

CAPÍTULO 2

CONSIDERACIONES PARA LA TRANSICIÓN AEREO-SUBTERRÁNEO PARA EL ENLACE ENTRE LAS SUBESTACIONES LA PAZ Y SANTA CRUZ.

En este capítulo se exponen algunas consideraciones por las cuales, un sistema de cable subterráneo es una opción, como parte de la modernización y actualización del Sistema Eléctrico del Valle de México, se analiza el esquema de distribución y las condiciones en las que se encuentra el Sistema, particularmente en las subestaciones La Paz y Santa Cruz que se encuentran en la Zona Metropolitana del Valle de México. Desde el punto de vista técnico se enuncian los accesorios para llevar a cabo una transición de un sistema aéreo a uno subterráneo así como las recomendaciones y especificaciones para este tipo de proyectos.

2.1 Zonas metropolitanas.

Desde 1940 la expansión física de varias ciudades de México sobre el territorio de dos o más estados o municipios ha dado lugar a la formación y crecimiento de zonas metropolitanas, las cuales han jugado un papel central dentro del proceso de urbanización del país.

Las zonas metropolitanas son los elementos de mayor jerarquía del sistema urbano de México, en ellas se genera el 75% del producto interno bruto del país y tienen el potencial de incidir favorablemente en el desarrollo económico y social de sus respectivas regiones. Sin embargo, su aprovechamiento como elementos estructuradores del territorio requiere de la participación de los diferentes sectores y órdenes de gobierno.

La metropolización es un proceso creciente e irreversible, sin instrumentos suficientes para regularlo. Se definen como zonas metropolitanas todos aquellos municipios que contienen una ciudad de un millón o más habitantes.

En México existen 56 zonas metropolitanas, de las cuales destaca la Zona Metropolitana del Valle de México, con 76 municipios y delegaciones, entre el Distrito Federal y los Estados de México e Hidalgo.

Debido a la importancia económica de las zonas metropolitanas, el suministro de energía eléctrica es primordial para mantener las actividades propias de las zonas, atendiendo los incrementos en la demanda de energía eléctrica.

La infraestructura eléctrica de las zonas metropolitanas debe ser capaz de crecer junto a las necesidades de las zonas, típicamente los sistemas aéreos han hecho esta labor, sin embargo los sistemas de distribución y más recientemente de transmisión subterráneos, son una opción de actualización y crecimiento respecto a los sistemas aéreos, siendo el espacio y la capacidad de transmitir gran potencia a distancias cortas (inferiores a 20 km), las cualidades necesarias para cubrir la demanda de energía eléctrica en zonas metropolitanas, y esto hace de los sistemas de cable subterráneo una buena elección en zonas altamente urbanizadas.

2.1.1 Alta Densidad de Carga.

La demanda de energía eléctrica está sujeta a la carga del Sistema, para el caso de zonas metropolitanas se pueden distinguir tres tipos de carga, estas a su vez se distinguen cuando tienen una alta densidad de carga, esto debido al alto consumo de energía por unidad de área (1 km²).

- a) Zonas Comerciales (más de 20 MVA/km²)
- b) Zonas Residenciales (10 a 15 MVA/km²)
- c) Zonas Industriales (más de 20 MVA/km²)

Además de estas cargas, existen otros sistemas de gran consumo de energía, como los sistemas hidráulicos de bombeo de agua potable, aguas negras, plantas de tratamiento de agua, sistemas de alumbrado público, señalización y servicios públicos que requieren suministro de energía ininterrumpidamente como hospitales y dependencias gubernamentales.

2.2 Áreas de Control en México

Para el control operativo de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica en México, se cuenta con El Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cuál se divide en nueve Áreas de Control, (figura 2.1) las cuales cuentan con infraestructura propia y la capacidad de transmitir potencia entre regiones.

La operación de estas nueve regiones está bajo la responsabilidad de ocho centros de control ubicados en las ciudades de México, Puebla, Guadalajara, Hermosillo, Gómez Palacio, Monterrey y Mérida; las dos de Baja California son administradas desde Mexicali. Todas ellas se encuentran coordinadas por el CENACE en el Distrito Federal.

Las siete Áreas del macizo continental están interconectadas y forman el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Su objetivo es compartir los recursos y reservas de capacidad ante la diversidad de las demandas. Esto hace posible el intercambio de energía para lograr un funcionamiento más económico y confiable en su conjunto. Las dos regiones de la península de Baja California permanecen como sistemas aislados.

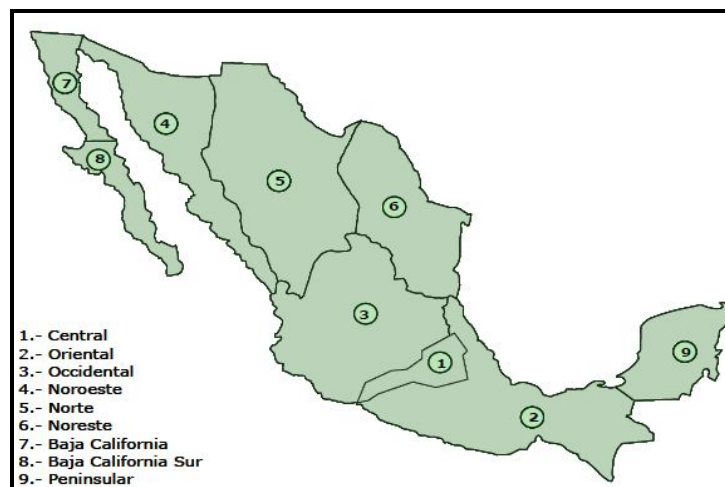


Figura 2.1 Áreas de Control de México.

2.3 El Área de Control Central

El Área de Control Central (ACC) tiene como responsabilidad el suministro de energía eléctrica a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), Estado de México así como a parte de los Estados de Hidalgo, Puebla, Morelos, Guerrero y Michoacán (Figura 2.2). La demanda eléctrica de la ZMVM era atendida en su totalidad por la extinta Compañía de Luz y Fuerza del Centro (LyFC) con un consumo aproximado de 90% del total del Área Central. El 10% restante de la demanda está compuesto por las zonas eléctricas Valle de Bravo, Atlacomulco, Altamirano, Zitácuaro e Ixmiquilpan.

Debido al crecimiento natural de la demanda en el Área, se espera que en el corto y mediano plazos se presenten diversas problemáticas. Actualmente se tienen problemas de regulación de **tensión** ante la demanda máxima y con la salida de alguno de los circuitos.

