicos o a la luz solar directa, si no están certificadas para ser utilizadas en tales condiciones. (NTC 2050, 1998)

Para evitar que filos cortantes puedan rasgar el aislamiento de los conductores, los extremos de los tubos metálicos deben ser alisados interiormente y las salientes del cordón de soldadura deben ser removidas mediante un proceso adecuado como el de burilado.

Los tubos tendrán las roscas de acuerdo con la norma ANSI B1.201, NTC 332 u otras equivalentes y serán protegidas, igualmente el tubo deberá contar con una unión roscada que se acople al tubo.

Los espacios entre elementos que soporten tuberías metálicas, no podrán ser mayores a 2,1 m para tuberías entre 89 y 102 mm, para Ø 4" es 114mm y aplica la anterior disposición, al momento de asegurar el tubo metálico al poste de concreto.

Los elementos metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas, no podrán ser incluidos como parte de los conductores del sistema de puesta a tierra. Este requisito no excluye el hecho de que se deben conectar a tierra en muchos casos, como lo es en éste para el ducto metálico. (RETIE, Requisitos generales para el SPT, 2013)

El tubo metálico que se instale en el poste de concreto deberá ser equipotencializado con el SPT, tal y como lo define el artículo 250-80 de la NTC 2050 en el literal b) que define: “...*Los demás sistemas de tuberías interiores metálicas que se puedan llegar a energizar se deben conectar equipotencialmente al encerramiento del equipo de acometida, al conductor puesto a tierra de acometida, al conductor del electrodo de puesta a tierra cuando tenga el calibre suficiente o a uno o más de los electrodos de puesta a tierra de la instalación...*”

El tubo metálico que se instale en el poste, al igual que en el interior de la subestación si se presenta, que estén expuestos a la vista, deberán marcarse con franjas naranjas de mínimo 10cm de ancho para distinguirlos de otros usos.

#### **5.4 TERMINAL PREFORMADO PARA CABLES DE M.T. (15KV)**

El elemento primordial del terminal preformado tipo cono, es básicamente el cono de alivio, el cual está constituido de dos materiales elastoméricos premoldeados, uno de características aislantes y el otro de características semiconductoras, unidos en el proceso de fabricación por medio de la aplicación de presión y temperatura, con lo que se asegura una adhesión total y se elimina la posibilidad de burbujas de aire ocluidas en el cuerpo aislante y la unión entre las dos piezas.

La función que desempeña este cono pre moldeado es la de controlar los esfuerzos que se presentan sobre el aislamiento del cable al retirarse la pantalla semiconductora. La distancia de fuga necesaria para la terminal se obtiene en el espacio libre de aislamiento entre el conductor y el corte de la pantalla.

El terminal tipo cono de uso exterior, además del cono de alivio lleva unas campanas premoldeadas, que constan de módulos de material elastomérico aislante, el cual tiene entre sus propiedades una alta resistencia a la formación de trayectorias carbonizadas (tracking), así mismo una alta resistencia a las radiaciones solares.

Los materiales más resistentes al tracking son la porcelana y la silicona por ser materiales inorgánicos y por soportar altas temperaturas.

La función que tienen las campanas premoldeadas en el terminal de uso exterior es la de proporcionar una distancia de fuga adicional

Este método consiste en el control de esfuerzo por medio de material aislante con una alta constante dieléctrica, que conservando sus características aislantes, refractan las líneas de campo eléctrico en la región adyacente al corte de la pantalla electrostática, no permitiendo la concentración de las mismas, lo que permite emplearse en lugar del cono de alivio tradicional.

La simplicidad de elaboración de terminales con materiales de alta constante dieléctrica ha desplazado a los terminales de cono de alivio, tanto de cinta como de elementos preformados.

En el terminal con materiales de alta constante dieléctrica de uso exterior, en el caso de elementos preformados, estos tienen incorporadas las campanas premoldeadas para aumentar la distancia de fuga; en el caso de terminales en cinta de alta constante dieléctrica (existentes) había la necesidad de aplicarle al terminal tipo interior cinta eléctrica autofundente de caucho de silicona, sobre todo el terminal desde la chaqueta hasta la borna terminal.

#### **5.4.1 Nivel de humedad**

Según la norma IEC 60694 (numeral 2.1.1 e) para equipos de uso interior los niveles de humedad óptimos son los siguientes:

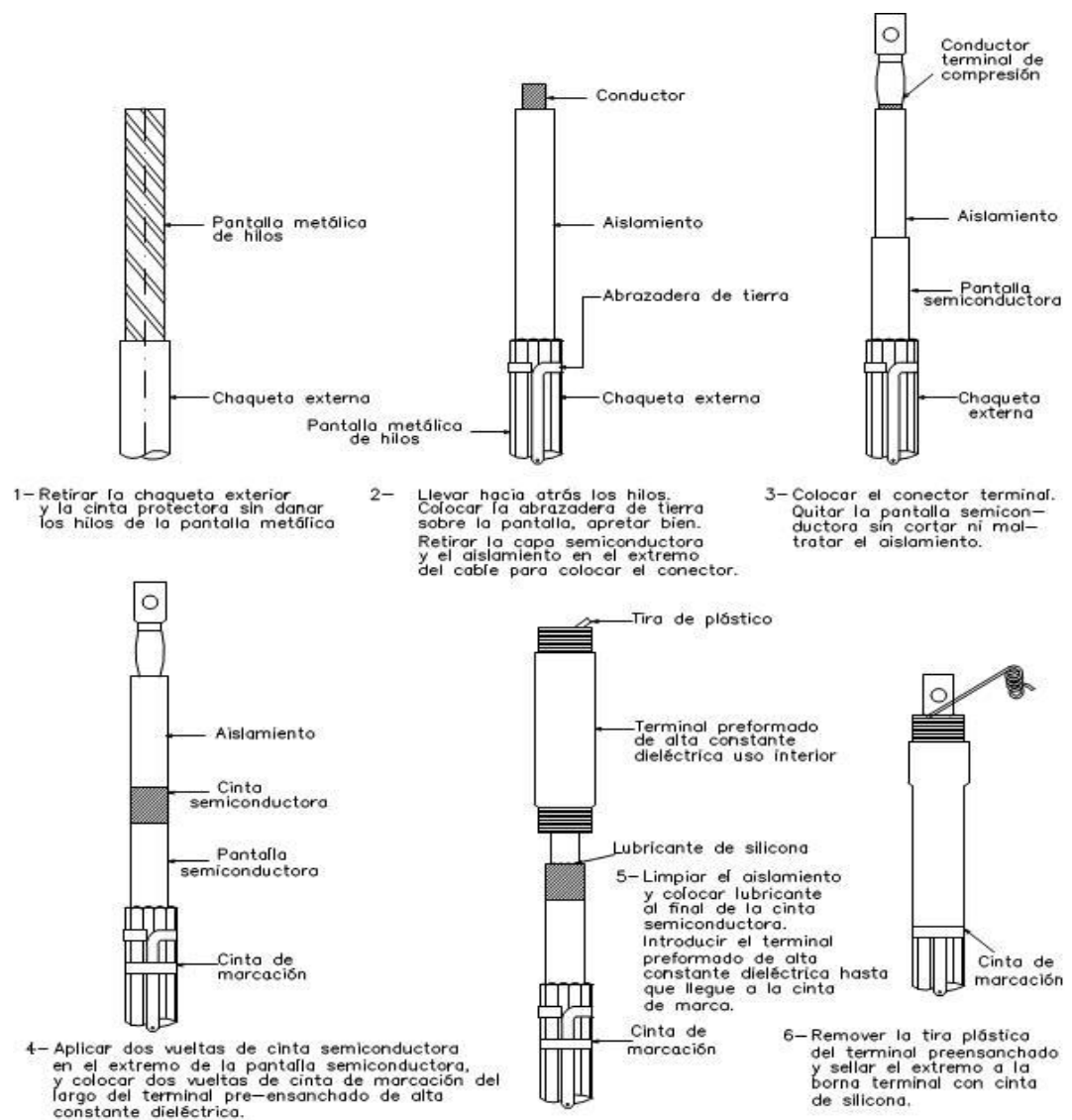
- El valor promedio de humedad relativa medido en un periodo de 24h no puede ser mayor al 95%
- El valor promedio de presión del vapor de agua medido en un periodo de 24h no puede ser mayor a 2.2 kPa
- El valor promedio de humedad relativa medido en un periodo de un mes no puede ser mayor al 90%
- El valor promedio de presión del vapor de agua medido en un periodo un mes no puede ser mayor a 2.8 kPa



- Si en un ambiente se tienen valores mayores a los indicados se tendrá un grado de humedad alto.

En los casos en que se tenga un alto grado de humedad en subestaciones de local o sótano, se debe instalar terminales tipo exterior ya que al tener una distancia de fuga mayor se puede garantizar el aislamiento requerido en este tipo de ambientes. También se debe tener en cuenta que este terminal debe realizarse con conector tipo pala de dos huecos. (CODENSA S.A. ESP, 2011)

Figura 2: Proceso de instalación para las terminales preformadas en media tensión a 15kV



#### **5.4.2 Proceso de instalación de una terminal preformada**

El proceso para la instalación de un terminal en el extremo de un cable para Media Tensión consiste en:

- a) Retirar una longitud determinada de la chaqueta del cable.
- b) Limpiar y fijar el bloqueo antihumedad en el nuevo extremo de la chaqueta.
- c) Rebatir el apantallamiento del cable o fijación de los elementos para la puesta a tierra del apantallamiento del cable.
- d) Retirar una longitud determinada de la segunda capa semiconductor.
- e) Retirar una longitud determinada del material de aislamiento.
- f) Colocar borna zincada en el extremo final del conductor metálico del cable.
- g) Limpiar el extremo del cable y fijación del elemento para control de esfuerzo.
- h) Colocar sellos antihumedad en el extremo del aislamiento y finalmente colocar el terminal en el extremo del cable.

La mayoría de los fabricantes y proveedores de terminales de cables para Media Tensión distribuyen sus productos en paquetes o kits.

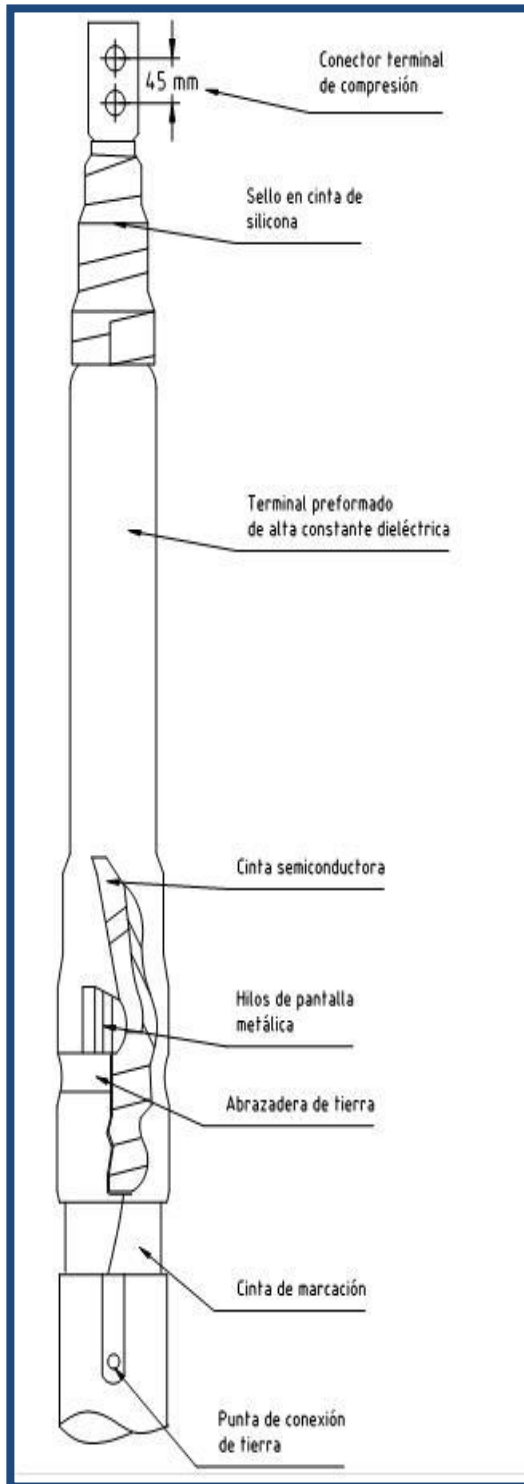
Se recomienda que para la instalación de este tipo de elementos se debe respetar la distancia de fuga establecidas por los estándares internacionales, que comúnmente los fabricantes de terminales presentan en sus manuales de instalación; estos últimos también muestran un procedimiento adecuado para retirar la segunda capa semiconductor y la fijación de los bloqueos contra humedad en los extremos del cable.

La terminal preformada será instalada en el cable monopolar de acuerdo al proceso visto y serán conectados en la parte inferior de los cortacircuitos, como lo muestra la figura 1.

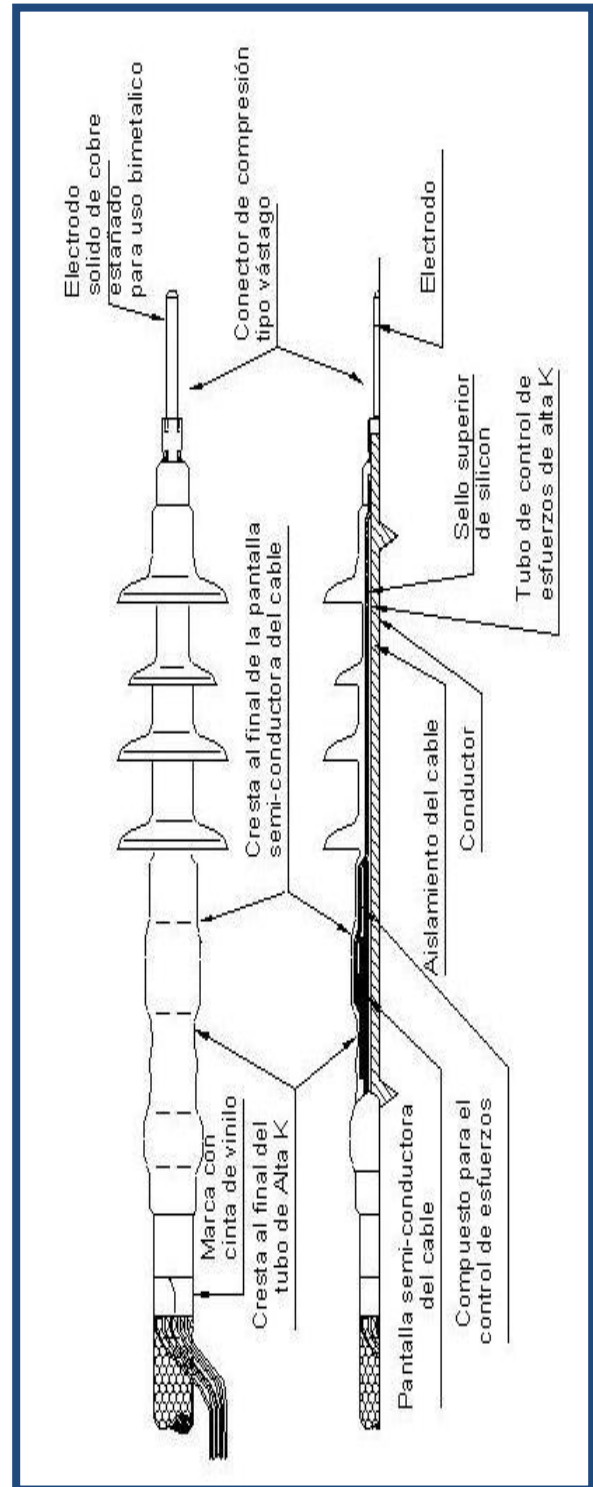
Para distinguir visualmente el tipo de terminales que se emplearan en el interior o el exterior ver la figura 3.

