Redes de Distribución Urbana

# NTR-02
# REDES SUBTERRÁNEAS DE MEDIA TENSIÓN – ASPECTOS ELÉCTRICOS

ESSA – Área de Proyectos – Equipo CET

| CONTROL DE CAMBIOS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Fecha** | **Naturaleza del cambio** | **Elaboró** | **Revisó** | **Aprobó** |
| 2020-04-15 | Elaboración | Equipo CET - Área de Proyectos | Equipo CET – Área de Proyectos | Comité técnico ESSA |
| 2022-08-09 | Ajustar Figura 7: DPS deben ir aguas abajo de la caja cortacircuitos | Equipo CET - Área de Proyectos | Equipo CET – Área de Proyectos | Equipo CET - Área de Proyectos |
| 2023-12-27 | Agregar constantes de regulación para longitudes en metros | Equipo CET - Área de Proyectos | Equipo CET – Área de Proyectos | Equipo CET - Área de Proyectos |
| Equipo Homologación y Normalización CET: Adriana Marcela Ortiz Roa, Fredy Antonio Pico Sánchez, Álvaro Ayala Rodríguez, Gema Liliana Carvajal Jiménez | | | | |

**CONTENIDO**

1. OBJETIVO ..... 7
2. ALCANCE ..... 7
3. DEFINICIONES ..... 7
4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA ..... 10
5. GENERALIDADES ..... 10
6. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS ..... 10
7. CONDUCTORES ..... 11
7.1. CONDUCTORES PERMITIDOS ..... 11
7.2. RESISTENCIA DEL CONDUCTOR ..... 13
7.3. REACTANCIA INDUCTIVA DEL CONDUCTOR DE LÍNEA TRIFÁSICA EQUILIBRADA ..... 14
7.4. FACTORES DE CORRECCIÓN DE CORRIENTE ..... 15
7.4.1. FACTOR POR TEMPERATURA ..... 15
7.4.2. FACTOR POR PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO ..... 15
7.5. INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLES EN LOS CONDUCTORES ..... 16
7.6. CAÍDA DE TENSIÓN ..... 16
7.7. PÉRDIDA DE POTENCIA ..... 17
7.8. CÓDIGO DE COLORES PARA CONDUCTORES ..... 17
7.9. EJEMPLO DE CÁLCULOS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS ..... 18
7.9.1. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA ..... 19
7.9.2. CÁLCULO DE LA REACTANCIA ELÉCTRICA ..... 21
7.10. EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE FACTORES DE PÉRDIDA ..... 22
7.10.1. INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLES EN LOS CONDUCTORES ..... 22
7.10.2. CAÍDA DE TENSIÓN ..... 24
7.10.3. FACTOR PARA PÉRDIDA DE POTENCIA ..... 25
8. CONEXIONES ELÉCTRICAS ..... 26
8.1. EMPALMES ..... 27
8.2. DERIVACIONES ..... 28
8.3. BARRAJES ..... 29
8.4. TERMINALES ..... 30
8.4.1. TERMINAL PREMOLDEADO TIPO INTERIOR ..... 30
8.4.2. TERMINAL PREMOLDEADO TIPO EXTERIOR ..... 30
9. PROTECCIÓN Y EQUIPOS DE CORTE ELÉCTRICO DE MEDIA TENSIÓN ..... 31
9.1. PROTECCIÓN CONTRA SOBREINTENSIDADES ..... 31
9.2. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ..... 31
9.3. SECCIONADOR DE MANIOBRA SUMERGIBLE ..... 31
10. AFLORAMIENTOS ..... 32
11. INSTALACIÓN DE CONDUCTORES EN DUCTOS ..... 35
11.1. CONSIDERACIONES GENERALES ..... 35
11.2. DISTRIBUCIÓN DE CONDUCTORES EN DUCTO ..... 36
11.3. MÁXIMA TENSIÓN DE HALADO O TENDIDO ..... 37
11.4. CONSIDERACIONES PARA CABLES QUE DEBAN HALARSE CON CUBIERTA DE MALLA DE ACERO O FUNDA SOBRE LA CHAQUETA ..... 38
11.5. PRESIÓN LATERAL EN CURVAS ..... 38
11.6. RADIO MÍNIMO DE CURVATURA ..... 40
11.7. SOPORTES PARA LOS CABLES Y PREMOLDEADOS ..... 40
11.8. PUESTA A TIERRA DE PANTALLAS ELECTROSTÁTICAS ..... 40
11.9. REVISIÓN Y PRUEBA DE LA LÍNEA ..... 40

12. MANTENIMIETO DE REDES SUBTERRÁNEAS ..... 41
12.1. MANTENIMIENTO DEL CABLE ..... 41
12.2. MANTENIMIENTO EN CÁMARAS Y CAJAS ..... 42
12.3. MANTENIMIENTO EN EMPALMES Y TERMINALES ..... 42
12.4. MANTENIMIENTO EN LA CONEXIÓN A TIERRA DEL CIRCUITO DE PANTALLA EN LOS CONECTORES PREMOLDEADOS ..... 43
12.5. PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO ..... 43
12.5.1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ..... 43
12.5.2. PRUEBA DE ALTA TENSIÓN EN CORRIENTE CONTINUA ..... 44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Documentos de Referencia. ..... 10
Tabla 2. Capacidad de corriente para calibres de cobre. ..... 12
Tabla 3. Capacidad de corriente para calibres de aluminio. ..... 13
Tabla 4. Constante en Función del Número de Alambres. ..... 15
Tabla 5. Ejemplos de factor de corrección por temperatura. ..... 15
Tabla 6. Profundidad de Enterramiento. ..... 16
Tabla 7. Código de Colores para Conductores. ..... 18
Tabla 8. Características del Conductor de Aluminio 4/0 AWG Aislado. ..... 18
Tabla 9. Variables de Entrada para el Cálculo de la Resistencia Eléctrica. ..... 19
Tabla 10. Resistencia Eléctrica para Cables de Aluminio. ..... 20
Tabla 11. Resistencia Eléctrica para Cables de Cobre. ..... 20
Tabla 12. Variables de Entrada para el Cálculo de la Reactancia Eléctrica. ..... 21
Tabla 13. Reactancia Eléctrica para Cables de Aluminio. ..... 21
Tabla 14. Reactancia Eléctrica para Cables de Cobre. ..... 22
Tabla 15. Variables de Entrada para el Cálculo de la Intensidad de Cortocircuito Admisible en los Conductores. ..... 22
Tabla 16. Intensidad de Cortocircuito Admisible en Cables de Aluminio. ..... 23
Tabla 17. Intensidad de Cortocircuito Admisible en Cables de Cobre. ..... 23
Tabla 18. Variables de Entrada para el Cálculo de la Caída de Tensión en los Conductores. ..... 24
Tabla 19. Caída de Tensión en Cables de Aluminio. ..... 25
Tabla 20. Caída de Tensión en Cables de Cobre. ..... 25
Tabla 21. Variables de Entrada para el Cálculo de la Pérdida de Potencia en los Conductores. ..... 25
Tabla 22. Factor para Pérdida de Potencia en Cables de Aluminio. ..... 26
Tabla 23. Factor para Pérdida de Potencia en Cables de Cobre. ..... 26

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1. Circuitos por Canalización.** ..... 12
**Figura 2. Empalme Premoldeado Modular.** ..... 28
**Figura 3. Empalme Premoldeado Permanente.** ..... 28
**Figura 4. Empalme Premoldeado Modular con Una Derivación.** ..... 29
**Figura 5. Barraje de 4 vías.** ..... 29
**Figura 6. Terminal Premoldeado Tipo Exterior.** ..... 30
**Figura 7. Transición Aérea – Subterránea NC-RA2-911.** ..... 33
**Figura 8. Acomodo de Cables en un Ducto.** ..... 36

## 1. OBJETIVO

Establecer los requisitos mínimos para el diseño eléctrico de redes subterráneas de media tensión, cumpliendo con lo dispuesto en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

## 2. ALCANCE

Esta norma tiene como alcance establecer los parámetros para el diseño de las redes subterráneas de media tensión para atender la demanda de los usuarios finales de ESSA, de manera que se garantice una excelente calidad técnica y operativa.

Esta norma aplica a todas las instalaciones eléctricas nuevas, ampliaciones y remodelaciones que se realicen en redes de distribución.