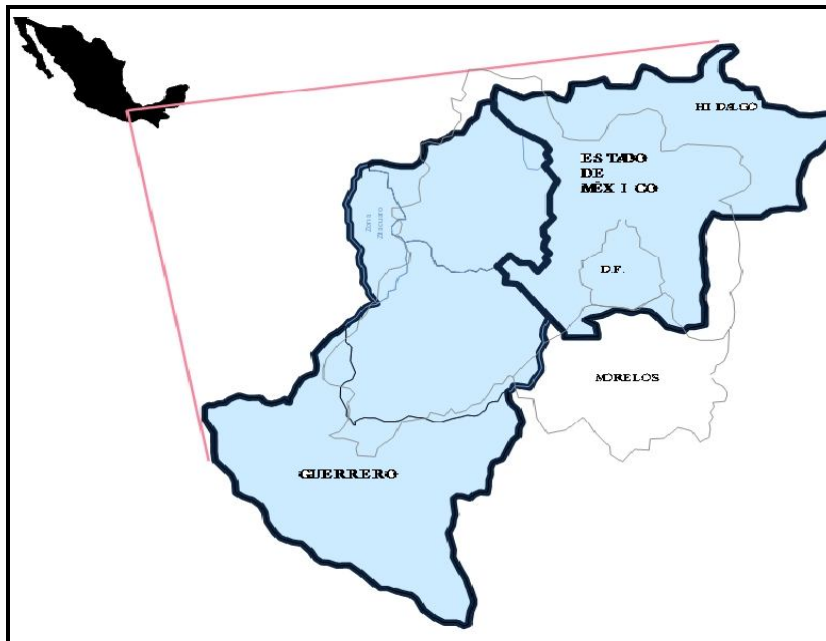


Figura 2.2 Área de Control Central

2.4 La Zona Metropolitana del Valle de México

La zona de influencia para el suministro de energía en la ZMVM fue definido como el área geográfica que atendía Luz y Fuerza del Centro, y ahora la Comisión Federal de Electricidad es la entidad designada como la responsable del suministro y operación.

La zona comprende el Distrito Federal y parte de los estados de México, Hidalgo, Puebla y Morelos (Figura 2.3). Con un área de 20,531 km², y cubre:

- 16 Delegaciones del Distrito Federal
- 82 Municipios del Estado de México
- 48 Municipios de Hidalgo
- 3 Municipios de Puebla y
- 2 Municipios de Morelos

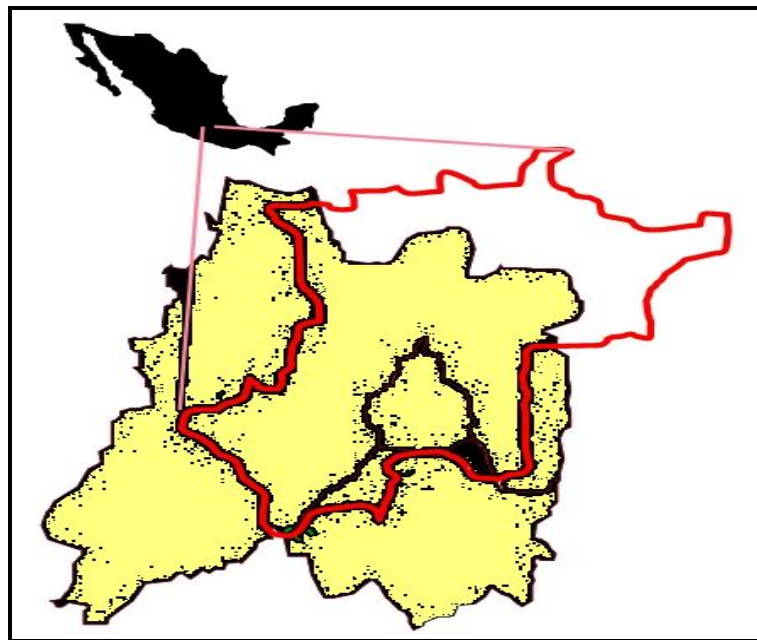


Figura 2.3 Zona Metropolitana del Valle de México

2.4.1 Demanda de energía eléctrica en la ZMVM

El análisis de la demanda bruta por área operativa permite identificar los consumos mínimos, intermedios y máximos que se registran durante ciertos periodos. Por ello, es relevante la magnitud de las demandas máximas en cada región operativa así como la demanda máxima coincidente en el **Sistema Eléctrico Nacional**.

En 2008 el Área que registró el mayor incremento respecto al año anterior en la demanda máxima fue la Occidental con 8.5%. Asimismo, durante el periodo 1998-2008 las Áreas Baja California Sur y Peninsular presentaron los mayores crecimientos anuales en promedio, con 6.5% y 5.5%, respectivamente. El Área que mantiene las demandas máximas se presentan en las regiones Central, Occidental y Noreste, debido a las concentraciones urbanas e industriales ubicadas en estas Áreas. En la tabla 2.1 se muestra la demanda bruta del **Área Central**.

Considerando que la ZMVM demanda el 90 % del **Área Central**, la demanda máxima de la ZMVM es de 7591.5 (MW), demanda base 5372.4 (MW), demanda promedio 4088.7 (MW) para el año 2008.

Tabla 2.1 Demanda bruta, Área Central, 2004-2008 (MW)

Área	Carga	2004	2005	2006	2007	2008
Central	Máxima	8,047	8,287	8,419	8,606	8,435
	Base	5,394	5,608	5,767	5,931	5,969
	Promedio	4,049	4,262	4,371	4,505	4,543

Las zonas con alta densidad de carga, están creciendo y ampliando su cobertura así como la demanda de energía eléctrica. Particularmente, las subestaciones Santa Cruz y La Paz se encuentran prácticamente rodeadas por la urbanización de la zona comprometiendo su capacidad de expansión en la tensión de 400 kV al no haber nuevos espacios o terrenos donde se pueda proyectar nuevas líneas que refuercen el enlace. (Figura 2.4)