Figura 3: Terminales tipo interior y exterior para cables en media tensión a 15kV

Terminal tipo interior



Terminal tipo exterior



## **5.5 CABLE MONOPOLAR**

La palabra “polo” procede del latín “polus” que, a su vez, viene del griego “pólos”, que significa “eje”. Un polo eléctrico es cada uno de los bornes de un generador de energía eléctrica.

De este concepto nace la costumbre de llamar cables unipolares a los formados por un único conductor, bipolares a los que tienen dos y así sucesivamente.

El cable monopolar, se usa en redes subterráneas de distribución primaria en zonas comerciales o residenciales donde la densidad de carga es muy elevada o por factores estéticos. En plantas industriales y en edificios con subestaciones localizadas en varios niveles para la alimentación y distribución primaria de energía eléctrica.

### **5.5.1 Transición entre redes aéreas y redes subterráneas**

Consiste en el conjunto de dispositivos que se encarga de conectar las redes subterráneas con las redes aéreas. Las estructuras a utilizar deberán ser tales que soporten el peso de los cables y accesorios, además de la tensión mecánica de las líneas aéreas. Para el caso de postes de concreto, estas estructuras generalmente son de retención y vienen acompañadas por templetes de cable de acero para la estabilidad mecánica. Es recomendable instalar DPS o descargadores de sobretensión en la transición, con el fin de proteger el cable de sobretensiones ocasionadas por maniobras o por descargas atmosféricas. (Ver figura 1.)

### **5.5.2 Puesta a tierra de los cables para media tensión**

El proceso de puesta a tierra de un cable para Media Tensión es importante ya que este tiene implicaciones eléctricas que afectan de forma directa el desempeño del mismo y la seguridad de instaladores y usuarios. En los cables para Media Tensión, es una práctica común aterrizar los apantallamientos metálicos del cable en un extremo de la instalación para longitudes cortas y en cada uno de los extremos de los pozos de visita para longitudes largas. En el primer caso se asegura que no hayan corrientes circulantes por la pantalla, pero pueden inducirse tensiones en la misma que pueden afectar al personal de operación o mantenimiento, en el segundo

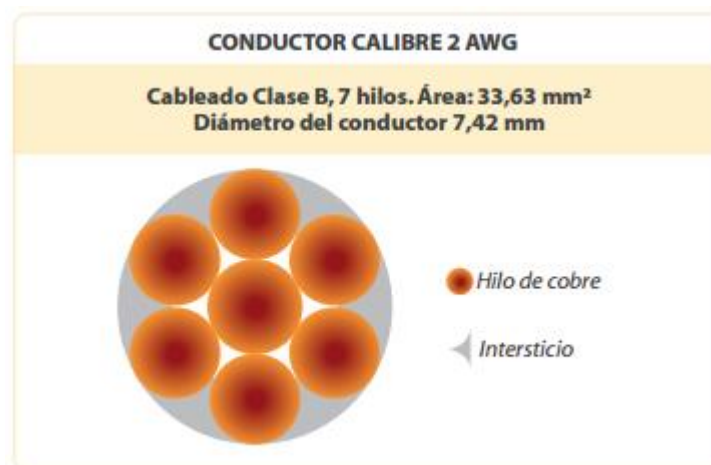
caso se minimiza el efecto de inducción de tensiones en la pantalla, pero se crea la posibilidad de que existan corrientes circulantes por la pantalla, que causan calentamiento del cable y por consiguiente una disminución de la capacidad de corriente del cable. Otra práctica consiste en aterrizar la pantalla en cada uno de las cámaras de inspección (Manholes) por los cuales pasa el cable para Media Tensión, con las mismas características del caso anterior.

### 5.5.3 Conductor

La función de todo conductor en un cable para Media o Alta Tensión o en un conjunto de cables, es la de transportar energía eléctrica. Los materiales usualmente utilizados son el cobre y bajo condiciones especiales de instalación se emplea el aluminio.

El cableado de un conductor consiste en el número de hilos que este debe poseer, según el calibre y los parámetros mecánicos como la flexibilidad. La clase de cableado B es usada como estándar en los cables para Media Tensión, pues presenta unas propiedades adecuadas para estas aplicaciones. La figura 4 muestra la sección transversal de un conductor calibre 2 AWG conformado por 7 hilos (cableado clase B).

*Figura 4: Conductor de siete hilos cableado clase B*



*Imagen tomada de la empresa CENTELSA*

A los espacios libres que quedan entre hilos adyacentes de una misma capa, se le conoce como intersticios del conductor. La forma de la reunión de los hilos siempre es helicoidal; sin embargo, la posición y forma de los hilos durante el proceso de reunión (cableado) puede ser controlada con el fin de reducir la extensión de los intersticios. Las normas de fabricación ASTM y NTC incluyen dos tipos de cableado denominados comprimido y compactado, en los cuales conservando el área de conductor se puede reducir el diámetro final hasta en un 97% y un 93% respectivamente, como se muestra en las figuras 5 y 6.

*Figura 5: Conductor comprimido*



*Figura 6: Conductor compactado*



*Imagen tomada de la empresa CENTELSA*

Para seleccionar el conductor se debe tener en cuenta tanto la capacidad de corriente de operación como de corto circuito, porque asociadas a ellas está la temperatura que alcanzará el conductor en un instante determinado, la cual debe ser soportada por los materiales plásticos que rodean al conductor.

#### **5.5.4 Blindaje del conductor**

Esta capa de material se encuentra en contacto directo con el conductor, está conformado por un material termoestable<sup>1</sup> (generalmente Polietileno con característica semiconductor) que se encarga de recubrir al conductor cableado,

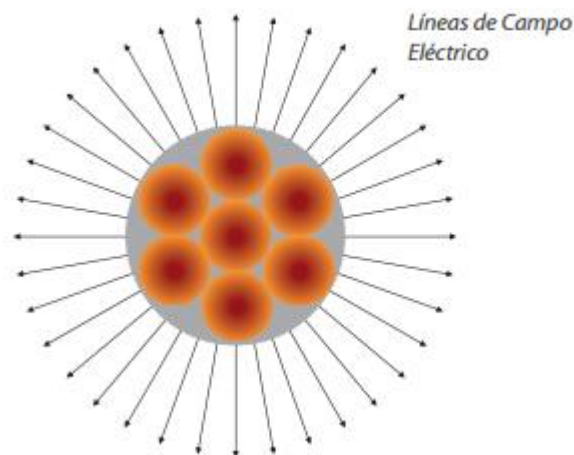
<sup>1</sup> Material termoplástico es aquel que se dilata o se contrae con el aumento y disminución de la temperatura, respectivamente, mientras que un material termoestable no presenta esta característica o la presenta de forma reducida.



penetrando en los intersticios entre los hilos de la capa exterior del conductor para darle una forma circular al mismo. Esta capa de material también es conocida como Primera Capa Semiconductora.

Este primer material semiconductor se encarga de que el campo eléctrico sea radial a partir de su superficie, evitando concentraciones puntuales de campo, obteniéndose así una superficie equipotencial (equilibrio de cargas eléctricas) alrededor de esta primera capa. Si se aplicara el aislamiento directamente sobre el conductor sin el material semiconductor, éste sufriría los efectos del elevado campo eléctrico en los intersticios del conductor, lo cual no es un efecto deseable en el aislamiento, pues disminuiría la capacidad del mismo. La figura 7 muestra la distribución del campo eléctrico para un cable recubierto con el blindaje semiconductor.

*Figura 7: Distribución del campo eléctrico para un cable recubierto con blindaje semiconductor*



*Imagen tomada de la empresa CENTELSA*

### **5.5.5 Aislamiento**

En las líneas para Media Tensión aéreas, el elemento aislante empleado es comúnmente el aire, sin embargo, para estos casos se requiere de una separación entre fases (e incluso el neutro) de acuerdo con las características del sistema. En los cables para Media Tensión los niveles de voltaje y los espacios reducidos que

se manejan hacen necesaria la presencia de un medio aislante que sea capaz de brindar la rigidez necesaria contra las fugas de corriente, fallas entre fases (neutro) del sistema y que pueda confinar el campo eléctrico producido por el conductor al interior de él mismo.

En principio, las propiedades de los aislamientos usados en los cables para Media Tensión cumplen con todos los requisitos para su correcto desempeño. Sin embargo, existen características tanto eléctricas como mecánicas que destacan uno u otro tipo de material.

El Polietileno de cadena cruzada o XLPE (Cross-Linked Polyethylene) es el tipo de material de aislamiento más usado en los cables para Media Tensión.

El Caucho de Etileno Propileno o EPR (Ethylene Propylene Rubber) es usado en menor proporción; ambos son materiales a los cuales se les aplica el proceso de reticulación (vulcanización), por medio del cual se logra que los materiales adquieran características termoestables. La tabla 2 muestra las características más importantes de ambos materiales.

*Tabla 2: Características de materiales de aislamiento para cables de media tensión*

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	XLPE	EPR
Rigidez dieléctrica	kV/mm	25	25
Permitividad Eléctrica		2,1	2,3
Factor de Pérdidas (Tangente Delta)	%	0,1	1,5
Constante de Aislamiento	Mohm-km	6100	6100
Resistencia a la Ionización		Buena	Muy Buena
Resistencia a la Humedad		Muy buena	Excelente
Color		Traslúcido opaco	Rojizo
Temperatura de Operación	°C	90	90
Temperatura Máxima de Sobrecarga*	°C	130	130
Temperatura Máxima en Corto circuito**	°C	250	250
Principales Ventajas		Bajo factor de pérdidas	Flexibilidad

*Imagen tomada de la empresa CENTELSA*



### **5.5.6 Blindaje del aislamiento**

Este blindaje es una capa de material que recubre al aislamiento, y está hecha de Polietileno semiconductor. Su objetivo es permitir el confinamiento homogéneo de las líneas del campo eléctrico al interior del aislamiento; esta es una función complementaria a la de la primera capa semiconductor que recubre al conductor. Esta capa de material también es conocida comúnmente como Segunda Capa Semiconductor. De acuerdo con las prácticas de instalación, este material puede estar firmemente adherido al aislamiento o puede ser de fácil remoción, siendo este último caso el más usado por las empresas distribuidoras de energía.

### **5.5.7 Apantallamiento**

El apantallamiento es un elemento metálico no magnético que se coloca sobre el blindaje del aislamiento con el fin de complementar las funciones de este último y permitir el proceso de puesta a tierra. Por otra parte, cuando se requiere manejar corrientes de neutro, se adiciona área de cobre y entonces la pantalla sirve adicionalmente como conductor de neutro. El elemento metálico está hecho de cobre y puede presentarse en las tres configuraciones siguientes:

#### **5.5.7.1 Pantalla en cinta de cobre**

Consiste en una pantalla de cinta de cobre que se aplica de forma helicoidal sobre el blindaje del aislamiento recubriéndolo en su totalidad (traslapado) o en forma parcial (abierta).

Figura 8: Cable para media tensión con apantallamiento en cinta de cobre

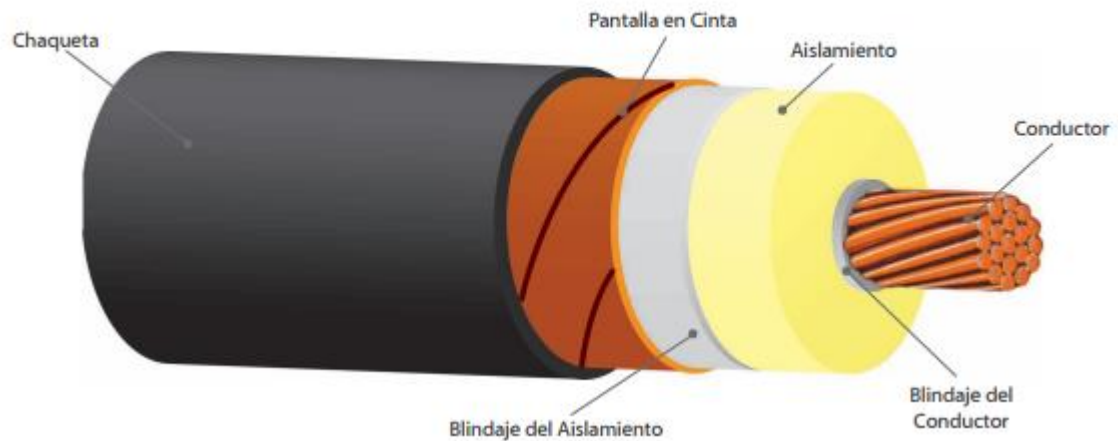


Imagen tomada de la empresa CENTELSA

#### 5.5.7.2 Pantalla en hilos de cobre

La pantalla en hilos de cobre, como su nombre lo indica está conformada por una cantidad de hilos de cobre distribuidos uniformemente sobre el blindaje del aislamiento. Básicamente el conjunto total de hilos debe superar un área mínima requerida por las normas de fabricación. De acuerdo al perímetro del cable aislado dependerá la cantidad de hilos que se colocarán como pantalla.

#### 5.5.7.3 Pantalla neutro concéntrico

Este tipo de pantalla corresponde a un conjunto de hilos de cobre que además de ejecutar la función de blindaje actúan como conductor de neutro en el sistema. De acuerdo a la configuración eléctrica del mismo, se poseen diferentes alternativas para el neutro, uno de los más utilizados en sistemas trifásicos es el Neutro Concéntrico al 33% que significa que los hilos de la pantalla suman un área equivalente a  $1/3$  (un tercio) del área del conductor de fase y que en conjunto con las dos fases restantes del sistema suma un área de neutro equivalente al área de la sección transversal del conductor de fase. Para sistemas monofásicos suele utilizarse el Neutro Concéntrico 100% que significa que los hilos de la pantalla suman un área equivalente al área de la sección transversal del conductor.

Figura 9: Cable para media tensión con apantallamiento en neutro concéntrico

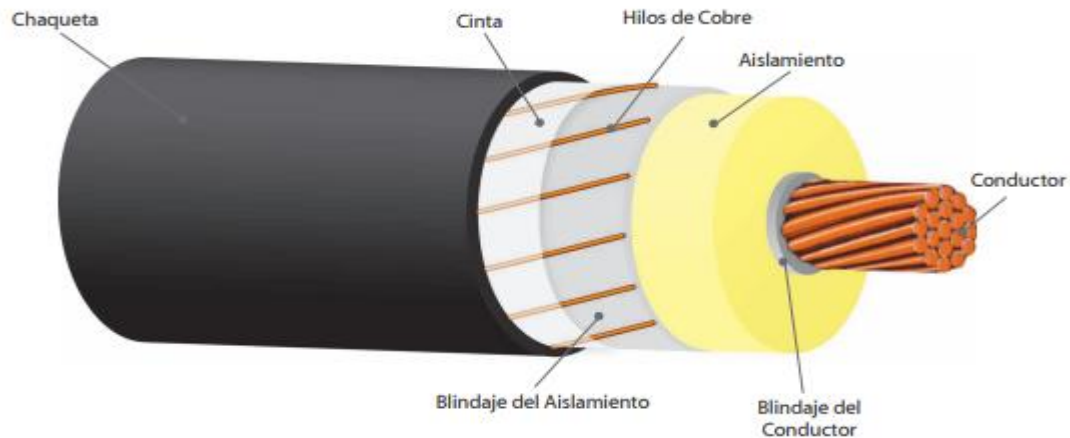


Imagen tomada de la empresa CENTELSA

Es importante tener presente la capacidad de corriente de corto circuito del apantallamiento, de la misma forma en la que se tiene en cuenta la capacidad de corriente de corto circuito para el conductor. Esta capacidad viene dada por el contenido de cobre y los materiales que están en contacto directo con la pantalla. En condiciones de corto circuito la temperatura del material del apantallamiento o de la chaqueta (materiales que eventualmente estarán en contacto con la pantalla metálica) puede crecer rápidamente debido a los niveles de corriente que se alcanzan en la falla y dado que estos materiales tienen una temperatura límite, ésta no debe ser sobrepasada so pena de daños irreversibles en el cable.