## 3. DEFINICIONES

**Afloramiento:** punto de división donde la red eléctrica subterránea se deriva a aérea o viceversa.

**Alambre:** hilo o filamento de metal, trefilado o laminado, usado como conductor de corriente eléctrica.

**Barrajes:** punto de conexión de distintos elementos o circuitos. Pueden ser elementos rígidos o conductores. Presenta características definidas de corriente y tensión.

**Borna terminal:** elemento que facilita la conexión a los terminales de los conductores.

**Campanas tapagoteras (capacetes):** elemento que evita el ingreso de agua a los ductos y cajas en una instalación eléctrica.

**Carga:** la potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.

**Chaqueta:** recubrimiento del conductor que ayuda a proteger el aislamiento y núcleo del mismo. Evita daños por fuerzas físicas y deterioro al proteger de sobreesfuerzos, humedad, fuego, entre otros. Generalmente son de polímero.

**Circuito:** conjunto de elementos, dispositivos y equipos eléctricos, interconectados entre sí, alimentados por la misma fuente de energía y con las mismas protecciones contra sobretensiones y sobrecorrientes. Los cableados internos de equipos no se toman como circuitos.

**Derivación:** tramo de red primaria subterránea con origen en el alimentador troncal principal de propiedad de ESSA.

**Descargador de sobretensiones (DPS):** dispositivo de protección para equipos eléctricos, limita el nivel de la sobretensión mediante la absorción de la mayor parte de la energía transitoria, minimizando la transmitida a los equipos y reflejando la otra parte hacia la red (se conoce erróneamente como pararrayos).

**Ducto:** tubería usada para la protección y enrutamiento del cableado eléctrico.

**Efecto corona:** fenómeno presentado cuando el potencial del conductor se eleva y sobrepasa la rigidez dieléctrica del aire haciendo que se ionice. Se asocia con altas temperaturas por lo cual podría ser visible con un color rojizo o azulado alrededor del conductor. Causante de pérdidas de energía.

**Elementos premoldeados:** accesorios como conectores o empalmes diseñados para mantener la integridad del aislamiento y apantallamiento original del cable utilizado en redes subterráneas. Fabricados en material siliconado de alta constante dieléctrica, sellados contra la humedad, resistentes a la llama y alta resistencia mecánica.

**Empalme:** conexión y reconstrucción de todos los elementos que constituyen un cable de potencia aislado, protegidos mecánicamente dentro de una misma cubierta o carcaza. En todo empalme se debe tener continuidad de las pantallas.

**Equipotencial:** superficie en la cual el valor del potencial se toma constante.

**Factor de carga:** razón entre la demanda promedio y la demanda máxima en el mismo periodo de tiempo. Indica el grado al cual el pico de la carga es sostenido durante el período seleccionado.

**Factor de potencia:** razón entre la potencia activa (kW) y la potencia de dimensionamiento (kVA).

**Factores de pérdida:** conocido también como factor de carga de las pérdidas, es la razón de las pérdidas promedio de potencia a las pérdidas máximas de potencia del sistema, en un periodo determinado.

**Falla:** degradación de componentes. Alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema o componente para cumplir una función requerida.

**Fase:** designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal.

**Gradiente de potencial:** indica el cambio del potencial eléctrico en un punto con respecto a su ubicación. Así mismo, permite identificar sus cambios y comportamiento.

**Herraje:** accesorio o parte metálica en una instalación eléctrica, diseñada fundamentalmente para desempeñar una función mecánica, no eléctrica. Entre sus funciones se encuentra el empalme, la fijación y el amortiguamiento.

**Megger:** conocido también como megohmetro; es un instrumento de medición de la resistencia de aislamiento en conductores o bobinados.

**Metales disímiles:** metales con características y propiedades diferentes entre sí.

**Nivel de aislamiento:** grado de protección de un equipo al usar materiales que impidan el paso de la corriente al exterior. El nivel de aislamiento brinda seguridad al momento de usar un equipo; entre mayor sea, más seguro.

**NTC:** Norma Técnica Colombiana.

**Pértiga:** herramienta usada para realizar distintas maniobras con equipos de alta tensión permitiendo una distancia adecuada.

**POT:** Plan de Ordenamiento Territorial.

**Puesta a tierra:** grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

**PVC:** Policloruro de Vinilo, material usado en instalaciones eléctricas en la fabricación de ductos de sección circular con interior liso y sin vena de unión que permite la protección y el transporte de conductores.

**Reconectador:** interruptor con posibilidad de reconexión automática al identificar una sobrecorriente, interrumpirla y establecer nuevamente la conexión para reenergizar la línea. Permite el monitoreo y la operación remota.

**Seccionador:** permite apertura visible en condición sin carga, está diseñado para funcionar luego de que el circuito es abierto o desenergizado por otros medios.

**SF6:** hexafluoruro de azufre, gas inodoro, incoloro, ininflamable y no toxico con características dieléctricas aprovechables en los equipos.

**Tendido:** grupo de conductores que conforman una instalación eléctrica.

**Tracción mecánica:** esfuerzo al que se somete un objeto al sufrir dos fuerzas contrarias que tienden a alargarlo o estirarlo.

## 4. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los reglamentos, las normas técnicas nacionales e internacionales y demás documentos empleados como referencia en esta norma de construcción, deben ser considerados en su versión más reciente.

**Tabla 1. Documentos de Referencia.**

| DOCUMENTO | NOMBRE |
|---|---|
| AEIC | Underground extruded power cable pulling guide |
| ET-TD-ME01-25 | Especificación técnica para cable de cobre de media tensión |
| ET-TD-ME01-11 | Especificación técnica para cable de aluminio aislados de media tensión |
| ET-TD-ME12-01 | Especificación técnica conectores, empalmes y terminales premoldeados |
| NC–RA2-911 | Norma de construcción red aérea nivel de tensión 13.2 kV. equipos y transición. configuración equipo con montaje de transición aérea-subterránea |
| NC-RA2-912 | Norma de construcción red aérea nivel de tensión 13.2 kV. equipos y transición. configuración equipo con montaje de salida de circuito con o sin emergencia |
| NC-RA2-914 | Norma de construcción red aérea nivel de tensión 13.2 kV. equipos y transición. configuración equipo con montaje de transición de red canalizada a cable aéreo aislado |
| RA6-010 | Norma Técnica Puesta a Tierra de Redes de Distribución Eléctrica. |
| IEC 60827 | Guide to Voltage Fluctuation Limits for Household Appliances. |
| RETIE | Resolución 90708 por la cual se expide el nuevo Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. |

## 5. GENERALIDADES

Los criterios para el diseño de las redes eléctricas subterráneas de media tensión comprenden aspectos como la elección del conductor, conexiones y protecciones eléctricas, afloramientos e instalación de conductores en ductos, entre otros.

Para efectuar cualquier trabajo de este tipo es indispensable previamente gestionar ante las entidades municipales los permisos necesarios y cumplir con lo establecido en el plan de ordenamiento territorial vigente.

Adicionalmente, de acuerdo con el RETIE no se admite la instalación de cables sobre el nivel del “suelo terminado”, que es aquel pisado habitualmente por las personas.

## 6. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

El sistema de distribución eléctrico de ESSA posee las siguientes características técnicas:

- Tensión primaria (M.T.): 13.2 kV, 13.8kV y 34.5 kV.

Nota: tensiones que no sean típicas deberán adoptar para el diseño y construcción, una tensión normalizada inmediatamente mayor a la requerida.

Los transformadores para la alimentación de redes de baja tensión subterráneas pueden ser de tipo pedestal (PAD-Mounted), sumergibles o semisumergibles y aéreos. Lo anterior siempre y cuando no contravenga lo dispuesto en el POT o normas urbanísticas establecidas por el respectivo municipio.

## 7. CONDUCTORES

Los conductores para redes subterráneas de media tensión generalmente son utilizados en cobre y deben cumplir los requerimientos eléctricos y mecánicos para las condiciones de su instalación. Se permite el uso de conductores de aluminio siempre que el cable este certificado para uso subterráneo, sea instalado por profesionales competentes y se cumpla una norma técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC, tanto del producto como en la instalación.
Las características mínimas de los cables monopolares de media tensión de cobre o aluminio, deben contar con:

- Las pantallas semiconductoras extruidas deberán ser de un material semiconductor negro termoestable, extra limpio y compatible con el material de aislamiento.
- El aislamiento debe ser con polietileno reticulado XLPE y debe ser apto para soportar temperaturas de 90°C bajo condiciones normales de operación.
- El nivel de aislamiento será del 100% o 133%.
- La pantalla metálica podrá ser en cinta o en hilos.
- La chaqueta deberá ser de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).