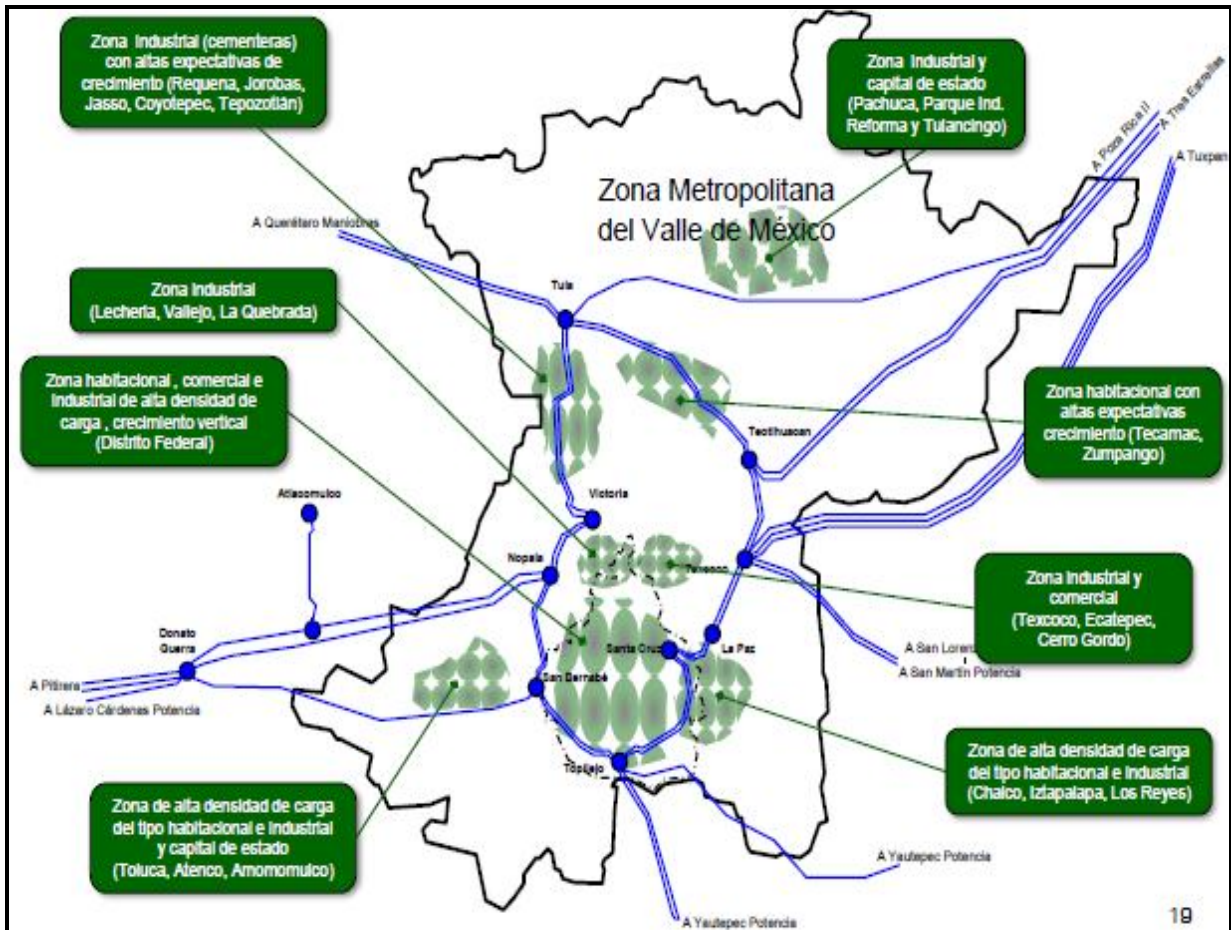


Figura 2.4 Zonas con alta densidad de carga.

2.4.2 Generación aportada por la CFE al Área Central.

Los enlaces externos consisten en 16 líneas de 400 kV y 5 de 230 kV, que provienen de fuentes de generación lejanas con distancias mayores a 200 km. Fundamentalmente los puntos lejanos de generación que suministran energía hacia el área central, a través de los enlaces existentes son:

- *Área Occidental*, zona Lázaro Cárdenas con las centrales Petacalco, Villita e Infiernillo. (1600 MW)
- *Región Sureste*, con las centrales del sistema Hidroeléctrico Chicoasen, Malpaso, Angostura y Peñitas. (1800 MW)
- *Región Oriente*, con las centrales Tuxpan y Tres Estrellas (3500 MW)
- *Región Huasteca*, con la central Tamazunchale (1350 MW)

Sumando estas aportaciones de potencia, el total es de 8250 MW, que es inferior a la demanda máxima. Debido a que estos puntos de generación hacia el centro de carga se encuentran distantes, el área central tiene una característica eléctrica en la cual se podrían presentar problemas de colapso de tensión, para ilustrar esto, en la figura 2.5 se muestra la curva potencia contra tensión en la subestación Santa Cruz en tres escenarios posibles:

1.- Caso Base (con generación distribuida)

- 2.- Sin Compensador Estático de Potencia Reactiva en la Subestación Topilejo
- 3.- Sin el enlace entre las subestaciones Texcoco y La Paz.

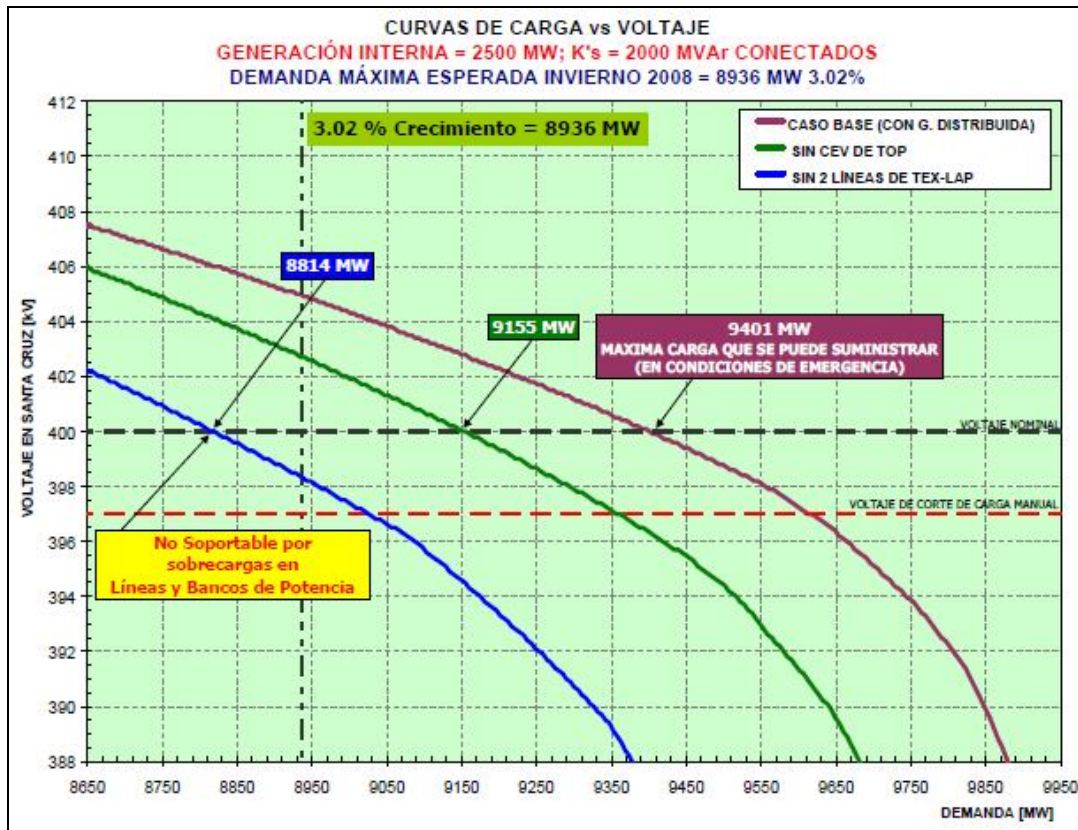


Figura 2.5 Al aumentar la carga, la tensión disminuye.