### 5.5.8 Chaqueta

La chaqueta es el elemento que recubre el cable y que quedará finalmente expuesto al medio, por tal motivo, el material de la chaqueta debe cumplir con los siguientes aspectos:

#### 5.5.8.1 Resistencia a la humedad

Asociada con la capacidad del material para impedir la penetración de la humedad al interior del cable para Media Tensión.

### 5.5.8.2 Comportamiento frente a la llama

Es importante en aquellas instalaciones donde el cable estará instalado en bandejas o en ambientes de posible conflagración.

### 5.5.8.3 Resistencia a los rayos UV

Es importante en aquellas instalaciones en donde el cable recibirá la radiación solar de forma directa o en intervalos de tiempo extendidos.

### 5.5.8.4 Resistencia al impacto y abrasión

Es importante para aquellos ambientes en los cuales el cable para Media Tensión se expone a posibles impactos, deformaciones o rozamientos inherentes al proceso para el cual prestan servicio. Dependiendo de la instalación puede requerir armaduras o elementos mecánicos de protección.

### 5.5.8.5 Resistencia a los hidrocarburos

Describe el comportamiento del material de la chaqueta frente a la acción de agentes externos como los compuestos derivados del petróleo (gasolina, cetonas, etc.) que pueden estar presentes dependiendo del sitio de instalación.

La tabla 3 presenta el comparativo entre los diferentes materiales empleados en la fabricación de la chaqueta de los cables para Media Tensión:

*Tabla 3: Características de los materiales para chaqueta de cables en media tensión*

PROPIEDADES	PVC	PE
Eléctricas	B	E
Flamabilidad	MB	R
Flexibilidad	E	B
Bloqueo Humedad	B	E
Resistencia al Agua	MB	E
Resistencia a la Abrasión	MB	MB
Resistencia a los Hidrocarburos	MB	MB

E: Excelente MB: Muy Bueno B: Bueno R: Regular D: Deficiente

*Imagen tomada de la empresa CENTELSA*

### **5.5.9 Nivel de aislamiento del cable en media tensión**

Los niveles de aislamiento pueden ser del 100%, 133% ó 173%, cada nivel se utiliza dependiendo de la protección asociada al circuito para el cual el cable está prestando el servicio.

#### **5.5.9.1 Aislamiento al 100%**

Cuando el cable para Media Tensión está conectado a un circuito provisto de un relé de protección contra fallas a tierra que despeje el evento tan rápido como sea posible (pero que no supere un minuto de duración), se puede utilizar un cable para Media Tensión con nivel de aislamiento del 100%.

#### **5.5.9.2 Aislamiento al 133%**

El nivel del 133% se utiliza para sistemas conocidos formalmente como sistemas no aterrizados, se utiliza cuando el tiempo para despeje de fallas no encaja para un aislamiento del 100% y el tiempo de despeje de la falla no excede una hora de duración.

#### **5.5.9.3 Aislamiento al 173%**

El nivel de aislamiento del 173% es para los demás sistemas con condiciones de exigencias más críticas que el nivel de 133%.

Las normas ICEA establecen explícitamente los espesores de aislamiento para los niveles de 100% y 133% y dejan a discreción del fabricante los valores para el nivel de 173%.

Para una tensión de operación dada, el nivel de aislamiento se ve reflejado en el espesor nominal del aislamiento.

Tabla 4: Espesores de aislamiento para los diferentes voltajes y niveles de aislamiento

Tensión de Diseño [kV]	Calibre Mínimo [AWG ó Kcmil]	NIVEL DE AISLAMIENTO		
		100 %, Norma ICEA	133 %, Norma ICEA	173 %, Valores Usados por CENTELSA
		mm	mm	mm
5	8	2,29	2,92	4,45
8	6	2,92	3,56	5,59
15	2	4,45	5,59	8,13
25	1	6,60	8,13	11,3
35	1/0	8,76	10,70	16,51
46	4/0	11,30	14,73	19,60

Imagen tomada de la empresa CENTELSA

### 5.5.10 Instalación de cables para media tensión

La implementación de prácticas adecuadas de instalación sugeridas por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, Artículo 326, 310 entre otros permite un desempeño óptimo de las instalaciones de cables para Media Tensión. A continuación, se muestran algunos de los aspectos más importantes que se deben tener presentes para una correcta instalación.

#### 5.5.10.1 Radios de curvatura

Es el máximo doblado que se le puede dar a un cable garantizando que las propiedades eléctricas y mecánicas de sus componentes no se alteren, es decir sin producir daños en el cable.

Figura 10: Radio de curvatura para cables en media tensión



Imagen tomada de la empresa CENTELSA

La norma ICEA S-93-639 en su apéndice I, indica que el radio de curvatura mínimo para los cables para Media Tensión (sin armaduras) en instalación no debe ser inferior a 12 veces el diámetro exterior del mismo.

#### 5.5.10.2 Tensión de jalado

Es importante tener presente que para el proceso de instalación de los cables para Media Tensión existe una fuerza máxima con la cual pueden ser jalados sin producir esfuerzos peligrosos en el conductor que lo pueden deformar (alargamiento y desprendimiento del conductor con el aislamiento, o desplazamiento de los elementos de la cubierta) y sin comprometer el desempeño del cable en la instalación.

Se puede jalar un cable para Media Tensión mediante un perno de tracción colocado en el conductor del cable; para ello es necesario tener presente que el esfuerzo máximo para el jalado que puede experimentar el conductor de cobre o de aluminio es de 7,0 y 5,3 kg /mm<sup>2</sup> respectivamente; por lo tanto, la tensión o fuerza máxima de jalado se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_{MAX} = A \cdot \sigma$$

**Donde:**

- A:** Es el área transversal del conductor metálico del cable para Media Tensión.
- $\sigma$ :** Es el esfuerzo máximo que puede soportar el material del conductor sin llegar a cambiar sus propiedades físicas. Para cobre y cobre estañado es de 7,0 kg/mm<sup>2</sup>, y 5,3 kg/mm<sup>2</sup> para el aluminio.[mm]

También se puede jalar el cable para Media Tensión por medio de mallas de acero o ganchos de tiro que se aferran a la cubierta exterior del cable. Se recomienda que para estos casos la tensión máxima en kg no exceda en más de 0,7 la sección transversal del material de la cubierta en mm<sup>2</sup> y en ningún caso deberá ser superior a 450 kg.

Para el cálculo de la tensión máxima de jalado deben también considerarse aspectos como la longitud del ducto, el peso del cable, el ángulo de la curvatura, el radio de la curvatura y las tensiones a la entrada y a la salida de la curva.

### 5.5.10.3 Presión lateral

Es el esfuerzo transversal que experimenta el cable en una curva cuando éste está bajo tensión. Es importante tenerlo presente ya que la presión lateral excesiva puede causar fisuras o aplastamientos en el cable, de modo que este parámetro es también restrictivo en el proceso de instalación. La presión lateral en un conductor depende tanto del radio de curvatura del ducto como de la tensión a la cual está sometido el conductor. Como su nombre lo indica, la presión lateral es un esfuerzo de carácter transversal que experimenta el conductor debido a la componente normal de la tensión del mismo. La figura 11 muestra el diagrama de los esfuerzos mencionados.

*Figura 11: Radio de curvatura para cables en media tensión*

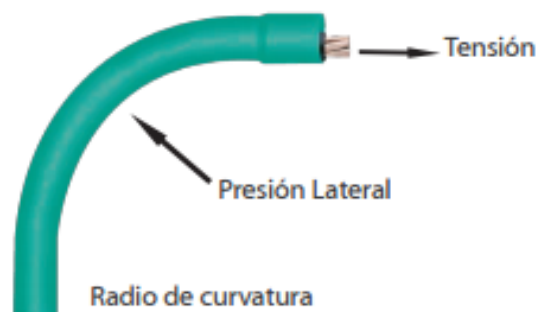


Imagen tomada de la empresa CENTELSA



La presión lateral es directamente proporcional a la tensión del conductor, pero inversamente proporcional al radio de curvatura del ducto. La siguiente ecuación resume la forma de cálculo de la presión lateral: La máxima presión lateral que se recomienda para sus cables para Media Tensión es de 744 kg/m. (CENTELSA, 2008)

$$P_L = \frac{T}{R}$$

**Donde:**

**$P_L$ :** Presión lateral en el conductor.

**$T$ :** Tensión longitudinal a la que está sometido el conductor.

**$R$ :** Radio de la curva

### 5.5.11 Código de colores para cables

Con el objeto de evitar accidentes por errónea interpretación del nivel de tensión<sup>2</sup> y tipo de sistema utilizado, se debe cumplir el código de colores para conductores aislados de potencia, establecido en la Tablas 5 según corresponda. Se tomará como válido para determinar este requisito el color propio del acabado exterior del conductor o una marcación clara en las partes visibles, con pintura, con cinta o rótulos adhesivos del color respectivo. Este requisito igualmente aplica a conductores desnudos, que actúen como barrajes en instalaciones interiores y no para los conductores utilizados en instalaciones a la intemperie diferentes a la acometida. (RETIE, Código de colores para conductores, 2013)

---

<sup>2</sup> En el sistema de distribución de EPM, normalmente las redes de distribución son en disposición Y con neutro aterrizado.

*Tabla 5: Código de colores para conductores en c.a.*

Sistema c.a.	1 $\Phi$	1 $\Phi$	3 $\Phi$ Y	3 $\Phi$ $\Delta$	3 $\Phi$ $\Delta$ -	3 $\Phi$ Y	3 $\Phi$ Y	3 $\Phi$ $\Delta$	3 $\Phi$ $\Delta$	3 $\Phi$ Y
Tensión nominal (voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/277	480 - 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
Conductor activo	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
Fase	Color fase o negro	Color fases o 1 Negro	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo Violeta Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o Gris	No aplica	No aplica	No Aplica
Tierra de protección	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No Aplica
Tierra aislada	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica

## 5.6 CANALIZACIONES DE REDES EN MEDIA TENSIÓN

Las redes de distribución subterráneas son construidas en aquellas zonas en las cuales las autoridades administrativas de los municipios servidos por EPM, por decisión propia, o el urbanizador decidan que son preferibles para preservar de contaminación visual el medio ambiente o donde técnicamente por razones de distancias de seguridad no sea factible construir redes aéreas.

Es muy importante tener presente que generalmente se apela a éste recurso para preservar parques, plazas principales, sitios o monumentos de interés nacional y determinadas zonas que se verían comprometidas estéticamente con el empleo de redes aéreas y, aunque no haya una reglamentación escrita en la mayoría de municipios, la autoridad vigente tiene las facultades para exigir su cumplimiento cuando lo considere conveniente.

La infraestructura civil para las redes eléctricas subterráneas comprende los siguientes aspectos: canalizaciones, cámaras, cárcamos, cajas y tapas.

Para efectuar cualquier trabajo de este tipo es indispensable previamente gestionar ante las entidades municipales los permisos necesarios y cumplir con los decretos y plan de ordenamiento territorial vigentes.

### **5.6.1 Material de los ductos**

Solamente se admiten ductos en tubería de uso eléctrico tipo PVC DB (Norma NTC 1630), TDP (Norma NTC 3363).

Para el empleo de estos ductos debe cumplirse con las normas técnicas dadas por los fabricantes DB, TDP o similares. Deben estar en perfecto estado a simple vista, no presentar perforaciones, fisuras, desintegración en escamas, deformaciones en el sentido del eje del ducto (curvatura), deformaciones en el sentido diametral del ducto (disminución del diámetro), líneas de falla de color claro o blancuzco, signos de mal trato, etc.

### **5.6.2 Dimensión del ducto para redes en media tensión**

El diámetro de la tubería recomendado a emplear será mínimo de 4" para redes de media tensión, pero dependerá en todos los casos del número de cables por ducto y su calibre.

El área libre del ducto no será inferior en ningún caso al 60% del área total útil.

### **5.6.3 Características de la zanja**

Una vez excavada, compactada y nivelada la zanja se procederá a la construcción de una base en arena de un espesor mínimo de 0.05 m, con el fin de asentar los ductos en toda su longitud. Luego de construida la base, se procede a la instalación de los ductos.

Si la zanja se efectúa con equipo mecánico (retroexcavadora), los últimos 0.20 m. de excavación se ejecutarán manualmente con pica y pala. Si al efectuar la zanja se encuentra en su fondo material de mala calidad (con contenido de materia orgánica, arcillas expansivas, etc.), se debe extraer y llenar con cascajo de cantera que tendrá un grado de compactación que cumpla con las especificaciones que se incluyen más adelante.

La máxima sobre excavación por suelo malo será de 0.40 m. y al finalizarla se debe compactar el fondo y proceder con el lleno citado hasta obtener la profundidad de

norma. Una vez ensamblado el banco de ductos, se instala dentro de la zanja cuidando de cumplir con una separación entre ductos no menor de 0.05 m. Una vez instalados los ductos, las zanjas serán rellenas y compactadas acorde con su situación (calzada, andén, zona verde).

#### 5.6.4 Profundidad de las canalizaciones para redes en media tensión

Las profundidades mínimas de los ductos serán acordes con lo establecido en el artículo 25.7.2 conductores subterráneos de la resolución 90708, RETIE, agosto 30 de 2013.

*Tabla 6: Profundidades mínimas de enterramiento para redes de distribución*

Tensión Fase- Fase (V)	Profundidad Ducto (m)	Profundidad conductor enterramiento directo (m)
Alumbrado Público	0,50	0,50
0 a 600	0,60	0,60
601 a 34500	0,75	0,95
34501 a 57500	1,00	1,20

#### 5.6.5 Condiciones para canalizaciones de redes en media tensión:

- a) La profundidad de enterramiento de ductos para redes de distribución subterráneas, tomada desde la superficie superior del suelo terminado hasta la parte superior del conductor o del ducto, no debe ser menor a los valores de la Tabla 6. Excepción: cuando existan conflictos con otras instalaciones subterráneas existentes en áreas peatonales para menos de 150 V pueden ser enterradas a una profundidad no menor a 0,45 m.
- b) Debe mantenerse una distancia útil mínima de 0,20 m entre el borde externo del conductor y cualquier otro servicio (gas, agua, calefacción, vapor, aire comprimido, entre otros). Si ésta distancia no puede ser mantenida, se deben separar en forma efectiva las instalaciones a través de una hilera cerrada de ladrillos u otros materiales dieléctricos resistentes al fuego y al arco eléctrico, de por lo menos 5 cm de espesor.
- c) Las canalizaciones subterráneas en base a ductos, deben tener cámaras de inspección o de paso, se deben instalar en tramos rectos a distancias no

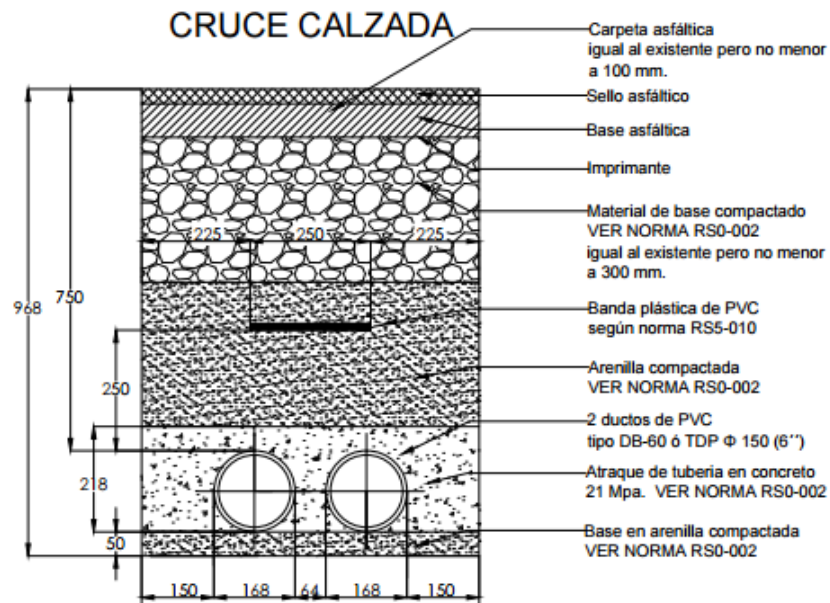
mayores a 80 m, salvo cuando existan causas debidamente justificadas en cálculos de tensión de halado que exijan una distancia diferente (por ejemplo, cruce de grandes avenidas), en cuyo caso debe quedar asentado en la memoria o especificación técnica del proyecto.