### 7.1. Conductores permitidos

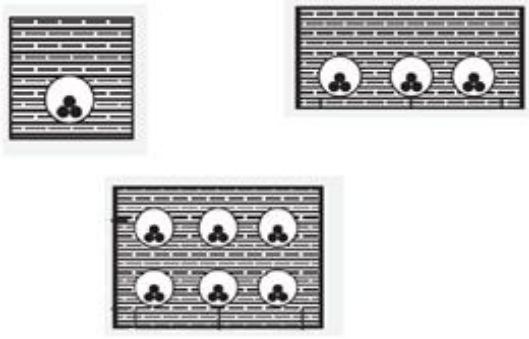
Los calibres permitidos por ESSA para conductores a instalar en proyectos nuevos de redes subterráneas de media tensión se establecen en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Calibres mínimos permitidos**

| Nivel de tensión | Circuitos Principales | | Circuitos Ramales | |
|---|---|---|---|---|
| | Cobre | Aluminio | Cobre | Aluminio |
| 34,5 kV | 500 kcmil | 750 kcmil | 4/0 AWG | 350 kcmil |
| 13,2 kV | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 1/0 AWG | 2/0 AWG |

Las corrientes de los conductores subterráneos de media tensión varían dependiendo del número de cables que se aloje en un ducto y también del número de circuitos que vaya por una canalización.

**Figura 1. Circuitos por Canalización.**



Nota:

- Circuito A, canalización con un circuito
- Circuito B, canalización con tres circuitos
- Circuito C, canalización con seis circuitos

Los **cables de cobre** monopolares a utilizar deben cumplir lo establecido en ET-TD-ME01-25.

**Tabla 3. Capacidad de corriente para calibres de cobre.**

| AWG/kcmil | Capacidad de Corriente [A] | | |
|---|---|---|---|
| | Circuito A | Circuito B | Circuito C |
| 2 | 155 | 130 | 105 |
| 1/0 | 200 | 165 | 135 |
| 2/0 | 230 | 185 | 150 |
| 4/0 | 295 | 240 | 190 |
| 250 | 325 | 260 | 210 |
| 350 | 390 | 310 | 245 |
| 500 | 465 | 370 | 290 |
| 750 | 565 | 440 | 350 |
| 1000 | 640 | 495 | 390 |

Nota: Capacidad de corriente de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, el montaje de los ductos eléctricos, de acuerdo con la Figura 1, factor de carga del 100 %, resistencia térmica $\rho$ (Rho) de 90 [°C-cm/W], temperaturas del conductor de 90 °C.

Los **cables de aluminio** monopolares a utilizar deben cumplir lo establecido en la especificación técnica del Grupo EPM ET-TD-ME01-11.

**Tabla 4. Capacidad de corriente para calibres de aluminio.**

| AWG/kcmil | Capacidad de Corriente [A] | | |
|---|---|---|---|
| | Circuito A | Circuito B | Circuito C |
| 1/0 | 155 | 125 | 105 |
| 2/0 | 175 | 145 | 115 |
| 4/0 | 230 | 185 | 150 |
| 250 | 250 | 200 | 165 |
| 350 | 305 | 245 | 195 |
| 500 | 370 | 290 | 230 |
| 750 | 455 | 355 | 280 |
| 1000 | 525 | 405 | 320 |

Nota: Capacidad de corriente de tres conductores de aluminio, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por cada ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, el montaje de los ductos eléctricos, de acuerdo con la Figura 1, factor de carga del 100 %, resistividad térmica $\rho$ de 90 [°C-cm/W], temperaturas del conductor de 90 °C.

## 7.2. Resistencia del conductor

La resistencia del conductor empleado, en ohmios por km, depende de las características y sección de este y de la temperatura de trabajo de la línea.

La temperatura máxima de trabajo prevista es de 90º C para el conductor y 70º C para la pantalla. El valor de la resistencia en corriente continua para un conductor cuya temperatura máxima de trabajo es 90º C, se calcula a partir del valor a 20º C, mediante la siguiente expresión:

$$R_{90} = R_{20}[1 + \alpha * (90 - 20)]$$

Donde:

R: Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura 90 ºC (Ω /km).
α: Coeficiente de variación de la resistividad en función de la temperatura, siendo α = 0,00403 para conductores de aluminio y 0,00393 para conductores de cobre (ºC-1) para una temperatura de 20º C.

En cuanto a la resistencia en corriente alterna, es necesario tener en cuenta el efecto piel y el efecto proximidad que dan lugar a un aumento de la resistencia aparente del conductor. El valor de la resistencia en corriente alterna según la norma IEC 60287 será:

$$R_{ca} = R_{cc}(1 + K_S + K_p)$$

Siendo:

Rca: Resistencia del conductor en corriente alterna (Ω/km).
Rcc: Resistencia del conductor en corriente continua (Ω /km).
Ks: Coeficiente por efecto piel. Su valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K_S = \frac{3{,}28 * f^2 * S^2}{\rho_\theta^2 * 10^8}$$

Donde:

f: Frecuencia de la corriente (60 Hz).
s: Sección efectiva del conductor ($mm^2$).
$\rho_\theta$: Resistividad del conductor a la temperatura considerada. Para conductores de aluminio a 90ºC, $\rho_\theta$= 36,237 (Ω $mm^2$/km) y para conductores de cobre para 70ºC de temperatura $\rho_\theta$= 20,6288 (Ω $mm^2$/km).
Kp: Coeficiente por efecto proximidad. Su valor se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$K_p = 2{,}9 * K_S * a^2$$

Donde:

Ks: Coeficiente por efecto piel.
a: Relación entre el diámetro del conductor y la distancia entre los ejes de los conductores más próximos.

### 7.3. Reactancia inductiva del conductor de línea trifásica equilibrada

La reactancia de una línea trifásica, por unidad de longitud y por fase, para líneas equilibradas, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$X = 2 * \pi * f * £$$

Siendo:

f: Frecuencia de la red (60 Hz).
£: Coeficiente de Inducción Mutua por unidad de longitud (H/km).

El coeficiente de inducción por unidad de longitud (£) vendrá dado por la expresión:

$$£ = \left(K + 4{,}605 * log_{10}\left(\frac{2 * Dm}{d}\right)\right) * 10^{-4}$$

Donde:
K: Constante que depende del número de alambres que conforman el conductor, de acuerdo con los valores de la tabla 5:

**Tabla 5. Constante en Función del Número de Alambres.**

| No de Alambres | 1 | 7 | 19 | 37 | 61 o más |
|---|---|---|---|---|---|
| K | 0,5 | 0,64 | 0,55 | 0,53 | 0,51 |

Dm: Distancia media geométrica entre conductores. Los conductores se instalarán en triángulo, estando las tres fases en contacto mutuo, por lo tanto, la distancia media geométrica coincide con el diámetro exterior del conductor (mm).

d: Diámetro del conductor (mm).

## 7.4. Factores de corrección de corriente

### 7.4.1. Factor por temperatura

La capacidad de corriente para conductores enterrados en ductos con temperatura distinta de 20 °C para media tensión (MT) se debe corregir mediante la fórmula mostrada a continuación:

$$I' = I * \sqrt{\frac{T_c - T'_a}{T_c - T_a}}$$

Donde:

I’ = capacidad de corriente (ampacity) corregida para la temperatura ambiente
I = capacidad de corriente (ampacity) para Tc y Ta
Tc = temperatura nominal del conductor en °C
Ta’ = temperatura del nuevo ambiente en °C
Ta = temperatura ambiente usada en la tabla °C

Teniendo en cuenta los datos suministrados en las tablas 3 y 4, a continuación, se observan algunos ejemplos de factor de corrección por temperatura:

**Tabla 6. Ejemplos de factor de corrección por temperatura.**

| Temperatura [°C] – Ta’ | 25 | 30 | 35 | 40 |
|---|---|---|---|---|
| Factor de corrección por temperatura | 0,963624112 | 0,9258201 | 0,88640526 | 0,845154255 |

### 7.4.2. Factor por profundidad de enterramiento

Cuando se modifica la profundidad de enterramiento, de circuitos en bancos de ductos eléctricos, en relación con los valores presentados en la tabla 7, se permite modificar las capacidades de corriente tal como se indica a continuación:

a) Si la profundidad de enterramiento es mayor que la indicada en la tabla 7, a la capacidad de corriente se le debe aplicar un factor de corrección del 6 % por cada 0,3 m de aumento en la profundidad, para cualquier valor de $\rho$.

b) Si aumenta la profundidad de enterramiento en partes de un tramo del ducto eléctrico existente, no es necesario reducir la capacidad de corriente de los conductores, siempre que la longitud total de las partes del tendido del ducto en que se aumenta la profundidad sea menor al 25% de la longitud total de tendido.