Como se puede observar, existe el riesgo de una caída de tensión no tolerable por el Sistema Eléctrico, en situaciones donde la demanda es máxima.

Los dos centros de generación importantes en la ZMVM son la Central Termoeléctrica Tula y la Central Termoeléctrica Valle de México. Dada la relación de generación contra demanda, la ZMVM es considerada como deficitaria en generación, lo que implica la necesidad de inversión en infraestructura de generación ó refuerzos de transmisión y compensación.

Como parte de los refuerzos en la transmisión de potencia eléctrica, en la zona metropolitana del Valle de México, se expone en esta tesis, como una opción, un sistema subterráneo de cables de extra alta tensión en 400 kV, entre las subestaciones Santa Cruz y La Paz, el cual consistiría en dos circuitos trifásico, instalado en galería o túnel entre dos subestaciones de potencia. Lo anterior debido a que los circuitos aéreos actuales, pueden no soportar las demandas máximas presentes o futuras.

2.5 La Red Troncal de 400 kV.

Las fuentes de generación lejana y cercana para la zona central, se conectan por medio de una red en anillo de doble circuito en 400 kV. Se cuenta con 16 bancos de autotransformadores de 400/230/10 kV, 330 MVA cada uno, instalados en las subestaciones, **Santa Cruz**, Victoria, San Bernabé, **La Paz** y Teotihuacán, que junto con las subestaciones Nopala, Texcoco, Topilejo y Tula, son el enlace entre líneas fuente de 400 kV

En la red de 400 kV se utilizan los bancos de autotransformadores de 400/230/10 kV, conectados en estrella / estrella con el devanado terciario conectado en delta aislada. Adicionalmente para la regulación dinámica de tensión se cuenta con Compensadores Estáticos de Potencia reactiva (CEV) ubicados en las subestaciones de Texcoco, Nopala, Topilejo (-90, + 300 MVar cada uno) y Cerro Gordo (-75, + 300 MVar).

Como parte de los diagnósticos del Sistema Eléctrico del anillo de 400 kV, en la tabla 2.2, se ilustra la cargabilidad de las diferentes subestaciones de la ZMVM, destacando la subestación Texcoco con una cargabilidad del 103% por lo que se debe considerar reforzar ese nodo, como se ilustra en la figura 2.6. Seguido de ese nodo, están las subestaciones La Paz y Santa Cruz, las cuales incrementarán la cargabilidad.

Tabla 2.2 Cargabilidad en bancos 400/230 kV de la zona metropolitana.

SUBESTACIÓN	No. DE BANCOS	MVA POR BANCO	% CARGABILIDAD	
			CONDICION BASE	PRIMERA CONTINGENCIA
LA PAZ	3	330	56	66
SANTA CRUZ	4	330	67	77
VICTORIA	3	330	52	62
SAN BERNABE	3	330	60	71
TEOTIHUACAN	3	330	75	92
NOPALA	3	378	70	85
TEXCOCO	3	375	85	103
TOPILEJO	2	330	69	87
TULA	2	378	13	62

Como parte de las obras de modernización y actualización de la infraestructura eléctrica, en el Programa de Obras del Sector Eléctrico (POISE) se contempla la construcción de una línea aérea de 400 kV, que es una derivación de la línea proveniente de Tuxpan hacia la subestación La Paz y evitar que la subestación Texcoco presente esos niveles de cargabilidad. En la figura 2.6 se ilustra esta nueva línea de transmisión.

Como se ilustra en las figuras 2.4 y 2.6, es posible proyectar nuevas líneas de transmisión en zonas que no se consideran con alta densidad de carga. El enlace entre las subestaciones La Paz y Santa Cruz, es el enlace entre dos regiones de generación (sureste y oriente), por lo que es un enlace importante, la modernización u actualización de este enlace y dada la condición de estar en un área poblada de la zona metropolitana, un sistema subterráneo es una buena opción, la experiencia de otros países, así lo demuestran.

2.6 Las Subestaciones de La Paz y Santa Cruz



Figura 2.6 Ruta de la línea aérea 400 kV entre las subestaciones Santa Cruz y La Paz. Longitud aproximada: 11 Kilómetros.



Figura 2.7 Vista aérea de la subestación La Paz



Figura 2.8 Vista aérea de la subestación Santa Cruz.

2.6.1 El Derecho de Vía

Se define el Derecho de Vía como una franja de terreno que se ubica a lo largo de cada línea aérea, cuyo eje coincide con el central longitudinal de las estructuras o con el del trazo topográfico.

Los objetivos del derecho de vía son: disponer del área bajo las líneas, que permita su adecuada operación con la máxima confiabilidad y el menor índice de salidas, en beneficio del servicio público eléctrico; facilitar su inspección y mantenimiento con las mínimas interferencias; proporcionar la seguridad necesaria a los residentes que se ubiquen en la vecindad de los conductores, para evitar la posibilidad de accidentes, debido a una tensión eléctrica mortal por contacto directo, o por fenómenos de inducción.

En la tabla 2.3 se muestran las características de las líneas aéreas y su ancho de vía para zonas urbanas y se ilustra en la figura 2.9 los conceptos del derecho de vía.