- d) Las uniones entre conductores deben asegurar la máxima hermeticidad posible y no deben alterar su sección transversal interna. Cuando se utilicen ductos metálicos, estos deben ser galvanizados en caliente y estar conectados eléctricamente a tierra.
- e) En sistemas con tensión superior a 380 V, adicional a los colores, debe fijarse en las cajas de inspección, una leyenda con el aviso del nivel de tensión respectivo.
- f) A una distancia entre 20 y 30 cm por encima del cable deben instalarse cintas de identificación o señalización no degradables en un tiempo menor a la vida útil del cable enterrado. Ver figura 11.
- g) Los ductos se colocarán, con pendiente mínima del 0,1% hacia las cámaras de inspección, en una zanja de profundidad suficiente que permita el recubrimiento de relleno sobre el ducto.
- h) Los cables subterráneos instalados debajo de construcciones deben estar alojados en un ducto que salga como mínimo 0,30 m del perímetro de la construcción.
- i) Cuando la canalización efectúe cruce sobre vías vehiculares, se deberá atracar el ducto en concreto con una resistencia no menor a 21 Mpa., (Ver figura 11) y con un espesor sobre el ducto no menor a 0.10 m. para tensiones menores o iguales a 34500 V. Para tensiones superiores a 34500 V. la profundidad mínima exigida será de 1.00 m. la cual no será necesario atracar en concreto.
- j) Las canalizaciones en cruces de vía, en lo posible, y salvo casos muy excepcionales y debidamente documentados y justificados, deberá ser perpendicular al eje de la vía, buscando con ello que el ducto invada lo menos posible la calzada, para evitar inconvenientes futuros con otro tipo de canalizaciones (acueducto, saneamiento, telecomunicaciones.)
- k) En la llegada de los ductos a las cámaras de registro serán empleados adaptadores terminales tipo campana, cuando no pueda hacerlo coincidentalmente en la campana natural de fábrica que posee el ducto o hacer

un emboquillado de aproximadamente 0.05 m. de profundidad y 45 grados de inclinación a la llegada del ducto o banco de ductos.

- l) En la llegada de los ductos a las cámaras de registro serán empleados adaptadores terminales tipo campana, cuando no pueda hacerlo coincidentalmente en la campana natural de fábrica que posee el ducto o hacer un emboquillado de aproximadamente 0.05 m. de profundidad y 45 grados de inclinación a la llegada del ducto o banco de ductos.
- m) Al ducto no se le debe aplicar una curvatura superior a la permitida por la condición natural del material, es decir, no se le debe generar esfuerzos mecánicos indebidos o generarle la curvatura por medios artificiales tales como el calentamiento del tubo.
- n) No deben existir curvas, horizontales o verticales, en los ductos entre una cámara y otra, conservando así el radio de curvatura adecuado.
- o) En las cajas de inspección, no podrán cruzar redes de telecomunicaciones, acueducto, alcantarillado, redes contra incendio u otras diferentes a las de energía.

*Figura 12: Canalizaciones para redes en media tensión a 13.2kV*



*Imagen tomada de la norma RS1-005 de EPM*

### 5.6.6 Caja para acometida de redes en media tensión a 13.2kV

Esta estructura será una caja rectangular y tendrá unas dimensiones constructivas de 1.365 m. de largo x 0.96 de ancho, y 1.575 m. de profundidad, su área de operación útil será de 0.66 m. x 1.065 m., su configuración constructiva estará determinada por bloques de concreto con dimensiones estipuladas de 0.40 m. x 0.20 m. x 0.15 m. alzados verticalmente utilizando un mortero de pega con una relación 1:4, serán dispuestos en forma trabada, en cada una de sus celdas se insertaran y amarraran varillas de acero de ½" desde la viga de cimentación hasta la viga superior o de coronación, dicha viga de amarre estará determinada por 4 varillas de ½" dispuestas en forma cuadrada con estribos de 3/8" cada 0.20m, con una sección de 0.35m de ancho x 0.20m. de alto. A su vez la viga de coronación tendrá un refuerzo estipulado de 2 varillas de ½" con estribos en forma de ese de 3/8" cada 0.20m. Se proveerá a la caja en el fondo de la misma de una capa de material granular filtrante con un espesor aproximado de 0.10 m., la tapa de la caja será rectangular con 0.60 m. de ancho x 0.80m. de largo, se usarán 2 de ellas para el detalle constructivo de la caja se debe consultar la norma RS3-005 y para el detalle constructivo de la tapa se debe consultar la norma RS4-001.

Figura 13: Caja para acometida en media tensión a 13.2kV

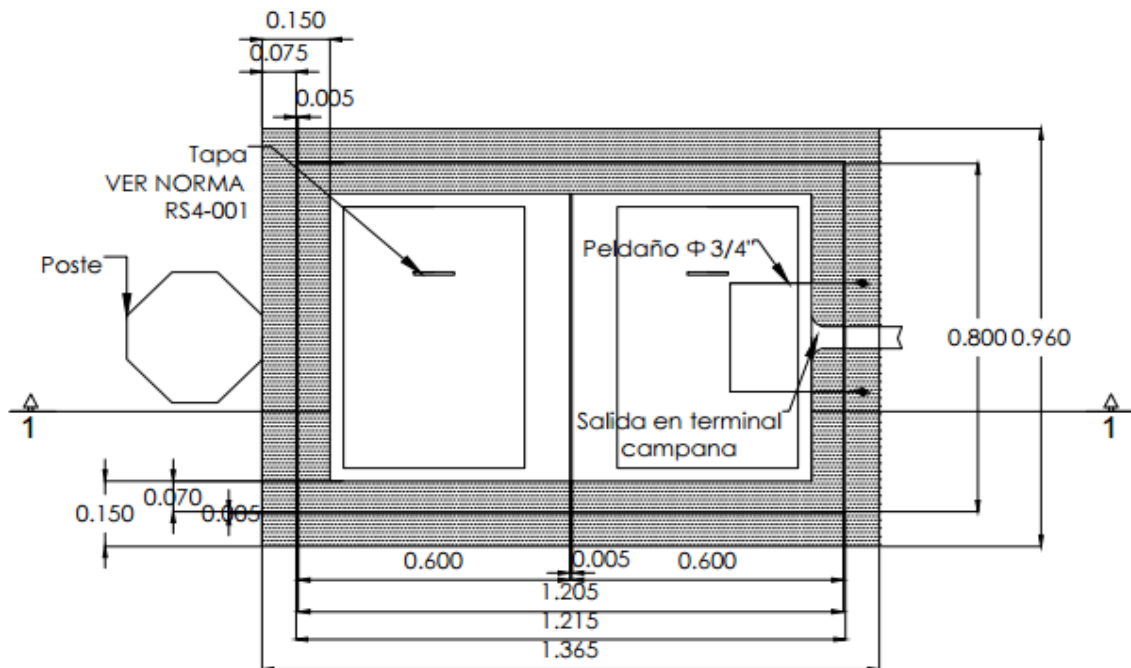


Imagen tomada de la norma RS3-005 de EPM

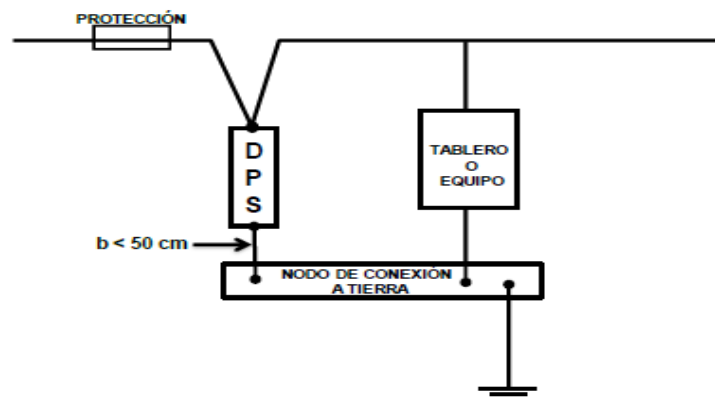
## 5.7 SUBESTACIÓN A 13.2KV

Una subestación eléctrica es un conjunto de equipos utilizados para transferir el flujo de energía en un sistema de potencia, garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección y para redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas durante contingencias.

### 5.7.1 Aspectos generales de las subestaciones a 13.2kV

1. El proceso de transformación se entenderá como el aplicado a las subestaciones, para ello, se debe hacer distinción entre los diferentes tipos de subestaciones por su uso o por su nivel de tensión y potencia que manejen.
2. Las subestaciones deben cumplir con las condiciones de acceso, espacio de trabajo, distancias de seguridad, iluminación, ventilación y altura mínima y demás especificaciones establecidas en la NTC 2050 y EL RETIE.
3. Todos los transformadores ubicados al interior de las edificaciones deben contar con un dispositivo de protección contra sobrecorriente en el lado primario y que permita la apertura simultanea de todas sus fases, además deberá tener instalado un juego de DPS en la transición de la acometida, se debe tener presente que la distancia entre los bornes del equipo a proteger debe ser lo más corta posible, de tal manera que la inductancia sea mínima. (50cm)

*Figura 14: Montaje típico de los DPS en los equipos a proteger*



*Imagen tomada del RETIE*



4. Podrán tenerse múltiples subestaciones cuando se requieran instalar varios transformadores para diferentes centros de carga en la misma instalación. Cuando se derive un alimentador desde una subestación a otra subestación localizada en un local o nivel diferente, se deberá contar con un dispositivo de protección contra sobre corriente ubicado en la derivación principal.
5. En los locales de subestación ubicados en el interior de una edificación se preferirán los transformadores tipo seco. Por el ruido debido a su funcionamiento, se recomienda que su instalación no sea contigua a sitios de habitación, oficinas y en general locales con ocupación permanente de personas.
6. Cuando se usen transformadores refrigerados en aceite, las bóvedas, las aberturas de ventilación, los accesos, los cerramientos, el foso y los buitrones que comuniquen con la subestación deberán diseñarse de tal forma que se evite la propagación del fuego en caso de un eventual incendio.
7. Los transformadores refrigerados en aceite no deben ser instalados en niveles o pisos que estén por encima o contiguos a sitios de habitación, oficinas y en general lugares destinados a ocupación permanente de personas, que puedan ser objeto de incendio o daño por el derrame del aceite refrigerante.
8. La planta de emergencia deberá estar ubicada en un cuarto diferente al local de la subestación. Por seguridad, ambos accesos deben ser independientes, es decir, el acceso o salida de la planta no debe hacerse a través de la subestación o viceversa, o a través de oficinas o cuartos destinados para otros usos. El acceso debe permitir la fácil entrada y salida de personas o equipos.
9. El local de la subestación deberá ser de uso exclusivo para la ubicación de los equipos eléctricos y no deberá ser empleado como cuarto de aseo, almacenamiento o depósito de materiales.
10. En las bóvedas para transformadores no deben entrar ni atravesar sistemas de tuberías o ductos ajenos a la instalación eléctrica. No se consideran ajenos a la instalación eléctrica las tuberías u otros aparatos para la protección única y exclusiva de la bóveda contra incendios o para la ventilación de los transformadores.

11. Las subestaciones no deben quedar ubicadas en sótanos sin acceso vehicular, pisos elevados, terrazas, o en general, en lugares donde no sea posible el ingreso de montacargas o máquinas de alce.
12. En el local de la subestación donde se aloje el transformador o equipos de media tensión no deberán ubicarse equipos de comunicaciones, televisión o teléfono.
13. Toda subestación debe contar con las protecciones de sobrecorriente. En los circuitos protegidos por fusibles la capacidad máxima de los fusibles debe ser la establecida por un estudio de coordinación de protecciones y debe garantizar la adecuada protección del transformador y la desenergización del circuito en el evento que se requiera. Para lo cual el Operador de Red establecerá una tabla con los valores para estos fines y exigirá su cumplimiento.

### **5.7.2 Dimensiones de la subestación**

En el local de la subestación debe existir y se debe mantener un área suficiente para la colocación de los equipos, el acceso y el espacio de trabajo para la segura manipulación y el mantenimiento de los mismos.

En las subestaciones interiores todos los equipos eléctricos serán resguardados por medio de celdas debidamente conectadas a tierra.

### **5.7.3 Espacios de trabajo para subestación**

Alrededor de todos los equipos eléctricos debe existir y se debe mantener un espacio de acceso y de trabajo suficiente que permita el funcionamiento, el mantenimiento fácil y seguro de dichos equipos.

### **5.7.4 Casos para espacios de trabajo**

Las dimensiones del espacio de trabajo en la dirección del acceso a las partes vivas que deban ser operadas o puedan necesitar inspección, ajuste, cambio o mantenimiento, no serán menores que las indicadas en la tabla 7. Las distancias

deben medirse desde las partes vivas, si están descubiertas, o desde el frente de la cubierta o abertura de acceso, cuando estén cerradas.

*Tabla 7: Espacios de trabajo*

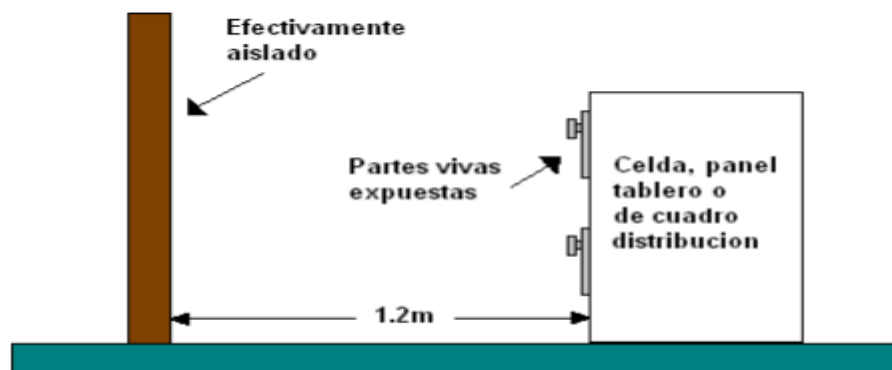
Tensión nominal a tierra (Voltios)	Distancia mínima (metros) según la condición		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
0-150	0,90	0,90	0,90
151-600	0,90	1,10	1,20
601-2500	0,90	1,20	1,50
2501-9000	1,20	1,50	1,80
9001-25000	1,50	1,80	2,70
25001-75000	1,80	2,40	3,00
Más de 75000	2,40	3,00	3,70

*Imagen tomada de la norma RA8-014 de EPM*

#### 5.7.4.1 Caso 1

Partes energizadas expuestas en un lado del espacio de trabajo y partes sin energizar o puestas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo; o partes energizadas expuestas a ambos lados que son efectivamente separadas por madera u otros materiales aislantes adecuados. No se consideran partes energizadas los cables o barras aislados que funcionen a menos de 300 V. (Ver figura 15).

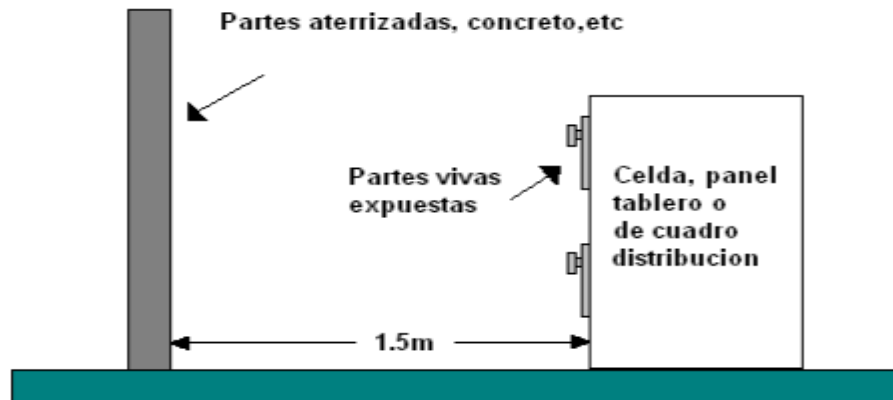
*Figura 15: 1.2m para tensión entre (2501 – 9000) V*



### 5.7.4.2 Caso 2

Partes energizadas expuestas a un lado del espacio de trabajo y puestas a tierra en el otro lado. Materiales como concreto y ladrillo deben ser considerados como puestos a tierra. (Ver figura 16).