**Tabla 7. Profundidad de Enterramiento.**

| Tensión fase – fase (V) | Profundidad Ducto (m.) |
|---|---|
| Alumbrado público | 0.50 |
| 601 a 34500 | 0.75 |

## 7.5. Intensidades de cortocircuito admisibles en los conductores

Es la intensidad que no provoca ninguna disminución de las características de aislamiento de los conductores, incluso después de un número elevado de cortocircuitos.

Se calcula admitiendo que el calentamiento de los conductores se realiza en un sistema adiabático (a calor constante) y para una temperatura máxima admitida por el aislamiento de 250 °C. La intensidad máxima de cortocircuito para un conductor de sección S, viene dada por:

$$I_{cc} = K * S * \sqrt{\frac{1}{t}} \quad [A]$$

Donde:

Icc: Intensidad máxima de cortocircuito (A).
K: Coeficiente que depende de la naturaleza del conductor, del aislamiento y de sus temperaturas al principio y al final del cortocircuito. En este caso se toman como valores 143 para el cobre y 93 para el aluminio.
S: Sección del conductor ($mm^2$).
t: Tiempo de duración del cortocircuito (s).

## 7.6. Caída de tensión

Dadas las características particulares de distribución será necesario tener en cuenta la caída de tensión que se produce en la línea, debido a la propia resistencia de los conductores.

Los cálculos serán aplicables a un tramo de línea, siendo la caída total de tensión la suma de las caídas en cada uno de los tramos intermedios.
La caída de tensión por resistencia y reactancia de una línea trifásica viene dada por la fórmula:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * (R * cos\varphi + X * sen\varphi) * L$$

Donde:

ΔU: Caída de tensión compuesta (V).
I: Intensidad de la línea (A).
R: Resistencia del conductor en Ω/km para una temperatura de 90ºC.
X: Reactancia inductiva en Ω/km.
L: Longitud de la línea en km.
Teniendo en cuenta que:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * cos\varphi}$$

Donde:

P: Potencia trifásica transportada en kilovatios.
U: Tensión entre dos fases en kilovoltios.

La caída de tensión en tanto por ciento será para L en km:

$$U\% = \frac{P * L}{10 * U^2}(R + X * tan\varphi)$$

La caída de tensión en tanto por ciento será para L en m:

$$U\% = \frac{P * L}{10 * U^2}(R + X * tan\varphi) * 10^{-3}$$

### 7.7. Pérdida de potencia

La fórmula para calcular la pérdida de potencia en % para líneas trifásicas equilibradas es la siguiente:

$$\Delta P\% = P * L * \frac{R}{10 . U^2 . cos^2\emptyset}$$

Siendo:

P: Potencia (kW).
L: Longitud de la línea en km.
U: Tensión compuesta (kV).
Cos ∅: Factor de potencia.

Nota: las pérdidas totales no deben superar los porcentajes máximos permitidos en las redes de ESSA: 1.85% para redes de distribución de 34.5kV y 1.73% para redes de distribución de 13.2kV.

### 7.8. Código de colores para conductores

Con el objetivo de evitar accidentes por errónea interpretación del nivel de tensión y tipo de sistema utilizado, se debe cumplir con el código de colores para conductores aislados de potencia. Se tomará como válido 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 de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 8. Código de Colores para Conductores.**

| Sistema AC | 3ΦΔ | 3ΦY |
|---|---|---|
| Tensión nominal [V] | Más de 1000V | Más de 1000V |
| Conductor activo | 3 fases | 3 fases |
| Fase | Violeta, Café, Rojo | Amarillo, Violeta, Rojo |
| Neutro | No aplica | No aplica |
| Tierra de protección | Desnudo o verde | No aplica |
| Tierra aislada | No aplica | No aplica |

## 7.9. EJEMPLO DE CÁLCULOS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

En esta sección se presenta un ejemplo de cálculo para la resistencia y reactancia de tres conductores 4/0 de Aluminio para 13,2 kV con configuración en haz (ver Figura 1, disposición a) XLPE 100%. En la siguiente tabla se establecen las características técnicas según el calibre del conductor de MT.

**Tabla 9. Características del Conductor de Aluminio 4/0 AWG Aislado.**

| | |
|---|---|
| Denominación del conductor | 4/0 AWG |
| Nivel de Tensión [kV] | 13,2 |
| **Conductor** | |
| No. de alambres | 19 |
| Diámetro del alambre [mm] | 2,68 |
| Diámetro nominal conductor [mm] | 13,01 |
| Sección del conductor [$mm^2$] | 107,2 |
| **Pantalla semiconductora del conductor** | |
| Espesor [mm] | 0,06 |
| **Aislamiento** | |
| Espesor [mm] | 4,45 |
| **Pantalla** | |
| Calibre mínimo | 14AWG |
| **Cubierta** | |
| Espesor [mm] | 1,27 |
| Diámetro exterior total [mm] | 29,2 |
| Radio mínimo de curvatura [mm] | 350 |
| Peso aproximado [kg/km] | 957 |

### 7.9.1. Cálculo de la resistencia eléctrica

Para el cálculo de este parámetro es necesario identificar los datos establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Variables de Entrada para el Cálculo de la Resistencia Eléctrica.**

| VARIABLES DE ENTRADA | |
|---|---|
| **Rcc a 20°C [Ω/km]** | 0,2682 |
| **α** | 0,00403 |
| **Frecuencia F [Hz]** | 60 |
| **S [mm²]** | 107,2 |
| **Resistividad Al $\rho_\theta$** | 36,237 |
| **Diámetro del conductor (Dc) [mm]** | 13,01 |
| **Distancia entre los ejes (De) [mm]** | 29,2 |

El primer cálculo para realizar es la conversión a la temperatura establecida para operar, en este caso 90°C, reemplazando lo valores mencionados en la siguiente fórmula:

$$R_{90} = R_{20}[1 + \alpha * (90 - 20)]$$
$$R_{90} = R_{20}[1 + 0{,}00403 * (90 - 20)]$$
$$R_{90} = 0{,}34385$$

Como segundo paso se calcula el factor Ks, reemplazando las variables mencionadas anteriormente.

$$K_S = \frac{3{,}28 * f^2 * S^2}{\rho_\theta^2 * 10^8}$$
$$K_S = \frac{3{,}28 * 60^2 * 107{,}2^2}{36{,}237^2 * 10^8}$$
$$K_S = 10{,}3338 * 10^{-4}$$

En tercer lugar, se calcula la constante Kp, reemplazando las variables mencionadas en la tabla 10.

$$K_p = 2{,}9 * K_S * a^2$$
$$a = \frac{Dc}{De} = \frac{13{,}01}{29{,}2}\,0{,}4455$$
$$K_p = 2{,}9 * K_S * a^2$$
$$K_p = 2{,}9 * 10{,}3338 * 10^{-4} * 0{,}4455^2$$
$$K_p = 5{,}9491 * 10^{-4}$$

Para calcular la resistencia eléctrica en corriente alterna se utiliza la siguiente expresión:

$$R_{ca} = R_{cc}(1 + K_S + K_p)$$
$$R_{ca} = 0{,}34385 * (1 + 10{,}3338 * 10^{-4} + 5{,}9491 * 10^{-4})$$
$$R_{ca} = 0{,}3444$$

Del cálculo mostrado anteriormente aplicado a otros calibres y a 13,2kV y 34,5 kV se obtiene:

**Tabla 11. Resistencia Eléctrica para Cables de Aluminio.**

| Calibre | Tensión [kV] | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rcc a 20°C | 13,2/34,5 | 0,622 | 0,430 | 0,2682 | 0,1135 | 0,0759 |
| alfa 20°C | 13,2/34,5 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| f | 13,2/34,5 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| S | 13,2/34,5 | 53,48 | 67,43 | 107,2 | 253,3 | 380 |
| Resistividad Al | 13,2/34,5 | 36,237 | 36,237 | 36,237 | 36,237 | 36,237 |
| Diámetro nominal del conductor (d) | 13,2/34,5 | 9,47 | 10,63 | 13,01 | 20,04 | 24,59 |
| Diámetro exterior total (Dm) | 13,2 | 27,4 | 28,5 | 29,2 | 37,6 | 43,7 |
| | 34,5 | - | 37,8 | 38,4 | 47,8 | 43,7 |
| d/Dm | 13,2 | 0,3456 | 0,3729 | 0,4455 | 0,533 | 0,5627 |
| | 34,5 | - | 0,2812 | 0,3388 | 0,4192 | 0,5627 |
| Rcc a 90°C | 13,2 | 0,7975 | 0,5513 | 0,3439 | 0,1455 | 0,0973 |
| Ks | 13,2/34,5 | 0,00026 | 0,0004 | 0,001 | 0,0058 | 0,0130 |
| Kp | 13,2 | 0,00009 | 0,00016 | 0,0006 | 0,0048 | 0,0119 |
| | 34,5 | - | 0,0009 | 0,0003 | 0,0029 | 0,0119 |
| Rca | 13,2 | 0,798 | 0,551 | 0,3444 | 0,1470 | 0,0997 |
| | 34,5 | - | 0,552 | 0,3443 | 0,1468 | 0,0997 |

**Tabla 12. Resistencia Eléctrica para Cables de Cobre.**

| Calibre | Tensión [kV] | 2 AWG | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 250 kcmil | 350 kcmil | 500 kcmil | 750 Kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rcc a 20°C | 13,2/34,5 | 0,53 | 0,34 | 0,27 | 0,17 | 0,14 | 0,10 | 0,07 | 0,05 |
| alfa 20°C | 13,2/34,5 | 3,93E-03 | 3,93E-03 | 3,93E-03 | 3,93E-03 | 3,93E-03 | 3,93E-03 | 3,93E-03 | 3,93E-03 |
| F | 13,2/34,5 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| S | 13,2/34,5 | 33,60 | 53,50 | 67,40 | 107,00 | 127,00 | 177,00 | 253,00 | 380,00 |
| Resistividad Al | 13,2/34,5 | 20,63 | 20,63 | 20,63 | 20,63 | 20,63 | 20,63 | 20,63 | 20,63 |
| Diámetro nominal del conductor (d) | 13,2/34,5 | 6,81 | 8,53 | 9,55 | 12,10 | 13,20 | 15,60 | 18,70 | 23,10 |
| Diámetro exterior total (Dm) | 13,2 | 23,40 | 25,10 | 26,10 | 28,60 | 29,80 | 32,80 | 35,80 | 40,20 |
| | 34,5 | - | - | 35,10 | 37,60 | 38,80 | 41,20 | 45,80 | 51,10 |
| d/Dm | 13,2 | 2,91E-01 | 3,40E-01 | 3,66E-01 | 4,23E-01 | 4,43E-01 | 4,76E-01 | 5,22E-01 | 5,75E-01 |
| | 34,5 | - | - | 3,66E-01 | 4,23E-01 | 4,43E-01 | 4,76E-01 | 5,22E-01 | 5,75E-01 |
| Rcc a 90°C | 13,2/34,5 | 6,77E-01 | 4,27E-01 | 3,39E-01 | 2,13E-01 | 1,80E-01 | 1,29E-01 | 9,03E-02 | 6,02E-02 |
| Ks | 13,2/34,5 | 3,13E-04 | 7,94E-04 | 1,26E-03 | 3,18E-03 | 4,48E-03 | 8,69E-03 | 1,78E-02 | 4,01E-02 |
| Kp | 13,2 | 8,28E-08 | 6,22E-07 | 1,69E-06 | 1,24E-05 | 2,57E-05 | 1,04E-04 | 4,78E-04 | 2,68E-03 |
| | 34,5 | - | - | 1,69E-06 | 1,24E-05 | 2,57E-05 | 1,04E-04 | 4,78E-04 | 2,68E-03 |
| Rca | 13,2 | 6,77E-01 | 4,27E-01 | 3,40E-01 | 2,14E-01 | 1,81E-01 | 1,30E-01 | 9,19E-02 | 6,28E-02 |
| | 34,5 | - | - | 3,40E-01 | 2,14E-01 | 1,81E-01 | 1,30E-01 | 9,19E-02 | 6,28E-02 |

### 7.9.2. Cálculo de la reactancia eléctrica

Para el cálculo de este parámetro es necesario identificar los datos establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 13. Variables de Entrada para el Cálculo de la Reactancia Eléctrica.**

| VARIABLES DE ENTRADA | |
|---|---|
| **K** | 0,55 |
| **Distancia media geométrica entre conductores (Dm) [mm]** | 29,2 |
| **Diámetro del conductor (d) [mm]** | 13,01 |
| **Frecuencia F [Hz]** | 60 |

El primer lugar, se calcula el coeficiente de inducción mutua por unidad de longitud (£):

$$£ = \left(K + 4{,}605 * log_{10}\left(\frac{2 * Dm}{d}\right)\right) * 10^{-4}$$

$$£ = \left(0{,}55 + 4{,}605 * log_{10}\left(\frac{2 * 29{,}2}{13{,}01}\right)\right) * 10^{-4}$$

$$£ = 3{,}5531 * 10^{-4}\ \frac{H}{km}$$

Como segundo paso se calcula la reactancia de una línea trifásica:

$$X = 2 * \pi * f * £$$

$$X = 2 * \pi * 60 * 3{,}5531 * 10^{-4}$$

$$X = 0{,}1339$$

Del cálculo mostrado anteriormente aplicado a otros calibres y a 13,2kV y 34,5 kV se obtiene:

**Tabla 14. Reactancia Eléctrica para Cables de Aluminio.**

| Calibre | Tensión [kV] | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **K** | 13,2/34,5 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,53 | 0,51 |
| **Diámetro exterior total (Dm)** | 13,2 | 27,4 | 28,5 | 29,2 | 37,6 | 43,7 |
| | 34,5 | - | 37,8 | 38,4 | 47,8 | 54,4 |
| **Diámetro nominal del conductor (d)** | 13,2/34,5 | 9,47 | 10,63 | 13,01 | 20,04 | 24,59 |
| **F** | 13,2/34,5 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| **Cte** | 13,2 | 5.7866 | 5,3621 | 4,4889 | 3,7525 | 3,5543 |
| | 34,5 | - | 7,1119 | 5,9032 | 4,7705 | 4,4245 |
| **E** | 13,2 | 0,0004 | 0,00039 | 0,00035 | 0,00032 | 0,00030 |
| | 34,5 | - | 0,00047 | 0,00041 | 0,00037 | 0,00035 |
| **X** | 13,2 | 0,1530 | 0,1470 | 0,1339 | 0,1197 | 0,1148 |
| | 34,5 | - | 0,1771 | 0,1546 | 0,1378 | 0,1328 |

**Tabla 15. Reactancia Eléctrica para Cables de Cobre.**

| Calibre | Tensión [kV] | 2 AWG | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 250 kcmil | 350 kcmil | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **No Hilos** | 13,2/34,5 | 7 | 19 | 19 | 19 | 37 | 37 | 37 | 61 |
| **K** | 13,2/34,5 | 0,64 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,51 |
| **Diámetro exterior total (Dm)** | 13,2 | 23,40 | 25,10 | 26,10 | 28,60 | 29,80 | 32,80 | 35,80 | 40,20 |
| | 34,5 | - | - | 35,10 | 37,60 | 38,80 | 41,20 | 45,80 | 51,10 |
| **Diámetro nominal del conductor(d)** | 13,2/34,5 | 6,81 | 8,53 | 9,55 | 12,10 | 13,20 | 15,60 | 18,70 | 23,10 |
| **F** | 13,2/34,5 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| **Cte** | 13,2 | 6,87 | 5,89 | 5,47 | 4,73 | 4,52 | 4,21 | 3,83 | 3,48 |
| | 34,5 | - | - | 7,35 | 6,21 | 5,88 | 5,28 | 4,90 | 4,42 |
| **E** | 13,2 | 4,49E-04 | 4,09E-04 | 3,95E-04/ | 3,66E-04 | 3,54E-04 | 3,40E-04 | 3,22E-04 | 3,00E-04 |
| | 34,5 | - | - | 4,54E-04 | 4,20E-04 | 4,07E-04 | 3,86E-04 | 3,71E-04 | 3,48E-04 |
| **X** | 13,2 | 1,69E-01 | 1,54E-01 | 1,49E-01 | 1,38E-01 | 1,34E-01 | 1,28E-01 | 1,21E-01 | 1,13E-01 |
| | 34,5 | - | - | 1,71E-01 | 1,58E-01 | 1,54E-01 | 1,45E-01 | 1,40E-01 | 1,31E-01 |

## 7.10. Ejemplo para el cálculo de factores de pérdida

Considerando los parámetros eléctricos calculados en el ejemplo anterior para el conductor 4/0 de Aluminio para 13,2 kV y 34,5, se calculan los factores como: intensidades de cortocircuito admisibles en los conductores, caída de tensión, pérdida de potencia.