Tabla 2.3

Tensión nominal entre fases (kV)	Número de circuitos	Tipo de estructura	Conductor ASCR KCM	Claro base (m)	Flecha final a 16 °C (m)	Longitud de la cadena de aisladores (m)	Distancia de fase extrema Al eje de la estructura (m)	Separación Mínima horizontal	Ancho del derecho de vía (m)
400	2	PATS – 22	2x 1113	175	5,10	3,90	7,15	4,004)	26,5
230	1	PATS – 2	900	125	2,65	2,80	4,15	3,20	18
230	2	P A – S	1113	225	7,05	2,55	3,90	3,20	21
230	2	P A – S	1113	225	7,05	5)	3,40	3,20	17
138	2	P A. 2S . 138S	477	100	3,12	1,57	2,45	2,40	13
115	1	P A S. 115P	477	100	3,12	6)	7)	2,30	7,5

El derecho de vía se puede aprovechar, para realizar la obra civil y las maniobras pertinentes en la implementación de cables subterráneos de potencia, así como respetar el mismo trazado de las líneas aéreas para la ruta del cable subterráneo.

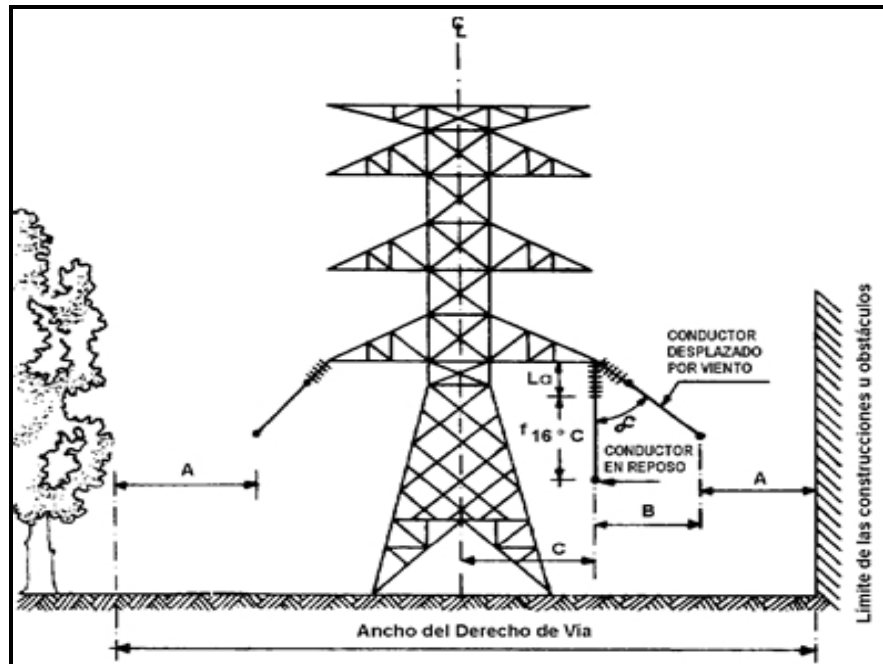


Figura 2.9

2.7 Obra civil en diversos tipos de terreno

La obra civil para la instalación de cables de potencia subterráneos depende de las condiciones del terreno donde se vaya a instalar. Las normas CFE-AT-DP, CFE-AT-C indican los tipos de terreno y el tipo de obra a realizarse para sistemas subterráneos de alta tensión. Ver tabla 2.4

Un estudio topográfico es necesario para conocer las condiciones actuales del terreno por donde pasa la línea de transmisión aérea actualmente y, por donde se trazará la ruta del cable subterráneo de potencia, cuyo espacio está delimitado por el derecho de vía, cabe destacar que el peso de un cable para 400 kV varía entre 30 y 40 kilogramos por metro, para las 3 fases entre 90 y 120 kilogramos por metro, sin contar herrajes y medios de sujeción.

Durante los trabajos previos a la construcción de la línea se debe cotejar el censo detallado de todas las instalaciones subterráneas existentes en todo el trazo del proyecto de la línea; con el objeto de detectar si existió alguna modificación u omisión al proyecto de diseño en el lapso comprendido entre el censo de instalaciones y la ejecución de este.

Tabla 2.4

TIPO DE TERRENO	CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA CIVIL
I.- TERRENO BLANDO Y NORMAL	Se puede utilizar como relleno, retirando únicamente las capas con contenido orgánico para evitar la expansión del relleno.

II.- DURO Y ROCOSO	Para utilizar este material como relleno, es necesario eliminar las rocas con tamaños mayores a ¾”, y eliminar las capas con contenido orgánico.
III.- PIEDRA	Este material no se debe utilizar como relleno, a menos que la excavación se efectúe con zanjadora, la cual deja un material de grano fino propicio para la compactación, en caso contrario se utilizará material de banco para los rellenos.
IV.- CON ALTO NIVEL FREÁTICO	Se puede utilizar producto de excavación que no contenga piedra en tamaños mayores a ¾” Ø y libre de contenido orgánico.
V.- NIVEL FREÁTICO MUY ALTO	Se considera terreno con nivel freático muy alto donde el agua esté a 85 cm del nivel de piso ó menos.
VI.- TERRENOS INESTABLES	Se excavará hasta encontrar estratos donde se tenga la firmeza de terreno suficiente para poder compactar, se utilizará material de banco para rellenar y compactar hasta el nivel de la instalación.

2.7.1 Instalación en galería.

Se puede instalar los cables en una galería prefabricada instalada en una zanja abierta a lo largo del trazado. Las dimensiones de una galería son típicamente del orden de 2 x 2.5 metros en cuyo interior se instalan los cables en soportes fijados a lo largo de las paredes laterales. Esta configuración permite reducir, en algunos casos, el número de circuitos necesarios con relación a la instalación directamente enterrada, para una capacidad de corriente determinada. Otra ventaja de este tipo de instalación es la posibilidad de acceder a los cables en cualquier momento a lo largo de todo el trazado para efectuar las operaciones de mantenimiento y vigilancia.

A diferencia de otro tipo de instalación común para cables de potencia, para sistemas de extra alta tensión, se esta convirtiendo en la opción más adecuada tanto en seguridad como en eficiencia térmica y eléctrica.

2.8 Estructuras de transición

Al diseñar una Transición en Alta Tensión sobre una torre o un poste metálico, es fundamental tener un criterio que pueda servir para el análisis y selección de los principales equipos y materiales que la formarán.

El diseño de la estructura será a partir del modelo eléctrico definido dentro del proyecto electromecánico y teniendo en cuenta lo siguiente los dos tipos fundamentales de estructuras.

2.8.1 Postes troncopiramidales.

Para determinar los diámetros interiores del cuerpo del poste, se debe considerar el número de cables que se alojarán en su interior, ver figura 2.10 incluyendo sus dispositivos de sujeción.



Figura 2.10 Postes de transición truncopiramidales.

Este tipo de estructuras deberán estar diseñados por el número de circuitos y el número y diámetro de los propios cables.