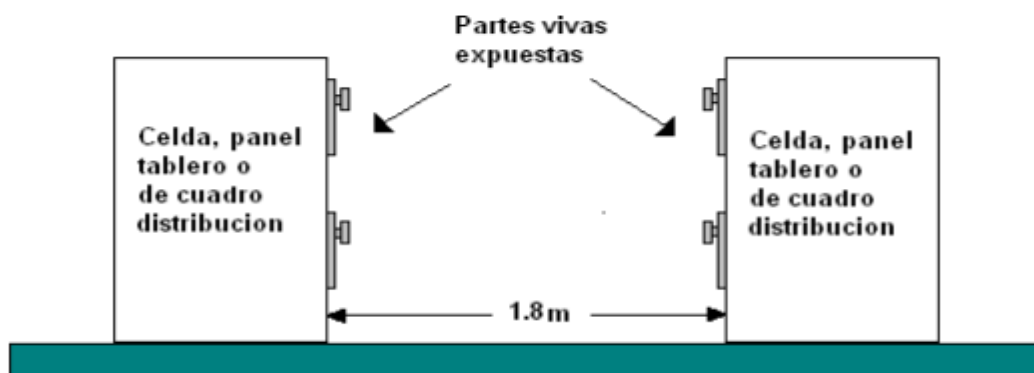
Figura 16: 1.5m para tensión entre (2501 – 9000) V



### 5.7.4.3 Caso 3

Partes energizadas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo (no protegidas como está previsto en el caso 1, con el operador entre ambas). (Ver figura 17).

Figura 17: 1.8m para tensión entre (2501 – 9000) V



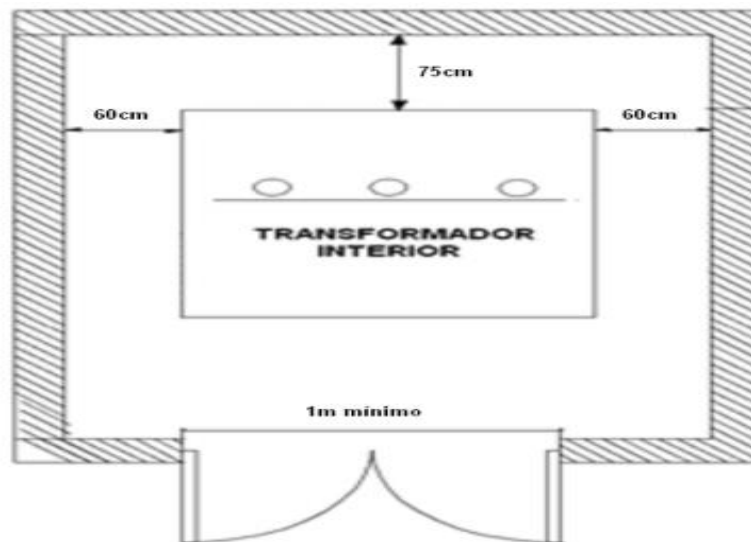
#### 5.7.4.4 Excepción

No se requiere espacio de trabajo en la parte posterior de conjuntos como cuadros de distribución de frente muerto o centros de control de motores en los que no haya partes intercambiables o ajustables como fusibles o interruptores en su parte posterior y donde todas las conexiones sean accesibles desde lugares que no sean la parte posterior.

Cuando se requiera acceso para trabajar en partes no energizadas de la parte posterior del equipo encerrado, debe existir una distancia mínima de trabajo de 0,75 m medidos horizontalmente.

Los espacios mínimos a las paredes laterales del local deberán ser de 60cm para un transformador tipo interior. Ver figura 18.

*Figura 18: Espacios mínimos para subestación interior*

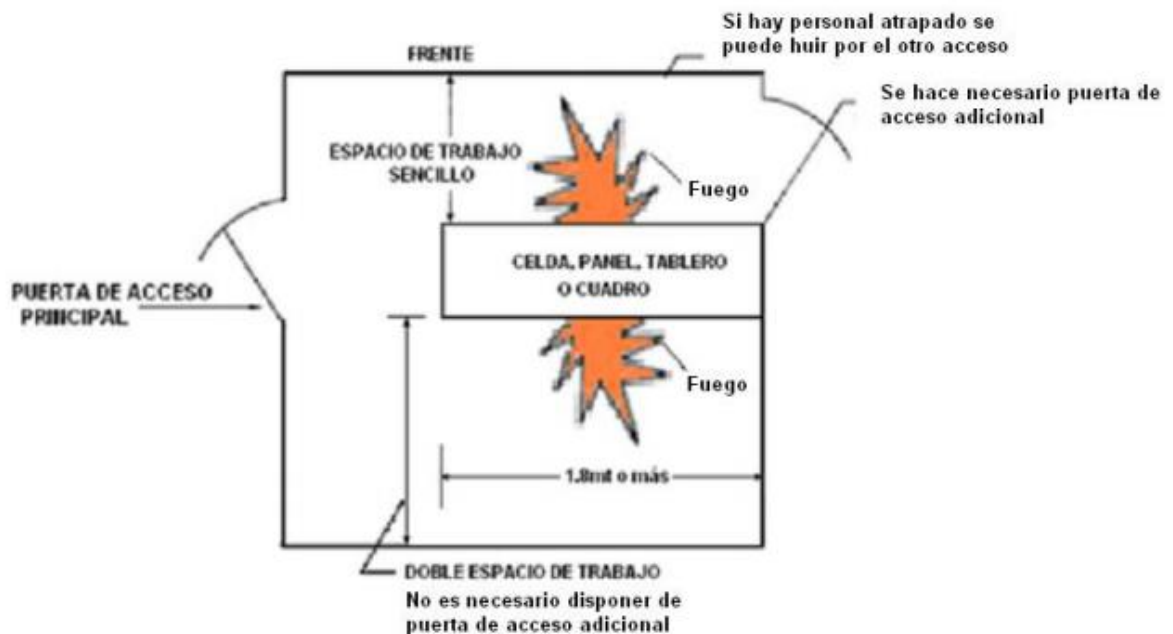


#### 5.7.5 Accesos para subestación

1. Toda subestación debe tener por lo menos una entrada de ancho no menor a 1 m, y de altura no menor de 1.90 m para proporcionar acceso al espacio de trabajo alrededor del equipo eléctrico. (Norma NTC 2050, sección 110-33, numeral a).

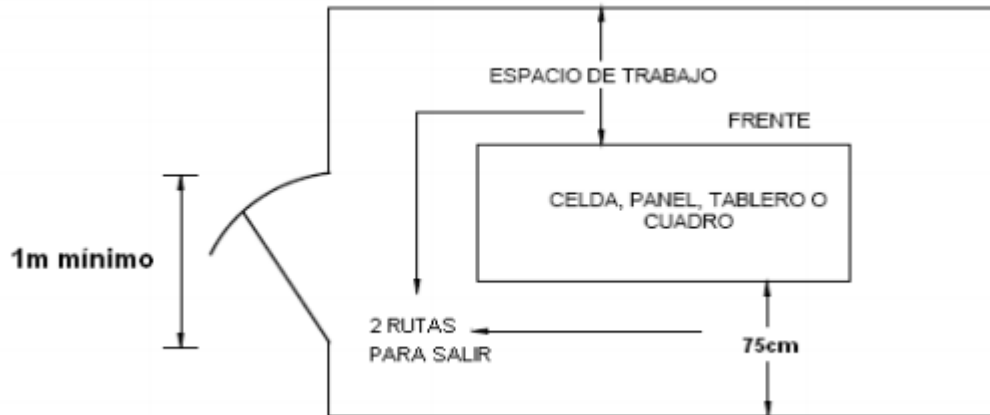
2. En el diseño de los accesos a la subestación se tendrán en cuenta las dimensiones del mayor de los equipos a albergar, de tal forma que no se presenten dificultades en la entrada o eventual retiro del mismo.
3. Si en el local de la subestación, existen equipos como celdas, tableros, paneles o gabinetes con más de 1.80 m de ancho, o si al colocarlos juntos se obtiene un ancho mayor a éste, se deberá contar con una entrada a cada extremo que permita una vía de salida continua y sin obstrucciones o que el espacio de trabajo sea el doble al requerido en la tabla 7.

*Figura 19: Caso donde se hace necesario otra puerta de acceso o evacuación*



4. Cuando la disposición del equipo eléctrico en la subestación permita tener dos direcciones de acceso al espacio de trabajo o cuando este espacio sea el doble del indicado en la tabla 7, sólo se requerirá una entrada en uno de los extremos de la subestación. Ver figura 20.

Figura 20: Caso donde solo es necesario una puerta de acceso o evacuación



5. Las puertas de acceso deberán abrir hacia afuera de la subestación, no hacia el interior de otros cuartos, vías de tránsito vehicular o zonas de parqueo de vehículos. En el acceso se deben instalar barreras que impidan el parqueo de vehículos. Por seguridad no se permitirán puertas de tipo corredizo.
6. Las puertas tendrán una cerradura que haga necesario el uso de llaves para abrirlas desde el exterior. Desde adentro no se requerirá llave y deben permitir una fácil salida, por ningún motivo se usarán candados o aldabas.
7. Las puertas deben contar con una cerradura que les permitan abrirse desde el interior por simple presión (cerradura antipánico) y con un dispositivo o placa de presión que las mantengan normalmente cerradas, permitiendo el cierre de la puerta al ajustarse sin necesidad de usar llave para cerrarlas.
8. Las subestaciones se localizarán preferiblemente en un sitio donde sea posible el acceso vehicular (llegada de montacargas) hasta su puerta de acceso. En ningún caso la ruta de entrada y salida de equipos será a lo largo de escalas, terrazas o pisos elevados o espacios que impidan el arrastre o el uso de instrumentos de alce.
9. Los transformadores refrigerados en aceite se deben instalar en una bóveda independiente, es decir, sin otros equipos diferentes al especificado. Los vanos de las puertas contiguas a dicha bóveda, que conduzcan al interior de la edificación, deberán estar dotados con una puerta de cierre hermético con una resistencia mínima al fuego de 3 h y de una cerradura antipánico.

10. Todas las aberturas de ventilación que den al interior de la edificación, deben estar dotadas de compuertas de cierre automático que funcionen en respuesta a cualquier incendio que se produzca en el interior de la bóveda. Dichas compuertas deben tener una resistencia al fuego no menor a 1,5 h. (ventanas tipo Damper).

### 5.7.6 Materiales de construcción para subestaciones

1. Las paredes y techos de las bóvedas para transformadores deben estar hechos de materiales con resistencia estructural adecuada a las condiciones de uso y con una resistencia mínima al fuego de tres horas. Los pisos de las bóvedas que estén en contacto con la tierra deben ser de hormigón y de un espesor mínimo de 0,10m, pero si la bóveda está construida teniendo por debajo un espacio vacío u otras plantas (pisos) del edificio, el piso debe tener una resistencia estructural adecuada para soportar la carga impuesta sobre él y debe tener una resistencia mínima al fuego de tres horas. A efectos de ésta norma no son aceptables las bóvedas con listones y paneles en las paredes.
2. La norma colombiana de diseño y construcción sismo resistente, en el numeral J.2.8.1.1 establece los requisitos generales que deben cumplir las edificaciones para prevenir la propagación del fuego interior. La siguiente tabla resume el espesor mínimo para los muros cortafuegos.

*Tabla 8: Espesor mínimo para muros cortafuegos*

Altura libre del muro	Espesor mínimo (m)	
	Ladrillo macizo	Concreto Macizo
Hasta 4.0m	0.25	0.07
Mas de 4.0m	0.40	0.15

3. Los transformadores tipo seco instalados en interiores y de 112,5 kVA nominales o menos, deben instalarse con una separación mínima de 0,30 m de cualquier material combustible. (Ver Norma NTC 2050, sección 450-21 numeral a).



Excepciones:

- a) Cuando estén separados del material combustible por una barrera resistente al fuego y aislante del calor.
  - b) Los transformadores de 600 V nominales o menos completamente encerrados, con o sin aberturas de ventilación.
4. Los transformadores individuales de tipo seco con más de 112,5 kVA nominales, se deben instalar en una celda para transformadores o bóveda de construcción con resistencia al fuego mínima de una hora (Ver Norma NTC 2050, sección 450-21 numeral b).

Excepciones:

- a) Los transformadores con un aumento nominal de la temperatura de funcionamiento de 80 °C o más que estén separados del material combustible por una barrera resistente al fuego y aislante del calor colocada a no menos de 1,80 m horizontalmente y de 3,60 m verticalmente.
  - b) Los transformadores con un aumento nominal de la temperatura de funcionamiento de 80°C en adelante, completamente encerrados, pero con aberturas de ventilación.
5. Los transformadores aislados con aceite para uso en interiores, se deben instalar en una bóveda construida como se indica en la Parte C de la sección 450 de la NTC 2050.
6. Excepciones:
- a) Cuando la capacidad total no supere los 112,5 kVA, se permite que la bóveda especificada en la Parte C de la sección 450 de la NTC 2050, esté hecha de concreto reforzado de no menos de 100 mm de espesor.
  - b) Cuando la tensión nominal no supere los 600 V, no es necesaria bóveda de transformadores si se toman las medidas suficientes para evitar que el aceite del transformador queme otros materiales y si la capacidad total de una instalación no supera los 10 kVA en una parte de un edificio clasificada como combustible, o los 75 kVA si la estructura que rodea al transformador está clasificada como resistente al fuego.

7. Se permite que los transformadores de hornos eléctricos de una potencia total que no supere los 75 kVA se instalen sin bóveda en un edificio o cuarto resistente al fuego, siempre que se tomen las medidas necesarias para evitar que el fuego del aceite de un transformador se propague a otros materiales combustibles.
8. Se permite instalar los transformadores en una edificación independiente que no cumpla lo establecido en la Parte C de la sección 450 de la NTC 2050, si la edificación ni su contenido ofrecen riesgo de incendio a otros edificios o instalaciones y si la edificación se utiliza únicamente para suministrar el servicio electricidad y su interior es accesible solo a personas calificadas.
9. Se permite utilizar transformadores con aislamiento de aceite sin bóveda de transformadores, en equipos portátiles y móviles de minería en superficie, como excavadoras eléctricas, si se cumplen todas las condiciones siguientes:
  - a) Existen medidas para drenar las fugas de líquido.
  - b) Existe un medio de salida seguro para el personal.
  - c) Se dispone una barrera de acero con 6,35 mm de espesor, como mínimo, para la protección de las personas.
10. Las paredes y techos de las bóvedas para transformadores con aislamiento de aceite deben estar hechos de materiales con resistencia estructural adecuada a las condiciones de uso y con una resistencia mínima al fuego de 3 h, de acuerdo con la norma ASTM E 119-75.

#### **5.7.7 Iluminación del espacio de trabajo en subestaciones**

1. Todos los espacios de trabajo alrededor del equipo eléctrico deben ser iluminados con un nivel mínimo de 100 lux. Ver figura 6.
2. Las salidas de iluminación estarán ubicadas de tal manera que las personas que realizan las labores de mantenimiento no estén en peligro debido a partes vivas expuestas.
3. El control de iluminación deberá estar al interior del local, contiguo a la puerta de acceso y estará ubicado de tal forma que no presente peligro en su operación.