### 7.10.1. Intensidades de cortocircuito admisibles en los conductores

Para el cálculo de este parámetro es necesario identificar los datos establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 16. Variables de Entrada para el Cálculo de la Intensidad de Cortocircuito Admisible en los Conductores.**

| VARIABLES DE ENTRADA | |
|---|---|
| **K (Al)** | 93 |
| **S [m²]** | 107,2 |
| **t [s]** | 0,1 |

Ahora mediante la siguiente expresión se calcula la intensidad de cortocircuito:

$$I_{cc} = K * S * \sqrt{\frac{1}{t}} \quad [A]$$

Reemplazando los datos expuestos en la tabla 16, se obtiene:

$$I_{cc} = 93 * 107{,}2 * \sqrt{\frac{1}{0{,}1}} \quad [A]$$

$$I_{cc} = 31{,}53\ [kA]$$

Del cálculo mostrado anteriormente aplicado a otros calibres y a 13,2kV y 34,5 kV se obtiene:

**Tabla 17. Intensidad de Cortocircuito Admisible en Cables de Aluminio.**

| Tensión 13,2/34,5 [kV] | | | Tiempo [s] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Calibre** | **K** | **S** | **0,1** | **0,2** | **0,3** | **0,4** | **0,5** | **0,6** | **0,7** | **0,8** | **0,9** |
| **1/0 AWG** | 93 | 53,51 | 15,7368 | 11,1276 | 9,0857 | 7,8684 | 7,0377 | 6,4245 | 5,9479 | 5,5638 | 5,2456 |
| **2/0 AWG** | 93 | 67,44 | 19,8336 | 14,0244 | 11,4509 | 9,9168 | 8,8698 | 8,0970 | 7,4964 | 7,0122 | 6,6112 |
| **4/0 AWG** | 93 | 107,2 | 31,5266 | 22,2927 | 18,2019 | 15,7633 | 14,0991 | 12,8707 | 11,9160 | 11,1464 | 10,5089 |
| **500 kcmil** | 93 | 253,3 | 74,4935 | 52,6748 | 43,0088 | 37,2467 | 33,3145 | 30,4118 | 28,1559 | 26,3374 | 24,8312 |
| **750 kcmil** | 93 | 380 | 111,7549 | 79,0226 | 64,5217 | 55,8774 | 49,9783 | 45,6237 | 42,2394 | 39,5113 | 37,2516 |

**Tabla 18. Intensidad de Cortocircuito Admisible en Cables de Cobre.**

| Tensión 13,2/34,5 [kV] | | | Tiempo [s] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Calibre** | **K** | **S** | **0,1** | **0,2** | **0,3** | **0,4** | **0,5** | **0,6** | **0,7** | **0,8** | **0,9** |
| **2 AWG** | 143 | 33,60 | 15,19 | 10,74 | 8,77 | 7,60 | 6,80 | 6,20 | 5,74 | 5,37 | 5,06 |
| **1/0 AWG** | 143 | 53,50 | 24,19 | 17,11 | 13,97 | 12,10 | 10,82 | 9,88 | 9,14 | 8,55 | 8,06 |
| **2/0 AWG** | 143 | 67,40 | 30,48 | 21,55 | 17,60 | 15,24 | 13,63 | 12,44 | 11,52 | 10,78 | 10,16 |
| **4/0 AWG** | 143 | 107,00 | 48,39 | 34,21 | 27,94 | 24,19 | 21,64 | 19,75 | 18,29 | 17,11 | 16,13 |
| **250 kcmil** | 143 | 127,00 | 57,43 | 40,61 | 33,16 | 28,72 | 25,68 | 23,45 | 21,71 | 20,30 | 19,14 |
| **350 kcmil** | 143 | 177,00 | 80,04 | 56,60 | 46,21 | 40,02 | 35,80 | 32,68 | 30,25 | 28,30 | 26,68 |
| **500 kcmil** | 143 | 253,00 | 114,41 | 80,90 | 66,05 | 57,20 | 51,16 | 46,71 | 43,24 | 40,45 | 38,14 |
| **750 kcmil** | 143 | 380,00 | 171,84 | 121,51 | 99,21 | 85,92 | 76,85 | 70,15 | 64,95 | 60,75 | 57,28 |

### 7.10.2. Caída de tensión

Para realizar el cálculo del factor de rendimiento o caída de tensión k se tienen a consideración los siguientes parámetros de entrada:

**Tabla 19. Variables de Entrada para el Cálculo de la Caída de Tensión en los Conductores.**

| VARIABLES DE ENTRADA | |
|---|---|
| **U** | 13,2 |
| **Cos $\varphi$** | 0,9 |
| **$X_L$** | 0,1340 |
| **R** | 0,3444 |
| **L (km)** | 1 |
| **Imax** | 230 |
| **$\varphi$** | 25,8419 |
| **Tan $\varphi$** | 0,4843 |

Luego, se reemplazan los datos sobre las siguientes fórmulas:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * (R * cos\varphi + X * sen\varphi) * L$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * cos\varphi}$$

Se reemplaza la corriente sobre la fórmula de la caída de tensión y como resultado se obtiene:

$$U\% = \frac{P * L}{(10 * U^2)} * (R + X * tan\varphi)$$

Donde K es el factor de la caída de tensión:

$$k = \frac{(R + X * tan\varphi)}{(10 * U^2)}$$

$$\%U = k * P * L$$

Reemplazando obtenemos,

$$k = \frac{(0{,}3444 + 0{,}1340 * tan\varphi)}{(10 * 13{,}2^2)}$$

$$k = 0{,}0002349 = 2{,}349\text{E} - 4 \text{ para Longitud en km}$$

$$k = 0{,}0000002349 = 2{,}349\text{E} - 7 \text{ para Longitud en m}$$

Las constantes de caída de tensión para 13,2 y 34,5 kV se muestran a continuación para diferentes calibres del conductor XLPE Al y Cu.

**Tabla 20. Caída de Tensión en Cables de Aluminio.**

| Calibre | Tensión [kV] | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Rca | 13,2/34,5 | 7,98E-01 | 5,51E-01 | 3,44E-01 | 1,47E-01 | 9,97E-02 |
| X | 13,2 | 1,53E-01 | 1,47E-01 | 1,339E-01 | 1,197E-01 | 1,148E-01 |
| | 34,5 | - | 1,77E-01 | 1,546E-01 | 1,378E-01 | 1,328E-01 |
| Tan $\varphi$ | 13,2/34,5 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 |
| k (Longitud en km) | 13,2 | 5,005E-04 | 3,57E-04 | 2,346E-04 | 1,176E-04 | 8,91E-05 |
| | 34,5 | - | 5,22E-05 | 3,434E-05 | 1,721E-05 | 1,304E-05 |
| k (Longitud en m) | 13,2 | 5,005E-07 | 3,57E-07 | 2,346E-07 | 1,176E-07 | 8,91E-08 |
| | 34,5 | - | 5,22E-08 | 3,434E-08 | 1,721E-08 | 1,304E-08 |