2.8.2 Torres.

La estructura a utilizar para la transición aérea-subterránea debe estar preparada para recibir el cable de energía con charola soportada a la torre y cubierta por placas de polietileno de alta densidad.

Las torres de alta tensión están conformadas con perfiles angulares unidos entre si con tornillos, en el diseño se debe cuidar el no sobrepasar los valores de diseño para las cargas verticales que pueda soportar, estas cargas se refieren al peso de los cables, equipos e hilos de guarda, con sus herrajes y accesorios.

Se recomienda sujetar los cables con yugos de Nylamid o polietileno de alta densidad a distancias convenientes para mantener su separación. Las tensiones máximas permisibles a que se deben someter los cables durante la instalación en las charolas, no debe rebasar los límites recomendados por el fabricante. De acuerdo con la disposición en la transición, dentro del diseño para la instalación de los apartarrayos debe considerarse los dispositivos de fijación. Ver figura 2.11



Figura 2.11 Torre de transición

2.9 Accesorios.

La instalación de un sistema de cables de potencia, requiere de múltiples accesorios, independientemente del tipo de instalación, son tres los elementos básicos a instalar:

- 1) cable de potencia (en el capítulo 3 se hace referencia al cable de potencia)
- 2) empalmes
- 3) terminales.

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

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

2.9.1 Empalmes.

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

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

Los empalmes deben ser diseñados y fabricados para garantizar una adecuada conexión de todos los elementos que constituyen el cable de potencia sin sufrir deformaciones y sin alterar sus propiedades mecánicas y eléctricas de funcionamiento.

Hay tres tipos específicos de empalmes en función del material a emplear para el aislamiento externo, a continuación se presentan los contemplados por Comisión Federal de Electricidad.

a) Premoldeados

El empalme premoldeado esta hecho de materiales aislantes y semiconductores a altas tensiones, la conexión de los conductores puede ser por compresión, soldable o incluso roscado. Tiene excelentes características eléctricas, mecánicas y térmicas; su cubierta asegura una perfecta protección del empalme. En la figura 2.15 se ilustran los empalmes premoldeados, también se conocen como empalmes prearmados, la tecnología empleada es propiedad de cada fabricante así como de las herramientas necesarias para la instalación. Los empalmes pueden ser I) con pantalla interrumpida o II) sin pantalla interrumpida. La selección de éstos depende del tipo de conexión de pantallas que se vaya a instalar.

I) **Con pantalla Interrumpida**

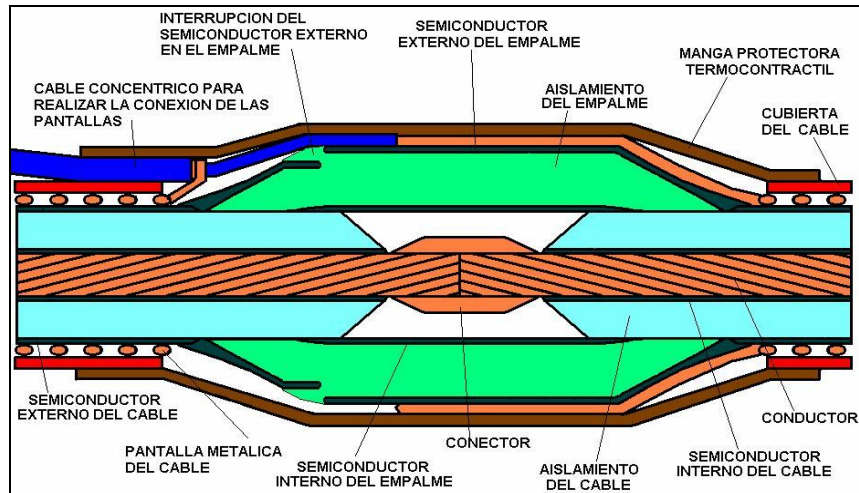


Figura 2.12 Detalle empalme con pantalla interrumpida.

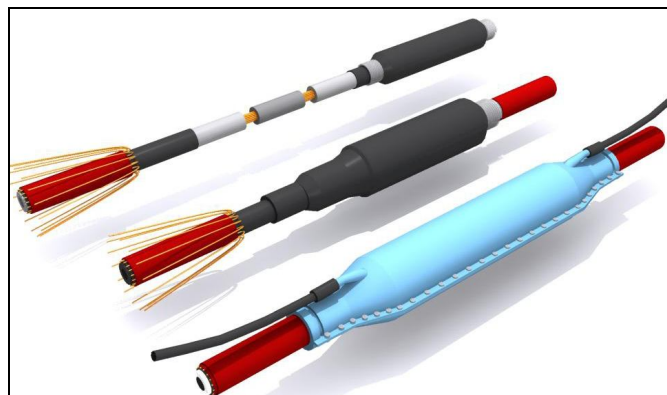


Figura 2.13 Empalme con pantalla interrumpida

II) **Sin pantalla interrumpida.**

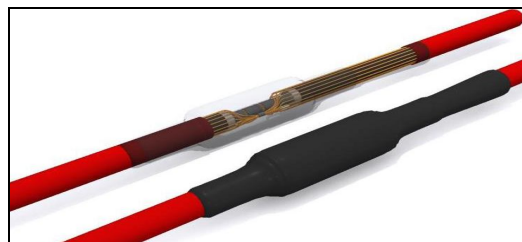


Figura 2.14 Empalme sin pantalla interrumpida

b) Termotactil

En este tipo de empalme los elementos reconstitutivos de la pantalla semiconductora sobre conductor, del aislamiento y de la pantalla semiconductora sobre aislamiento se aplican mediante el proceso conocido como termocontracción. Posteriormente se restituye la pantalla metálica y se aplica

mediante termocontracción el elemento que reconstruye la cubierta exterior del cable. Este tipo de empalmes son más utilizados en sistemas de baja y media tensión.

c) Contráctil en frío

Estos empalmes restituyen la pantalla semiconductora sobre conductor, el aislamiento y la pantalla semiconductora sobre conductor, aplicando los elementos reconstitutivos al retirar el cuerpo del empalme previamente.