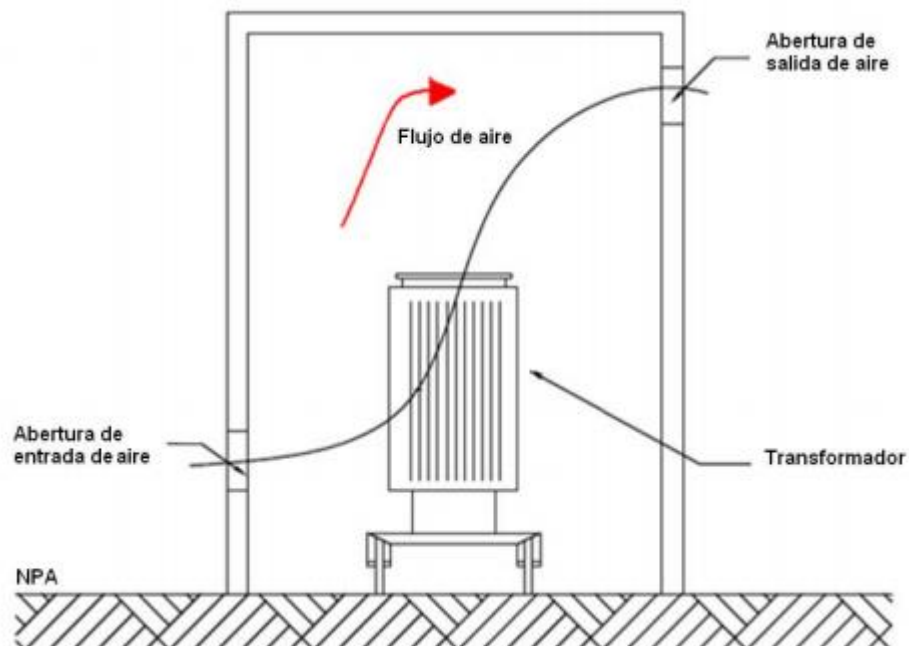
4. Los locales de subestación de media tensión deberán proveerse de alumbrado de emergencia, con baterías y cargador. Los alumbrados de emergencia equipados con grupos de baterías deben garantizar su funcionamiento por lo menos 60 minutos después de que se interrumpa el servicio eléctrico normal.

#### **5.7.8 Ventilación de subestaciones**

1. El equipo eléctrico que dependa de la circulación natural del aire y de la convección (circulación de fluidos) para la ventilación de sus superficies expuestas, se debe instalar de modo que no se impida la circulación del aire sobre dichas superficies por medio de paredes o equipos instalados a sus costados. (Norma NTC 2050, sección 110-13, numeral b)
2. Para los equipos destinados para montaje en el suelo, se deben dejar las distancias entre las superficies superiores y las adyacentes para que se disipe el aire caliente que circula hacia arriba. El equipo eléctrico dotado de aberturas de ventilación se debe instalar de modo que las paredes u otros obstáculos no impidan la libre circulación del aire a través del equipo.
3. Las bóvedas para transformadores refrigerados en aceite, se deben ubicar en lugares donde puedan ser ventiladas por medio del aire exterior sin el empleo de canales o conductos.
4. Para la ventilación de las bóvedas de los transformadores se requerirán aberturas de ventilación de dimensiones y disposición especiales.
  - a) Disposición. Se permite que una bóveda ventilada por circulación natural de aire tenga aproximadamente la mitad del área total de las aberturas de ventilación necesarias en una o más aberturas cerca del piso y la restante en una o más aberturas en la parte superior de las paredes, cerca del techo, o que toda la superficie de ventilación necesaria esté en una o más aberturas a la altura del techo o cerca de él.
  - b) Tamaño. En una bóveda ventilada por circulación natural del aire procedente del exterior, el área neta total de todas las aberturas de ventilación, restando el área ocupada por persianas, rejillas o pantallas, no debe ser menor a 1936 mm<sup>2</sup> por kVA de los transformadores en servicio.

- c) Cubiertas. Las aberturas de ventilación deben estar cubiertas por rejillas, persianas, o pantallas duraderas para evitar que se produzcan situaciones inseguras.
- d) Compuertas (Dámper). Todas las aberturas de ventilación que den al interior deben estar dotadas de compuertas de cierre automático que funcionen en respuesta a cualquier incendio que se produzca en el interior de la bóveda. Dichas compuertas deben tener una resistencia al fuego no menor a 1,5 h.
- e) Ductos. Los ductos de ventilación deben ser de material resistente al fuego.

*Figura 21: Ubicación de las aberturas de entrada y salida de aire en la bóveda del transformador*



- 5. El aire que circule a través de los transformadores de tipo seco deberá ser limpio, libre de polvo, basuras o elementos corrosivos. En los casos en que se presenten niveles de polución altos, el aire deberá ser filtrado. En los espacios restringidos o sin fácil acceso al aire exterior, se deberán disponer de ventiladores apropiados para garantizar que las pérdidas a plena carga del transformador sean disipadas en forma adecuada.

6. Se permite la implementación de sistemas de ventilación forzada desde una fuente de aire limpio y medidas de seguridad eficaces contra las posibles fallas de la ventilación.
7. Las aberturas de ventilación de las celdas o gabinetes, se ubicarán lo más lejos posible de puertas, ventanas y de las salidas del sistema contra incendio. Sus rejillas serán resistentes al vandalismo y no permitirán la penetración de basuras, agua, animales u otros objetos extraños que puedan ponerse en contacto con las partes vivas del equipo.
8. En áreas clasificadas se debe disponer de una ventilación adecuada para cada una de las clases y divisiones que se puedan presentar en la instalación de acuerdo a lo establecido en la norma NTC 2050, sección 500. En lugares peligrosos (clasificados), es conveniente limitar la ventilación para reducir el riesgo de explosión debido a la presencia de fibras o partículas combustibles en los equipos eléctricos.

#### **5.7.9 Drenaje de la subestación:**

1. En los locales que alojen transformadores refrigerados en aceite se deberá construir un drenaje u otro medio adecuado para evacuar cualquier acumulación de aceite o agua. Cuando las condiciones locales lo permitan, se deberá adecuar el piso con una inclinación hacia el drenaje.
2. El foso o medio de contención del aceite deberá diseñarse y construirse de tal forma que tenga la capacidad para contener como mínimo un volumen de aceite equivalente al 100% del volumen total del aceite del transformador a instalar. La dimensión del área libre interna del foso debe ser como mínimo de la misma que ocupa el transformador armado completo, incluyendo todos sus accesorios (radiadores, tanque conservador, etc.).
3. Sobre el foso de aceite deberá colocarse una rejilla metálica y sobre ésta, una capa de triturado con una profundidad mínima de 10cm por debajo del nivel de piso acabado de la subestación.

### **5.7.10 Marcación y señalización**

En la entrada al local de subestación deberá colocarse un aviso con la siguiente leyenda: “Prohibido el acceso de Personal NO calificado y no autorizado”, que prohíba el acceso a personal no calificado. Se usará una placa de acuerdo a lo establecido en el RETIE, artículo 6.

Cuando se trate de subestaciones de media tensión, se colocará además un aviso de pictograma por riesgo eléctrico. Se usará una placa de acuerdo a lo establecido en el RETIE, artículo 6.

En un lugar visible del recinto de subestación y adecuadamente protegidos contra deterioro, se debe colocar una copia de los planos eléctricos para consulta del personal autorizado.

### **5.7.11 Seguridad contra incendios**

1. Para subestaciones de media tensión se dispondrá de extinguidores del mismo tipo, con una capacidad mínima de 15 lb. El número mínimo de extintores deberá ser el suficiente para que el recorrido desde cualquier punto en el local de la subestación hasta un extintor no supere los 10 m.
2. Los extintores de incendio deben estar colocados visiblemente donde estén fácilmente accesibles y a disposición inmediata en caso de incendio. Deben estar colocados a lo largo de la ruta de evacuación, preferiblemente al exterior de la subestación. Para la selección del extintor se recomienda consultar la norma NTC 2885.
3. Las partes de equipos eléctricos que en funcionamiento normal producen chispas, arcos, llamas o metal fundido, estarán encerradas o separadas y aisladas de cualquier material combustible.

## **5.8 CELDAS DE MEDIA TENSIÓN**

Se denominan celdas a las estructuras metálicas o no metálicas que cumplen con condiciones mecánicas y de seguridad, construidos generalmente de manera auto soportada y destinados a encerrar equipos en media tensión como equipos de medida, interruptores, seccionadores, transformadores, cables, entre otros elementos que hacen parte de las instalaciones eléctricas.

### **5.8.1 Aspectos generales de las celdas**

1. Los tableros y celdas deberán estar protegidos contra el ingreso de cuerpos solidos o partículas de polvo y líquidos de acuerdo al lugar de operación y al personal que tendrá contacto directo con este elemento.
2. Los tableros y celdas de medida instalados en subestaciones o cuartos técnicos deberán contar al menos con un grado de protección IP igual a 4X o su equivalente NEMA, es decir, protegido contra cuerpos solidos de diámetro o espesor superior a 1mm. En todos los casos, el fabricante y el instalador deben garantizar que el grado de protección IP sea el adecuado para el sitio de instalación.
3. Las celdas de medida indirecta deberán estar alojadas en el interior de un cuarto técnico. No se permite este tipo de celdas a la intemperie, a excepción de los proyectos para provisionales de obra, o los que por su condición de operación, deban reubicarse permanentemente y en periodos inferiores a un año, tales como lo pozos de exploración, túneles, entre otros.
4. Las celdas se deben anclar al piso sobre un pedestal de altura no inferior a 50 mm y sujetarse a las paredes (si se requiere), con las fijaciones adecuadas para garantizar su firmeza, cumpliendo con las alturas mínimas dispuestas para visores, e interruptores.
5. Las puertas de las celdas donde se alojen los transformadores de medida en media tensión, deberán proveerse con ventanas de inspección de 5 mm de espesor y dimensión 200 x 400 mm, fijado con un empaque de caucho. En celdas de medida en media tensión, tendrán además una ventana mínimo de

150 x 150 mm., para acceder a los elementos de iluminación interna de la celda. La ventana de inspección podrá ser fabricada en policarbonato o vidrio templado.

6. Si al retirar los paneles laterales, posteriores (fondo) y superiores de las celdas quedan partes vivas expuestas o algún elemento que compone el equipo de medida queda accesible, estos paneles deberán estar fijados o sellados desde el interior de la celda, y los mismos no podrán ser asegurados con tornillos u otro tipo de elementos que puedan ser retirados externamente. Esta disposición también aplica para las celdas que existan antes de la medida
7. Deben fabricarse en lámina de Acero Colled Rolled, calibre N° 16 como mínimo, con estructura formada por perfiles en lámina o perfiles en ángulo de acero. Se aceptarán tras formas de construcción siempre y cuando se garantice una buena rigidez mecánica.
8. Deben impedir el acercamiento a partes vivas (tener frente muerto). Aplica para tableros de protección y maniobra siempre y cuando sus partes vivas no tengan enclavamientos cuando hay apertura de la puerta de acceso. No se exigirá una barrera adicional en el interior de las celdas y tableros cuando haya enclavamiento en la puerta de acceso a la misma.
9. En caso de contar con reservas para cerramientos futuros, se deben dejar los elementos mecánicos y eléctricos necesarios, de manera que se puedan llevar a cabo los empalmes de los tableros en lo que corresponde a la estructura y a la capacidad de corriente de los barrajes.
10. En el interior de las celdas de media tensión se deberán disponer de elementos para el amarre y fijación de los cables.

## **5.8.2 Requisitos para las celdas de medida en media tensión**

### **5.8.2.1 Transformadores de medida**

1. Los transformadores de medida se deben ubicar en un compartimento independiente del medidor. Los bordes de perforación para pasar los cables de señal deben tener empaque de caucho con el fin de evitar deterioros en los mismos.



2. Los transformadores de corriente y de potencial en media tensión deberán tener un sistema de fijación adecuado. En todo caso, los mismos deberán estar soportados en una base construida ya sea con platinas de espesor mínimo 5mm y de 50mm de ancho o que posea refuerzos con este tipo de estructura.
3. Los transformadores de medida, los medidores y sus equipos de protección se deben ubicar en un mismo tablero.
4. Los transformadores de medida deben ser instalados con el espacio adecuado para su correcta operación, revisión y mantenimiento; no deben quedar en contacto o presionados entre sí y se deben localizar de manera tal, que sea de fácil lectura el rótulo de identificación, además que deberá garantizarse el fácil acceso a la bornera de conexiones. En ningún caso se aceptarán transformadores que estén realizando esfuerzos mecánicos al barraje o sueltos.
5. Los transformadores de corriente y de potencial que sean utilizados para fines distintos a la medida, deben ir en un compartimento independiente.

#### **5.8.2.2 Conexiones y cableado**

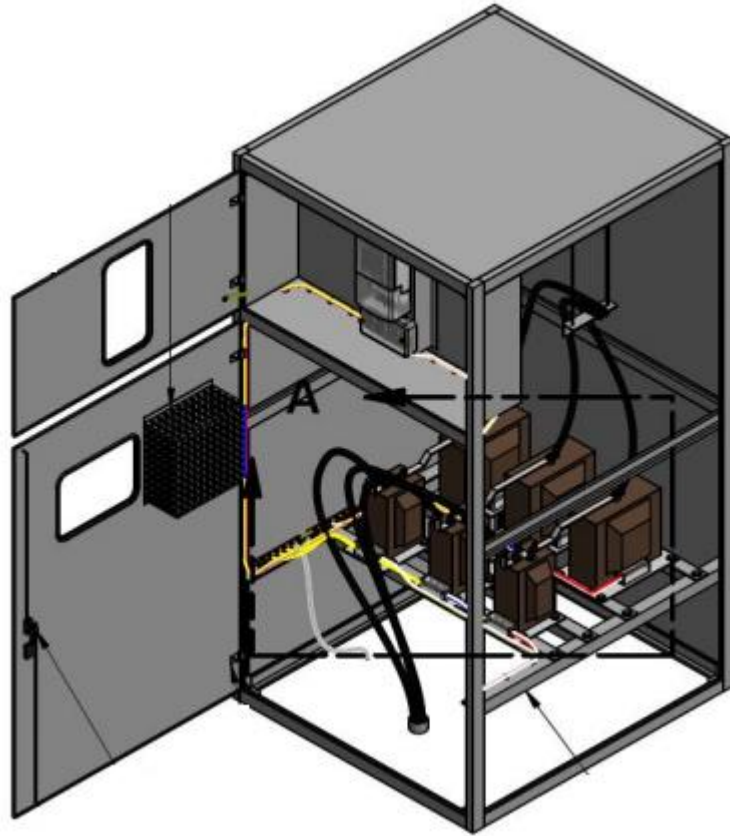
1. Los conductores que sirven de conexión entre el secundario del transformador de corriente y el medidor de energía serán mínimo en calibre N° 10 AWG Cu.
2. Los conductores que sirven de conexión entre el secundario del transformador de tensión y el medidor de energía será mínimo en calibre N° 12 AWG Cu. Para el caso de medida en baja tensión, estos conductores deberán ser conectados al barraje principal, en el mismo compartimento donde se instalen los transformadores de corriente.
3. El cableado de los transformadores de medida deberá respetar el código de colores establecido en la tabla 6.5 del RETIE. Adicionalmente, se deben marcar los extremos de cada uno de los conductores mediante sistemas de identificación de cableado, según los diagramas de conexión descritos.