**Tabla 21. Caída de Tensión en Cables de Cobre.**

| Calibre | Tensión [kV] | 2 AWG | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 250 kcmil | 350 kcmil | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Rca | 13,2/34,5 | 6,77E-01 | 4,27E-01 | 3,40E-01 | 2,14E-01 | 1,81E-01 | 1,30E-01 | 9,19E-02 | 6,28E-02 |
| X | 13,2 | 1,69E-01 | 1,54E-01 | 1,49E-01 | 1,38E-01 | 1,34E-01 | 1,28E-01 | 1,21E-01 | 1,13E-01 |
| | 34,5 | - | - | 1,71E-01 | 1,58E-01 | 1,54E-01 | 1,45E-01 | 1,40E-01 | 1,31E-01 |
| Tan $\varphi$ | 13,2/34,5 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 | 4,84E-01 |
| k (Longitud en km) | 13,2 | 4,354E-04 | 2,878E-04 | 2,365E-04 | 1,611E-04 | 1,411E-04 | 1,101E-04 | 8,635E-05 | 6,743E-05 |
| | 34,5 | - | - | 3,462E-05 | 2,359E-05 | 2,065E-05 | 1,612E-05 | 1,264E-05 | 9,871E-06 |
| k (Longitud en m) | 13,2 | 4,354E-07 | 2,878E-07 | 2,365E-07 | 1,611E-07 | 1,411E-07 | 1,101E-07 | 8,635E-08 | 6,743E-08 |
| | 34,5 | - | - | 3,462E-08 | 2,359E-08 | 2,065E-08 | 1,612E-08 | 1,264E-08 | 9,871E-09 |

### 7.10.3. Factor para pérdida de potencia

Para el cálculo de este parámetro es necesario identificar los datos establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 22. Variables de Entrada para el Cálculo de la Pérdida de Potencia en los Conductores.**

| VARIABLES DE ENTRADA | |
|---|---|
| Cos ∅ | 0,9 |
| U | 13,2 |
| Rca | 0,3444 |

Utilizando la siguiente expresión,

$$\Delta P\% = P * L * \frac{R}{10 * U^2 * cos^2 \emptyset}$$

$$\Delta P\% = 0{,}000244 * P * L$$

Se obtiene la siguiente información para los calibres considerados en la presente norma:

**Tabla 23. Factor para Pérdida de Potencia en Cables de Aluminio.**

| Calibre | Tensión [kV] | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $cos^2\emptyset$ | 13,2/34,5 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| $U^2$ | 13,2 | 174,2 | 174,2 | 174,2 | 174,2 | 174,2 |
| | 34,5 | 1190,2 | 1190,2 | 1190,2 | 1190,2 | 1190,2 |
| R | 13,2 | 0,798 | 0,551 | 0,3444 | 0,1470 | 0,0997 |
| | 34,5 | - | 0,552 | 0,3443 | 0,1467 | 0,0997 |
| dP% | 13,2 | 5,65E-04 | 3,90E-04 | 2,44E-04 | 1,042E-04 | 7,06E-05 |
| | 34,5 | - | 5,72E-05 | 3,57E-05 | 1,521E-05 | 1,03E-05 |

**Tabla 24. Factor para Pérdida de Potencia en Cables de Cobre.**

| Calibre | Tensión [kV] | 2 AWG | 1/0 AWG | 2/0 AWG | 4/0 AWG | 250 kcmil | 350 kcmil | 500 kcmil | 750 kcmil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $cos^2\emptyset$ | 13,2/34,5 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 | 0,81 |
| $U^2$ | 13,2 | 174,24 | 174,24 | 174,24 | 174,24 | 174,24 | 174,24 | 174,24 | 174,24 |
| | 34,5 | 1190,25 | 1190,25 | 1190,25 | 1190,25 | 1190,25 | 1190,25 | 1190,25 | 1190,25 |
| R | 13,2 | 6,77E-01 | 4,27E-01 | 3,40E-01 | 2,14E-01 | 1,81E-01 | 1,30E-01 | 9,19E-02 | 6,28E-02 |
| | 34,5 | - | - | 3,40E-01 | 2,14E-01 | 1,81E-01 | 1,30E-01 | 9,19E-02 | 6,28E-02 |
| dP% | 13,2 | 4,80E-04 | 3,03E-04 | 2,41E-04 | 1,51E-04 | 1,28E-04 | 9,21E-05 | 6,51E-05 | 4,45E-05 |
| | 34,5 | - | - | 3,52E-05 | 2,22E-05 | 1,87E-05 | 1,35E-05 | 9,53E-06 | 6,51E-06 |

## 8. CONEXIONES ELÉCTRICAS

Debido a las distintas características de metales disímiles, los dispositivos como terminales a presión o conectores a presión y lengüetas soldadas se deben identificar en cuanto al material del conductor y deben estar bien instalados y utilizados. No se deben mezclar en un terminal o en un conector de empalme, conductores de metales distintos cuando se produzcan contactos físicos entre ellos (por ejemplo, cobre y aluminio, cobre y aluminio revestido de cobre o aluminio y aluminio revestido de cobre), a no ser que el dispositivo esté identificado para ese fin y condiciones de uso. Si se utilizan materiales como compuestos para soldar, fundentes, inhibidores y restringentes, deben ser adecuados para el uso y deben ser de un tipo que no deteriore a los conductores, a la instalación o a los equipos.

Se deberá utilizar elementos premoldeados, para los cuales los componentes son moldeados por el fabricante utilizando materiales elastoméricos que conforman un cuerpo final que garantiza el confinamiento total del campo eléctrico dentro del mismo.

Los premoldeados formarán parte de las mismas redes de distribución que los cables y equipos y dada la importancia que tiene la continuidad del servicio, éstos deben cumplir con lo establecido en la Especificación Técnica Conectores, Empalmes y Terminales Premoldeados ET-TD-ME12-01.

Los fabricantes de elementos premoldeados incluyen en ellos las referencias de los aditamentos que deben ser utilizados en determinados usos, con las indicaciones precisas para su correcto empleo. Para todos los casos se deberán seguir rigurosamente las instrucciones de instalación de los respectivos fabricantes y con las herramientas adecuadas.

## 8.1. Empalmes

Los conductores se deben empalmar o unir con medios de empalme identificados para su uso o con soldadura de bronce, de arco o blanda, con un metal o aleación fusible. Antes de soldarse, los empalmes se deben unir de modo que queden mecánica y eléctricamente seguros y después si se deben soldar. Todos los empalmes y uniones y los extremos libres de los conductores se deben cubrir con un aislante equivalente al de los conductores o con un dispositivo aislante identificado para ese fin. Los conectores o medios de empalme de los cables en conductores que van en instalaciones subterráneas deben estar certificados para cada uno de estos usos.

Los empalmes rectos pueden ser de tipo modular o permanente. Los empalmes modulares requieren de inclusión de adaptadores de puesta a tierra y ganchos de sujeción que impidan la desconexión accidental bajo carga.

Una vez empalmados los conductores conservarán su completa capacidad de carga (corriente máxima para la que están calculados), así como la resistencia a la tracción mecánica requerida.

El aislamiento del empalme debe resistir el gradiente de potencial al cual está diseñado el cable, así como los esfuerzos y descargas tangenciales motivadas por la terminación del empalme.

Las características del empalme guardarán compatibilidad con los cables a empalmar.

Todo empalme de cables de media tensión se ejecutará en las cámaras previstas para tal efecto. En ningún caso se aceptarán empalmes dentro de los ductos.

Antes y después de instalar un tramo de cable y proceder a empalmarlo, se verificará que las puntas de este tengan un sello hermético que impida el acceso del agua.

**Figura 2. Empalme Premoldeado Modular.**

**Figura 3. Empalme Premoldeado Permanente.**

## 8.2. Derivaciones

Las derivaciones en todo caso se harán partiendo de un conductor de capacidad suficiente para la nueva red y para futuras expansiones. Pueden presentarse derivaciones simples o múltiples.

Las derivaciones simples son derivaciones únicas para alimentar una sola carga o un único ramal.

Debe tenerse presente que la desconexión se hará mediante pértiga desde el exterior de la cámara, razón por la cual deberán disponerse sobre regletas apropiadas para tal fin.

En todos los casos en que se efectúen derivaciones múltiples se usarán elementos premoldeados modulares, adecuados a los calibres y fines específicos buscados.

**Figura 4. Empalme Premoldeado Modular con Una Derivación.**

## 8.3. Barrajes

Pueden ser instalados en cajas diseñadas para tal efecto ya sea construidas en el sitio o prefabricadas o fijados mediante soportes adecuados directamente a las paredes de las cámaras.

**Figura 5. Barraje de 4 vías.**

## 8.4. Terminales

Debe asegurarse una buena y completa conexión entre los conductores y los terminales, sin dañar los conductores y debe hacerse por medio de conectores terminales premoldeados; según su tipo de instalación pueden ser de uso exterior o de uso interior.

La selección de los terminales debe hacerse teniendo en cuenta diferentes aspectos como el nivel de tensión, el uso (interior o exterior), el calibre del conductor y el nivel de aislamiento del cable, que puede ser del 100 o 133%.