A continuación se ilustran los empalmes premoldeados del fabricante NTK para tensiones de 72.5 a 420 kV

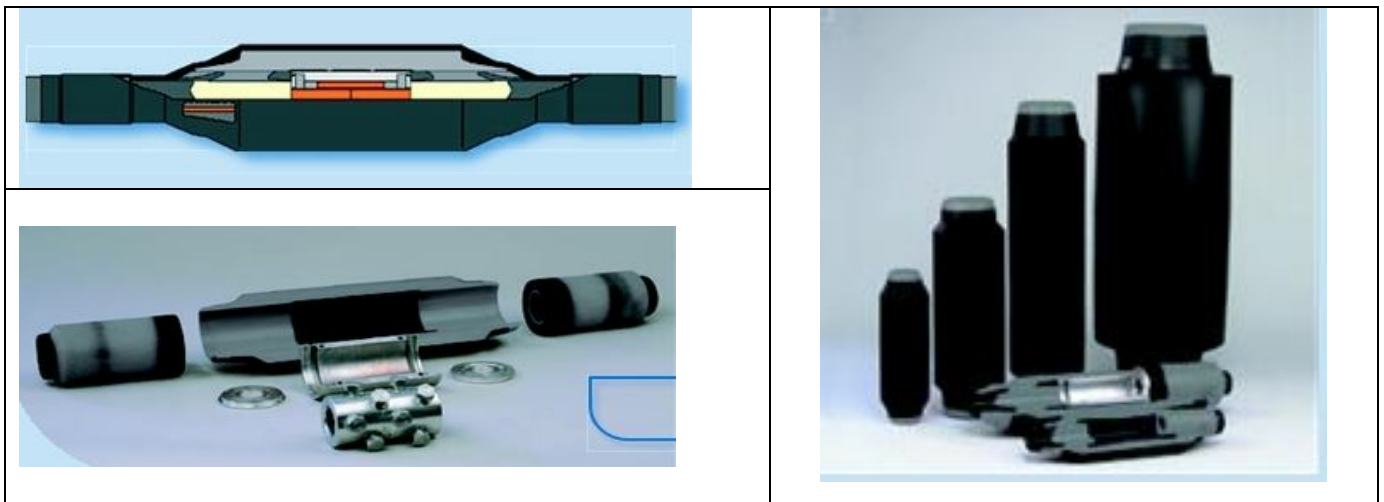


Figura 2.15 Empalmes premoldeados NTK 72.5 a 420 kV

Tabla 2.5 Características Técnicas empalmes de NTK de 72.5 a 420 kV

Características Técnicas							
Tensión máxima Um	kV	72.5	145	170	245	300	420
Tensión de impulso por rayo	kV	350	650	750	1050	1050	1425
Conductor Cu/Al máximo	mm²	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Longitud (aprox.)	mm	1000	1200	1500	1500	1700	1900

2.9.2 Determinación de la distancia máxima entre empalmes.

Para determinar la longitud máxima entre empalmes se consideran los siguientes parámetros:

1) La trayectoria de la línea, teniendo en cuenta los cambios de dirección tanto verticales como horizontales. Se deben tomar en cuenta las presiones laterales máximas de jalado de los cables.

2) El material del conducto y el tipo de lubricante que se utilizarán en la instalación, debido a que variará el coeficiente de fricción para cada caso. Así como en el inciso anterior se tomará en cuenta las tensiones máximas de jalado.

Tomando como referencia el catálogo “XLPE Cable Systems User’s guide”, de ABB, la tensión de jalado máximo permitido es de 70 N/mm² o 7 kg/mm².

3) La correcta selección del lubricante a emplear permite optimizar el número de registros a emplear por lo que su empleo se debe considerar desde la elaboración del proyecto.

4) El tipo de aterrizamiento de pantallas, considerando que en ningún momento la tensión inducida en el extremo de la pantalla será superior a 55 Volts según la NOM-001-2005.

Se propone como distancia máxima entre empalmes 1 kilómetro, ya que las dimensiones de la bobina en el cual se transporta el cable con ésta longitud, permite una buena maniobrabilidad. A continuación se muestran las características de la bobina donde se transportan los cables por parte del fabricante ABB para cables de 400 kV. Ver tabla 2.6

Tabla 2.6

Sección transversal del conductor (mm)	Diámetro externo del conductor (mm)	Longitud del cable (m)	Peso (kg)	Dimensiones del bobina
2000	131	1190	4000	Alto: 4.43 (m) Ancho: 2.4 (m)
2500	142	1190	4000	
3000	148	1190	4000	

2.9.3 Terminales.

Una terminal es un dispositivo adaptado en el extremo de un cable para asegurar la conexión eléctrica con otras partes del sistema y para mantener el aislamiento hasta el punto de conexión. Se pueden encontrar tres tipos de terminales para los cables:

- Terminales para exterior, diseñados para ser instalados en el exterior de subestaciones o en apoyos o torres cuando los cables subterráneos se han de conectar a líneas aéreas. consta de un aislante de porcelana o de material compuesto instalado en un cuerpo de fundición de aluminio. El cuerpo se compone, parcialmente de material aislante, lo que proporciona el aislamiento de la instalación.
- Terminales GIS o SF6 cuando la instalación acaba en una conexión a una subestación blindada. Este tipo de terminales son requeridos para la conexión en las cámaras GIS de SF6.
- Terminal inmerso en aceite Los terminales inmersos en aceite se usan en los transformadores donde se requiere que el cable finalice en un tanque montado al lado del transformador.

A continuación se presentan las terminales para exteriores y terminales para interruptores y transformadores del fabricante NTK Cables. Ver tablas 2.7 y 2.8

Tabla 2.7 Características Técnicas, terminales de NTK de 72.5 a 420 kV

Características Técnicas							
Tensión máxima Um	kV	145	170	245	300	420	550
Tensión de impulso por rayo	kV	650	750	1050	1050	1425	1550
Conductor Cu/Al máximo	mm ²	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Longitud (aprox.)	mm	1900	2100	2800	3200	4200	5000

Tabla 2.8 Terminales para exteriores de NTK de 72.5 a 420 kV



<p>Terminal para exteriores con aislador de porcelana</p>	<p>Este tipo de terminal cubre el rango de tensiones de 72,5 kV a 420 kV. Está disponible para los cables de presión de gas, cables en aceite y para los cables de XLPE. Se han usado durante muchos años con un amplio historial de servicio satisfactorio. El aislador puede proporcionarse en color marrón o gris.</p> <p>La protección con “spark gaps” o cuernos de arqueo están disponibles como opcionales.</p>	
<p>Terminal para exteriores con aislamiento de Composite</p>	<p>Este tipo de terminal esta disponible para cables XLPE. El diseño básico es idéntico al de la terminal de porcelana., sin embargo es mucho más ligero. Esta es una ventaja tanto para las maniobras y equipo de elevación como de las estructuras de soporte, como por ejemplos torres de líneas aéreas</p>	
<p>Terminal para exteriores tipo seco</p>	<p>La terminal tipo seco para cables XLPE esta completamente libre de cualquier líquido o gas de relleno. Aparte del aspecto ambiental, el diseño en seco tiene como ventaja una fácil instalación y no requiere equipo de relleno, por lo que es más económica su instalación.</p>	

Terminales para interruptores y transformadores.