4. El cableado de los transformadores de medida en celda deberá ser visibles en todo su recorrido, así que estos no podrán ser alojados dentro de ningún tipo de ducto, buscando facilitar la inspección de dichos conductores.
5. Para facilitar la revisión de las conexiones en la medida indirecta, los conductores que sirven de conexión entre el secundario de los transformadores de tensión y el medidor de energía, deberán agruparse e instalarse en una trayectoria diferente a la de los conductores que sirven de conexión entre el secundario de los transformadores de corriente y dicho medidor.
6. El cableado de los transformadores de medida deberá contar con terminales del tipo pin o tubular, del largo suficiente para permitir la conexión a los dos tornillos que poseen tanto la bornera del medidor como la bornera para separar o intercalar un equipo de medición de control, buscando garantizar una mejor conexión.
7. El cableado de los transformadores de medida deberá asegurarse directamente a la estructura de la celda por medio de correas plásticas y no será permitido el uso de soportes con adhesivos, debido a que estos no garantizan un contacto adecuado, y al soltarse, podrían generar acercamientos de estos conductores a partes vivas en media tensión
8. En medida indirecta, para garantizar el registro del consumo propio de los transformadores de potencial, estos deberán quedar instalados después de los transformadores de corriente (“Aguas Abajo”)

### **5.8.2.3 Bornera y medidor**

1. Para tableros de medida semi-directa e indirecta se deberá incluir una bornera que permita separar o intercalar un equipo de medición de control de forma individual con la instalación en servicio. La bornera deberá cumplir con los requisitos establecidos en las normas UL 105 de 2001 (Terminal Blocks) y la norma CSA 22.2 N° 158 de 1987 (R1992) (Terminal Blocks).
2. La bornera para separar o intercalar un equipo de medición de control de forma individual, deberá instalarse horizontalmente, de tal forma que las aldabas de las señales de tensión queden cerrando hacia arriba.

*Figura 22: Celda de medida en media tensión con tres elementos*



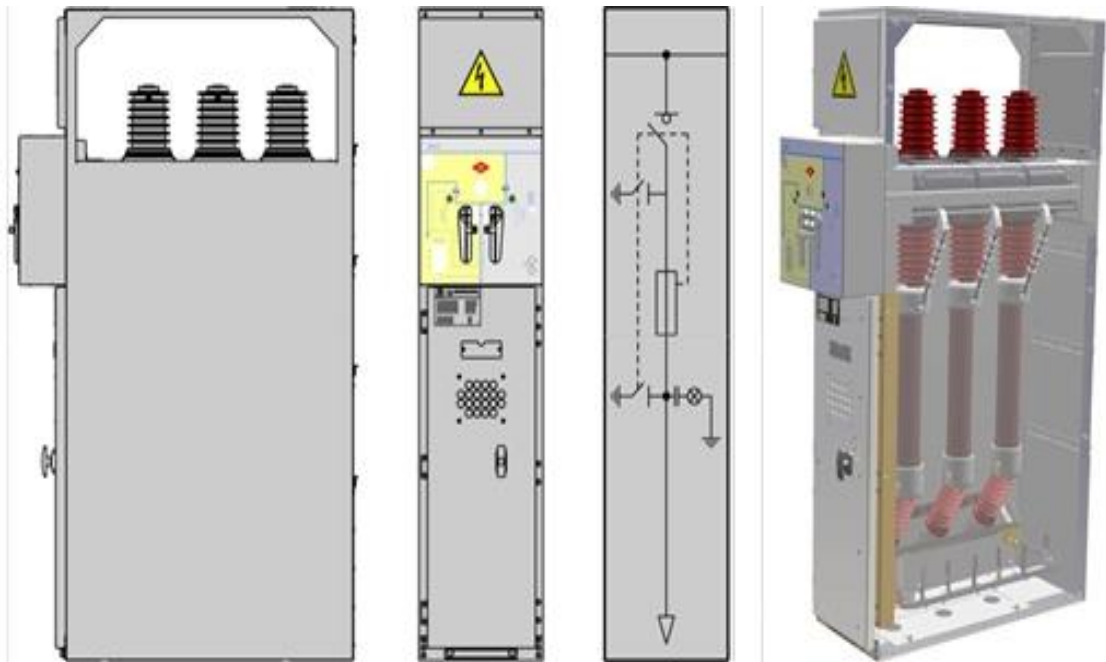
*Imagen tomada de la norma RA8-012 de EPM*

### **5.8.3 Requisitos para las celdas del seccionador y transformador**

1. Las celdas se construirán con una altura comprendida entre 2.0 a 2.40 metros.
2. Las celdas deberán tener aberturas para ventilación y cumplir con los criterios de prevención por arco eléctrico, y lo establecido tanto en el RETIE como en la sección 450-45 de la norma NTC 2050.
3. Las celdas para transformadores, interruptores, seccionadores u otros equipos, deben incluir abrazaderas u otro tipo de soporte para los conductores que ingresen en el interior de ellas. Si el ancho de la puerta de la celda es mayor de 1.20, debe construirse con dos alas.

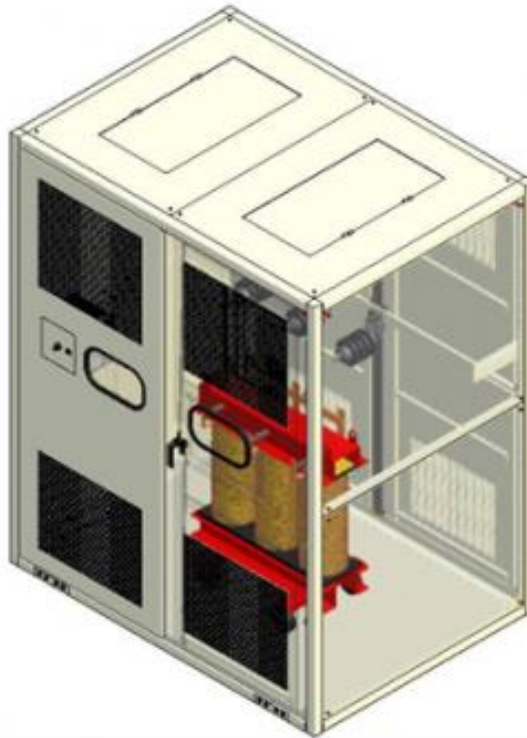
4. Cuando las puertas de las celdas para transformadores tengan ventanas de inspección, éstas deberán ser de vidrio de seguridad templado laminado fijo de mínimo 5mm y dimensiones 200x 400mm, que permita la inspección visual del equipo dentro de la celda.
5. La rejilla debe llevar en la parte posterior, (interna de la celda), un vidrio de seguridad de mínimo 5 mm de espesor, el cual será fijado en la parte interior de la puerta por medio de dos pisa vidrios que no permitan la manipulación del vidrio, ni la salida de gases por el frente de la celda en caso de explosión, fijado con empaque de caucho de forma tal que no pueda ser retirado por la parte exterior. La ventana de inspección también podrá ser fabricada en policarbonato.
6. Tendrán una ventana mínima de 150mm x 150mm, para acceder a los elementos de iluminación interna del gabinete.

*Figura 23: Celda con seccionador*



*Imagen tomada de ingeniería triple E*

*Figura 24: Celda con transformador seco*



*Imagen tomada de la empresa DEMCO*

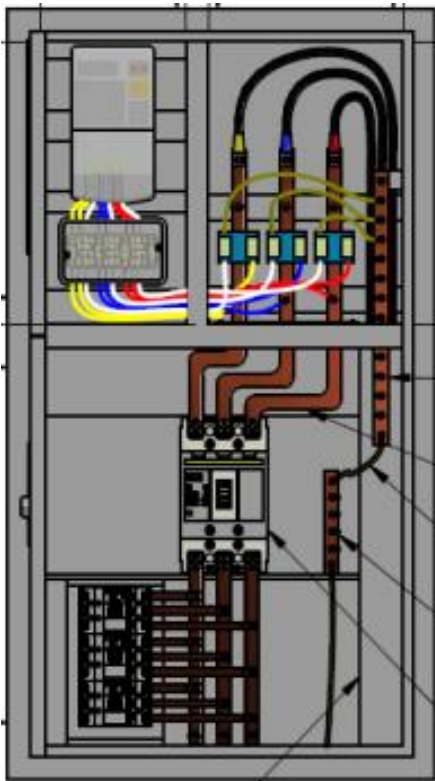
## **5.9 TABLEROS PARA MEDIDA SEMIDIRECTA Y DIRECTA**

1. Los tableros para medida semi-directa pueden ser empotrados o autoportados y las celdas para medida indirecta solo se permiten autoportados.
2. Los tableros de medida semi-directa para zonas comunes, RCI y locales de centros comerciales pueden instalarse en el interior o exterior de la edificación, siempre que cumplan con los grados de protección respectivos, además de la correcta ubicación de la protección y la medida.
3. Los tableros de medida semi-directa individuales para bodegas y locales que no pertenezcan a un centro comercial, deberán ser instalados única y exclusivamente en el exterior de la edificación, preferiblemente en la fachada del inmueble.

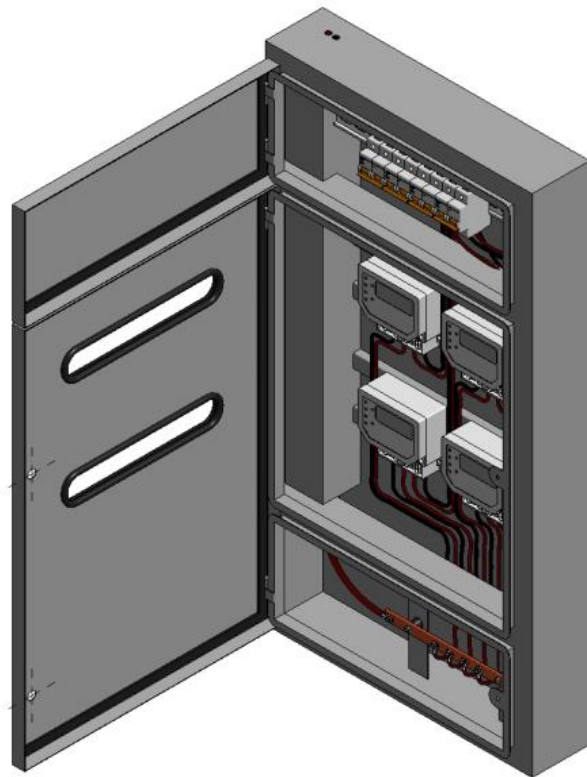
4. No debe ubicarse en zonas de circulación vehicular, sobre las rutas de evacuación general del edificio debidamente identificadas o zonas privadas (celdas de parqueo, útiles etc.). Esto con el fin de evitar restricciones de acceso o circulación.
5. En la ubicación de los tableros, se deberá garantizar un espacio suficiente para que la apertura de todas las puertas de los gabinetes sea mínima de 90.
6. Los tableros no deberán ser instalados en el ascenso de escalas. Podrán ser instalados debajo de estas o en los descansos siempre y cuando se cumplan los requisitos mínimos de altura y espacios de trabajo establecidos en la norma RA8-014 y que no se trate de unas escalas exclusivas de emergencia.
7. Los tableros instalados en lugares donde puedan estar sometidos a salpicaduras de agua debido a labores de limpieza o condiciones ambientales deben ser fabricados a prueba de intemperie.
8. Los tableros de medidores que estén sometidos a niveles de cortocircuito superiores a 20kA, deberán ser instalados en cuartos técnicos.
9. Los tableros se deben anclar al piso sobre un pedestal de altura no inferior a 50 mm y sujetarse a las paredes (si se requiere), con las fijaciones adecuadas para garantizar su firmeza, cumpliendo con las alturas mínimas dispuestas para visores, e interruptores.
10. Los tableros para intemperie se deben construir con cortagoteras (Ver figura 22) para evitar la entrada de agua y con empaques adecuados sobre todo el perfil donde cierra la puerta o la tapa para darle hermeticidad.
11. Los tableros no se deben instalar sobre o debajo de tuberías que transporten líquidos o gases, con excepción de los rociadores o tuberías de las redes contraincendios que sirvan de protección única y exclusivamente al tablero o elementos aledaños a éste elemento.
12. Los tableros instalados al exterior de la edificación que no puedan empotrarse totalmente, deberán ser contruidos con muros laterales y un techo en desnivel para protección contra la intemperie. Los muros deben permitir una fácil instalación y/o retiro del armario

13. Los tableros de medida semidirecta, deberán cumplir con los requisitos que le apliquen de transformadores de medida, cableados, borneras y medidores del artículo anterior.

*Figura 25: Medida semidirecta*



*Figura 26: Medida directa*



*Imágenes tomadas de la norma RA8-012 de EPM*

## 5.10 TIPOS DE EQUIPOS DE MEDIDA

### 5.10.1 Equipo para medida directa

En este tipo de medida, los equipos se conectan directamente a la tensión y a la corriente del servicio eléctrico, sin la necesidad de requerir Transformadores de Corriente (TCs) o Transformadores de Tensión (TPs).

### **5.10.2 Equipo para medida semi-directa**

Para la medición semi-directa de energía se utiliza el (los) medidor(es) de energía (activa y/o reactiva) y un TC por cada fase que alimenta la carga. En el medidor de semi-directa las señales de corriente se toman de los secundarios de un transformador de corriente y las de tensión corresponden a la tensión nominal de alimentación de la instalación.

En este tipo de medición, la conexión de las señales de corriente provenientes de los devanados secundarios de los TCs y de las señales de tensión provenientes de la acometida al medidor, debe realizarse mediante una bornera o bloque de pruebas.

El calibre para las señales de tensión deberá calcularse con base en el nivel de cortocircuito del sitio y en los casos de niveles de cortocircuito superiores a 10kA, se deberá colocar una marcación (adhesivo) en el compartimiento del medidor, al lado de la bornera de pruebas, que indique “Nivel de cortocircuito elevado, tomar las medidas de seguridad necesarias para manipular las señales de tensión”.

### **5.10.3 Equipo para medida indirecta**

Para la medición indirecta de energía se utiliza generalmente un medidor estático multifuncional de energía y un juego de transformadores de medida compuesto por TCs y TPs.

En este tipo de medición, la conexión de las señales de corriente provenientes de los devanados secundarios de los TCs y de las señales de tensión provenientes de los devanados secundarios de los TPs, al medidor, debe realizarse mediante un bloque de pruebas excepto para aquellos medidores que tienen incorporado un mecanismo similar a éste.

Los transformadores en subestaciones tipo interior o pedestal que sirvan a una sola instalación deben ser medidos en nivel de tensión II, salvo que el propietario de la instalación manifieste por escrito que no está interesado en el ahorro tarifario que representa la medida en este nivel de tensión. Esta condición será verificada durante la revisión del proyecto de redes.



## 6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Es necesario realizar un análisis de la incidencia sobre los elementos del medio que vaya a generar el proyecto, para eso es necesario conocer sus componentes, materiales, labores de ejecución, documentación legal, permisos, cálculos matemáticos, seguridad, costos, logística, entre otros elementos que puedan afectar o ayudar el libre desarrollo del proyecto del laboratorio para la subestación.

Para ello deberá realizarse una aproximación del proyecto con las personas que van a interactuar en la ejecución del mismo, que cumpla con dos funciones:

1. Personas que han trabajado con proyectos similares: Se identificarán y definirán sus particularidades basados en la experiencia y conocimiento de las personas que interactúen en todo el proceso, con el fin de tener un plan de desarrollo y control sobre los diferentes métodos que se seguirán.
2. Personas que no han trabajado con proyectos similares: Dar a conocer a las personas que no saben del tema tratado, los componentes de éste tipo de instalaciones, sus necesidades constructivas, etc., proporcionando una idea clara de los métodos y operaciones que van hacer precisos para su ejecución, de las necesidades, espacios y las implicaciones en el entorno concreto donde se va a ubicar.

A continuación, se describen los elementos e instalaciones que compondrán el proyecto del laboratorio modular para la Institución Universitaria Pascual Bravo, así como las actividades a implementarse en el transcurso del desarrollo del proyecto.

### 6.1 OBTENCIÓN DE PERMISOS

La primera de las actuaciones a realizar en cualquier tipo de proyecto que requiere espacios para su desarrollo, es obtener los permisos correspondientes a la ocupación del terreno y si no es posible conseguirlos, se hará lo posible por comprarlos, ya que normalmente, éste tipo de proyectos son definitivos y su reubicación ocasionaría un alto costo.

Una vez teniendo los permisos de personas particulares, es necesario tramitar ante las oficinas de planeación la licencia de construcción del proyecto.

En el desarrollo de las actividades de ejecución, además de los acuerdos económicos que lleva un proyecto de estas características, es necesario pactar otras series de medidas de diversas índoles, entre las que se destacan corrección de daños y protección del entorno, lo que tienen una importancia reseñable a la hora de evaluar la construcción de la subestación.