Las diferentes versiones de las terminales para interruptores y transformadores, son diseñados para tensiones de operación de hasta 550 kV.

Las terminales cumplen con los estándares, las especificaciones y dimensiones, estipuladas por la norma IEC 60859 para terminales en interruptores y EN 50299 para terminales en transformadores. Las terminales, se pueden adaptar para ajustarse a la armazón existente que no cumplan con estos estándares. Ver tabla 2.9

Tabla 2.9 Terminales para equipo en subestaciones NTK.

<p>Terminal tipo seco</p>	<p>Diseño libre de cualquier líquido o fluido.</p> <p>Fácil instalación</p>	
<p>Terminal inmerso de líquido</p>	<p>Esta terminal esta equipada con un aislante de resina de epoxy. Así como en las terminales para exteriores, el mismo cono de alivio prefabricado esta hecho de goma de silicon.</p> <p>También en este caso, en el interior del aislamiento esta relleno con aceite de silicona. La resina aislante epoxy esta moldeado en una sola pieza con un anillo aislante en el fondo.</p> <p>De esta forma es posible aislar la pantalla metálica de tierra. Esto permite un tamaño reducido y la posibilidad de instarse en espacios confinados.</p>	

2.9.4 Bahías.

El arreglo de bahías de subestaciones debe considerar los valores de diseño para las cargas verticales y horizontales a que se someterá la estructura. Se debe colocar el apartarrayo lo más cerca posible de la terminal. En la figura 2.16 se ilustra la instalación típica del conjunto terminal, apartarrayos y cable de potencia. La selección del tipo de terminal esta en función del tipo de cable y de las condiciones donde se vaya a instalar (dentro o fuera de una subestación o en una zona de transición)

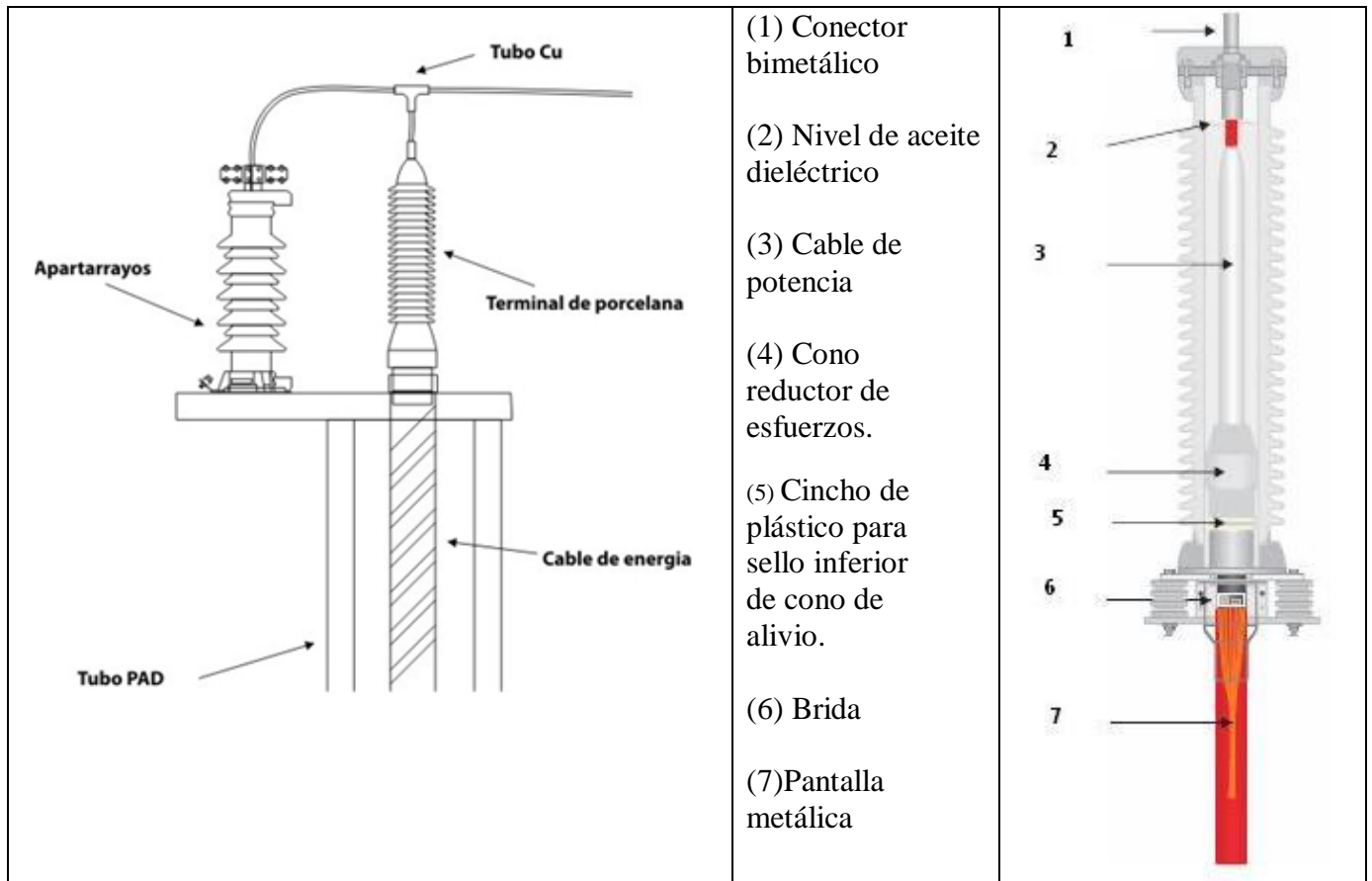


Figura 2.16 Instalación típica de una Bahía

2.9.5 Apartarrayos

Los apartarrayos deben estar diseñados para las tensiones requeridas en el proyecto. Los conectores terminales deben estar diseñados para recibir los cables conductores y de aterrizaje establecidos en el proyecto de línea. Para el diseño y fabricación del apartarrayo debe considerarse que será de CLASE III de acuerdo a la norma NRF-003-CFE “Apartarrayos de Óxidos Metálicos para Subestaciones”.

Es importante tomar en cuenta que para la selección de terminales y apartarrayos en transiciones de alta tensión en lugares de alta contaminación salina ó industrial la distancia de aislamiento para las corrientes de fuga será mayor que las que se instalen en los lugares en los que no exista contaminación.