## **6.2 APERTURA DE ACCESOS**

El lugar donde se realizará la construcción de la subestación debe tener un acceso, tanto durante la fase de construcción como para la obra definitiva, dada la necesidad de llegar al lugar con medios auxiliares como camiones, grúas, vehículos pequeños de carga, entre otros.

Para la ejecución de las vías que se requieran, se aprovecharan los accesos existentes (carreteras, caminos, senderos, trochas, etc.) con el fin de evitar permisos innecesarios o generar otras servidumbres, los caminos existentes se mejoraran en su anchura y firmeza, si es necesario acondicionarlos para el paso de vehículos de carga o gran tamaño.

Si es necesario realizar la construcción de vías nuevas, se realizará de forma que el costo e impacto ambiental sea mínimo, ya que exclusivamente han de servir para el paso reducido de vehículos de carga, los necesarios para trasladar los diferentes materiales al sitio de construcción.

Un aspecto de suma importancia es el hecho de que los accesos normalmente, nunca son incluidos o solo de forma genérica, debido a que se piensa que es inviable o muy costoso y no se evalúan con anticipación, lo cual es de las primeras cosas que se debe tener presente en la ejecución del proyecto, ya que las vías quedan para realizar a futuro mantenimientos y de rutas de evacuación.

### **6.3 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LAS OBRAS:**

Previó a la ejecución de la obra, es necesario el diseño del proyecto en las diferentes fases que tendrá, es preciso realizar los estudios previos en los que se analizarán las distintas alternativas técnica y económicamente viables.

Dentro del diseño y los estudios, se considerarán las variables ambientales, naturales y socioeconómicas que se inician con antelación a los trazados definitivos seleccionando varias alternativas, se realiza un ante proyecto y una vez aprobado el mismo se realiza el proyecto definitivo con toda la calidad y exigencia que requiere en diseño y estudios.

Durante las distintas fases que supone la construcción de la obra, se adoptan medidas de carácter preventivo y de control. En el apartado correspondiente, durante las obras se desarrollan algunas medidas cautelares, ya que en cada fase del trabajo, pueden intervenir varios equipos, sus componentes, así como el tipo de maquinaria que utilizan en el desarrollo de los trabajos.

### **6.4 CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE**

Para realizar el trabajo de las vías y el proyecto en cuanto a la definición del área que se requiere, normalmente es necesario de la deforestación de árboles o vida vegetal que se encuentra en el lugar, afectando el ecosistema y la vida de muchos animales, insectos o diferentes especies que habiten el sector.

Es necesario realizar un estudio del cuidado por el medio ambiente y del lugar donde se desarrollaría el proyecto, ya que es de vital importancia no tocar afluentes de agua y de evitar un gran impacto en el suelo y vegetación del sitio, no solo en la construcción del proyecto si no al finalizar el mismo, ya que hay diferentes agentes de los materiales eléctricos que pueden ocasionar un daño ambiental.

Si es necesario intervenir áreas de bosque, es importante reponer los árboles que se talen y buscar un lugar adecuado para las diferentes especies que puedan verse afectadas por los trabajos requeridos.

## **6.5 MALLA DE PUESTA A TIERRA**

Aunque el diseño del laboratorio de la subestación no contempla el diseño de la malla, para el sistema de puesta a tierra, es necesario instalarla para proteger los elementos eléctricos y la vida de las personas, como lo define el artículo 15 del RETIE.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son: la seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética

El reglamento exige el diseño de la malla de puesta a tierra para todas las instalaciones eléctricas y se debe tener en presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima energía eléctrica que pueden soportar, debido a las tensiones de paso, de contacto o transferidas y no el valor de la resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente, sin embargo, un bajo valor de resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir la máxima elevación de potencial GPR.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir y disparar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.
- Transmitir señales de FR en onda media y larga
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

## **6.6 CIMENTACIONES**

Las aperturas de las cimentaciones se realizan por medios mecánicos y manuales, se realizará el máximo esfuerzo para no usar explosivos, por su seguridad de manejo y los efectos negativos que conlleva para el medio, reservándolos para casos muy especiales.

El tipo de construcción que se realice es de muros macizos de hormigón, resistentes al fuego por tres horas, la construcción de las obras civiles depende y varía de acuerdo al tipo de transformador que se elija y a la ubicación de la subestación, ya que hay diferentes casos para los cuales la normatividad vigente exige ciertas condiciones técnicas por seguridad.

## **6.7 RETIRO DE MATERIALES Y REHABILITACIÓN DE DAÑOS**

Una vez finalizadas las actividades de construcción, el lugar de la obra debe quedar en condiciones similares a las existentes antes de comenzar los trabajos, en cuanto a orden y limpieza, retirando los materiales sobrantes de la obra.

Los productos inertes procedentes de la excavación de cimentación, si no se utilizan para los rellenos de las excavaciones, se suele extender en la proximidad en lugares que tengan un volumen pequeño de tierra, adaptando lo más posible el terreno; si lo anterior no es posible, se trasladarán en vehículos de carga a un lugar apropiado para el empleo de los materiales sobrantes.

Las cajas, embalajes, desechos, etc., deberán ser recogidas y desechados en vertederos autorizados.

El hormigón desechado que no cumpla con las normas de calidad debe ser eliminado en lugares aptos para el vaciado de escombros, no impactantes al entorno o vertedero, o bien ser extendido en los caminos para mejorar su firmeza.

## **6.8 ACOPIO DE LOS MATERIALES**

Una vez realizadas las obras civiles de la subestación, en una zona destinada se almacenarán los materiales eléctricos para su instalación, del lugar de acopio elegido se trasladarán los materiales requeridos hasta los puntos donde se localizará la subestación, para proceder con su montaje.

Para realizar el transporte de los materiales, los paquetes deben estar completamente numerados y clasificados, Al fabricante se le debe indicar el peso máximo de los paquetes, así como la forma de clasificación de las piezas.

Una vez el material se encuentre en la proximidad del lugar, se procede al armado o instalación del mismo.

## **6.9 MONTAJE DE CELDAS**

Las celdas están constituidas por metales galvanizados, construidos con perfiles angulares que se unen entre sí por medio de tornillos o soldaduras, los cuales ya vienen ensamblados desde fábrica, por lo que su montaje presenta una cierta facilidad, dado que no es necesario ningún tipo de maquinaria especial para su instalación.

Una vez ubicadas y alineadas las celdas en las obras civiles realizadas, se procede anclar las mismas al suelo para evitar movimientos de las mismas, durante movimientos telúricos.

## **6.10 CONDUCTORES**

Las líneas en media tensión están construidas por un circuito de 3 fases, 1 conductor por fase en calibre 1N<sup>o</sup>1/0AWG, Cu, 15Kv, XLPE al 133% y el neutro con un calibre 2AWG, Cu, desnudo.

Los conductores de las redes en baja tensión y su calibre, dependerán de la potencia del transformador y la configuración elegida para su instalación, ya que se puede emplear el método por ductos, canastillas o barras de cobre.

## **6.11 TENDIDO DE CABLES E INSTALACIÓN DEL TRANSFORMADOR**

La fase de instalación y tendido de los cables se inicia cuando las celdas están completamente instaladas y se han acopiado todos los materiales necesarios para su instalación.

La instalación del cable se hace a mano, a través de un cable guía que se ingresa en las canalizaciones y se lleva de celda a celda por un equipo de técnicos ayudados

probablemente por caballería, normalmente, éste método se utiliza cuando la distancia de instalación es muy larga o las condiciones del terreno es muy estrecho.

Una vez se hayan instalado los cables tanto de media como de baja tensión, los técnicos procederán a realizar la instalación de las terminales preformadas y los accesorios de los cables en baja tensión.

Cuando éste realizado el tendido de cables en la subestación, se procede con el ingreso del transformador y anclaje del mismo al suelo, una vez este asegurado se procede con la instalación de los conductores al mismo.

## **6.12 MANO DE OBRA**

El personal empleado para éste tipo de obras es un 70% técnicos capacitados para realizar las obras más complejas, correspondientes a la instalación y montaje de todos los elementos eléctricos que requiere este tipo de construcciones

El 30% restante, corresponde a personas necesarias para realizar las obras civiles y de cimientos que requiere la subestación, además de las personas encargadas de la logística y seguridad en la obra.

## **6.13 CONTROL DURANTE LAS OBRAS**

Durante las obras se establecen una serie de controles y métodos de trabajo en cuanto a las distintas fases de la obra, así como un control general y una serie de medidas de seguridad.

Todo ello se refleja en el conjunto de especificaciones técnicas y pliegos de condiciones que tiene que cumplir la empresa contratista.

El contratista será el responsable de cuidar el impacto ambiental que tendrá la obra, el orden, la limpieza, limitación del suelo objeto del contrato, adopción de las medidas que le sean señaladas por las autoridades competentes, para minimizar los daños y accidentes que pueda causar la ejecución de las obras e impactar lo menos posible los costos del proyecto.

## 7 METODOLOGÍA

La Institución Universitaria Pascual Bravo está trabajando en un nuevo proyecto para sus instalaciones, denominado laboratorio modular de subestaciones eléctricas, que enlaza la implantación de los diseños de subestaciones más usadas en el país, para luego proceder a su ejecución.

Para lo anterior, a través de éste trabajo se está realizando la elaboración de la ingeniería conceptual, básica y de detalle de la implantación de una subestación eléctrica, dentro de las instalaciones del campus robledo, que se denominará laboratorio y corresponderá a una nueva infraestructura contemplada para el año 2017 dentro de la Institución Universitaria.

Éste informe tiene como objetivo describir una base metodológica de trabajo para el diseño de subestaciones eléctricas, donde se describa la ingeniería básica correspondiente a la capacidad de los elementos eléctricos que se instalan en una subestación, distancias mínimas de seguridad, espacios de trabajo, selección del equipo de medida, selección de los conductores adecuados, elección de transformadores, entre otros conceptos.

En la medida de lo posible se describirá para cada tópico en particular, varias metodologías propuestas por diferentes normas, con la finalidad de realizar una comparación de sus procedimientos y observar así diferencias derivadas de su aplicación en el diseño del laboratorio para la subestación.

### 7.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio que se empleó en el desarrollo de éste trabajo es el descriptivo y explicativo, que se usó para analizar la gran variedad de componentes que tienen las subestaciones de energía, donde se describen las características que identifican los diferentes elementos, sus componentes y su interrelación.

Se acudieron a técnicas específicas para la recolección de información, como la observación, la experiencia, documentación técnica, documentación normativa



entre otras, la cual fue sometida a un proceso de elección muy minucioso, para elegir la teoría adecuada en la implementación del proyecto.

## **7.2 EL MÉTODO**

La realización de éste trabajo se realizó a través del método científico, que orienta a la investigación a través de un método riguroso y la recolección de información, para formar una hipótesis donde se pueden deducir varias consecuencias prácticas, que luego serán sometidas a verificación.

Para encontrar la respuesta a la problemática planteada, se empleó el siguiente conjunto de procesos:

## **7.3 LA OBSERVACIÓN**

Para lograr respuesta a los objetivos planteados, se realizaron varias visitas a subestaciones existentes, donde se observó todas las características y formas que tienen, ya que es necesario conocer a fondo sus elementos.

Con lo expuesto en el marco teórico y de las observaciones realizadas a los elementos de las subestaciones, se aclararon muchos conceptos que serán expuestos en los resultados del trabajo.

## **7.4 LA INDUCCIÓN**

A través de la inducción, se logró evidenciar que la teoría de las subestaciones se cumple a cabalidad en su ejecución, lo que fortalece en gran medida el desarrollo del trabajo final, que está orientado a la pedagogía.

## **7.5 LA DEDUCCIÓN**

El proceso de deducción no es suficiente por sí mismo, para explicar los fenómenos eléctricos que pasan en una subestación y sobre todo para realizar los cálculos necesarios de áreas civiles y de los elementos metálicos empleados para la

elaboración de los diferentes objetos eléctricos, por lo anterior, es necesario el empleo principalmente de la lógica y las matemáticas.

## **7.6 ANÁLISIS Y SÍNTESIS**

El análisis y la síntesis es el proceso que permite al investigador conocer la realidad. El análisis es un proceso de conocimiento y con el mismo, se lograron identificar cada una de las partes que conforman la subestación y a través del estudio realizado se estableció una relación de los elementos que la componen. La síntesis que considera los objetos como un todo, se interrelacionaron los elementos eléctricos que identifican o conforman la subestación.


## **7.7 POBLACIÓN**

La elaboración del diseño modular para la subestación eléctrica va dirigido a la Institución Universitaria Pascual Bravo, campus Robledo, primero que todo a la decanatura o consejo que tome las decisiones para la ejecución del proyecto y por último a todos los estudiantes de las diferentes modalidades de la Universidad.

## **7.8 TÉCNICAS PARA RECOGER LA INFORMACIÓN**

Las técnicas que se realizaron para recoger información fue a través de la propia experiencia, reuniones, investigación, observación, interventorías, consultas, internet, web, blogs, revistas electrónicas.

## 8 CRONOGRAMA

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA <b>PASCUAL BRAVO</b>		<b>CRONOGRAMA</b>			
<b>NOMBRE DE LA PROPUESTA PROYECTO DE GRADO</b>		Diseño modular para la subestación eléctrica			
<b>PROPUESTA PARA EL PROYECTO DE GRADO</b>		La realización de la propuesta para el proyecto de grado durará 4 meses			
<b>N°</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>MES</b>			
		<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
1	Rastreo de información	■			
2	Introducción	■			
3	Objetivos		■		
4	Planteamiento del problema		■		
5	Justificación		■		
6	Marco teórico			■	
7	Descripción técnica			■	
8	Metodología			■	
9	Conclusiones				■
10	Correcciones				■

## 9 CONCLUSIONES

1. Se llevó a cabo la comparación entre las normas nacionales y de operadores de otros países, logrando encontrar que coincidían en muchos aspectos normativos.
2. Las medidas de los espacios de trabajo especificados en el marco teórico son conservadoras y nunca pueden ser disminuidas, ya que lo anterior puede ocasionar posibles violaciones a la seguridad del personal que maniobra los elementos de la subestación. Las mismas pueden ser aumentadas en la medida de lo necesario, para cumplir con el dimensionamiento de la subestación en general.
3. Los cálculos para el cortocircuito son parte fundamental de la subestación y los mismos regirán el diseño en gran parte, pero debido a que se desconocen los valores del sitio, estos no fueron calculados dentro de éste trabajo.
4. En éste trabajo se realizó una revisión bibliográfica, donde se revisó la geometría más empleada para la construcción de subestaciones, que cumpla con la normatividad vigente y ahorre costos al cliente final.

## 10 RECOMENDACIONES

1. Ya que se va a realizar un laboratorio de subestaciones, lo más recomendable es contar con personal de experiencia en este tema, que pueda llevar a cabo la ejecución de las obras.
2. Recomiendo realizar la compra de las celdas a los tableristas del mercado regional e informar la clase de proyecto a realizar, ya que, con su experiencia en la elaboración de estos elementos, pueden brindar ideas brillantes, que lleven a realizar un mejor laboratorio.
3. Dado que el objetivo del proyecto es que los estudiantes puedan realizar sus prácticas, es de suma importancia que en la mesa de trabajo puedan estar los alumnos que elija la institución, donde se puedan hacer partícipes de las obras a realizar.
4. Dado que el proyecto es de suma importancia y ocasionará unos altos costos, recomiendo involucrar a las empresas regionales que trabajen en el sector eléctrico en diferentes ramas, ya que pueden hacer aportes importantes al proyecto y a la institución.

## 11 BIBLIOGRAFÍA

### Reglamentos

Reglamento técnico de instalaciones eléctricas. EL RETIE  
Colombia, agosto de 2013.

### NTC 2050

Norma técnica colombiana para la ingeniería eléctrica  
Colombia,

### Normas

Normas técnicas del operador de red EPM

### Documentos

Normas técnicas de Colombia para la ingeniería eléctrica. NTC