**Figura 6. Terminal Premoldeado Tipo Exterior.**

### 8.4.1. Terminal premoldeado tipo interior

Se usarán en instalaciones interiores. Se instalarán a la entrada y/o salida de seccionadores para operar bajo carga y a la llegada al transformador en subestaciones del tipo capsulado.

### 8.4.2. Terminal premoldeado tipo exterior

Se usarán en instalaciones exteriores, es decir, a la intemperie. Poseen campanas tapagoteras. Se instalarán en los puntos de transición de líneas de distribución aéreas a subterráneas, subterráneas a aéreas, o cuando se efectúa una derivación de una red exterior a una carga interior (tipo capsulada).

Para la conexión a la red aérea se utilizan conectores tipo borna terminal o terminales tipo vástago, los cuales deben ser herméticos para evitar filtraciones de agua a través del cable.

## 9. PROTECCIÓN Y EQUIPOS DE CORTE ELÉCTRICO DE MEDIA TENSIÓN

a. Se emplearán los elementos premoldeados establecidos en el numeral 9.

b. Los descargadores de sobretensión deberán tener una conexión a tierra de acuerdo con lo indicado en la norma RA6-010.

c. Se recomienda que la resistencia de la conexión a tierra no supere 10 Ohmios.

d. Todos los elementos metálicos no portadores de corriente en las instalaciones subterráneas se deben conectar a tierra y unir equipotencialmente. No se admitirá el empleo de conectores de tornillo en la conexión a la varilla de puesta a tierra.

e. Todos los conductores eléctricos deberán quedar instalados de manera que el sistema completo esté libre de cortocircuitos y de contactos a tierra distintos de los necesarios o permitidos en la NTC 2050.

### 9.1. Protección contra sobreintensidades

Para las conexiones al nivel de tensión III (34.5 kV), ESSA exige la instalación de un reconectador en el punto de derivación de la acometida, como medio de protección y maniobra.

Para conexiones de redes o acometidas al nivel de tensión II (13.2 kV, 13.8 kV) se debe cumplir con los requisitos indicados en el numeral 10 de esta norma, de acuerdo con la potencia y longitud de red.

### 9.2. Protección contra sobretensiones

La protección contra sobretensiones se realizará mediante la instalación de descargadores de sobretensión en los sitios de transición. Se utilizará un juego de descargadores de sobretensión (DPS) en la línea aérea, en el mismo herraje que los terminales del cable a proteger.

### 9.3. Seccionador de maniobra sumergible

En los casos en que ESSA requiera implementar el uso de seccionadores de maniobra sumergibles, estos deberán contar con las siguientes características: Los seccionamientos subterráneos deben ser tipo sumergible aptas para ser instaladas debajo del terreno natural en zonas de utilidad pública expuestos a inundaciones, con un grado de protección IP68. Las

conexiones y los mecanismos de operación e indicación de apertura o cierre deben estar localizados en la parte superior del tanque, además debe tener una base adecuada para evitar que el fondo de este se encuentre en contacto con el piso de la caja de inspección. Debe existir una separación no menor de 4 cm. Para las cajas de maniobra del tipo inundable el medio de aislamiento debe ser SF6 y el medio de interrupción del arco en SF6 ó vacío.

El seccionador de maniobras debe ser de accionamiento tripolar bajo carga, que permita la operación y las modificaciones topológicas del circuito de media tensión, minimizando los tiempos de interrupción del servicio. Los mandos y conexiones eléctricas deben estar en la tapa superior del equipo para una fácil maniobra. Las maniobras de las cajas de seccionamiento se deberán poder realizar desde el nivel de acera, mediante pértigas, aun en condiciones de pozo inundado. Los seccionadores de maniobra podrán ser:

- Tres posiciones: abierto – cerrado - puesto a tierra.
- Dos posiciones: abierto - cerrado.

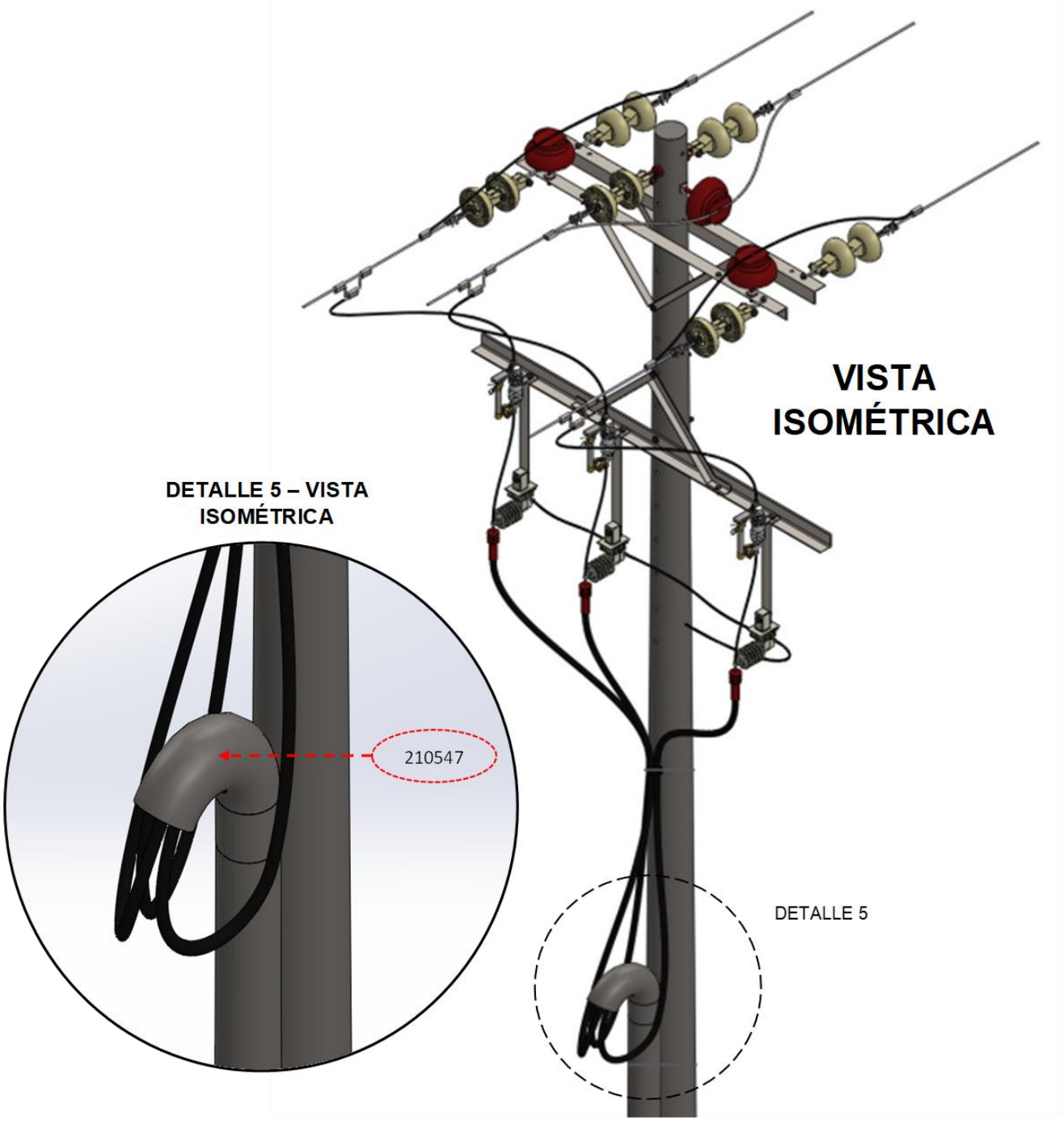
Deben poseer una construcción robusta y deberán estar habilitados para permitir, mediante accesorios adicionales, el accionamiento por motor para telecontrol y automatización bajo sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). La puesta a tierra de los seccionadores de maniobra varía de acuerdo con el diseño de los mismos, los hay con posición fija de puesta a tierra (Abierto – cerrado – aterrizado) o por medio de terminales premoldeados externos tipo codo de puesta a tierra que, al conectarlos, ponen a tierra cada polo de la correspondiente vía que se encuentre abierta. Por seguridad, cuando uno de los circuitos de entrada, salida o derivación es abierto y si se van a realizar trabajos sobre el circuito, se debe poner a tierra cada una de las vías que se encuentran desenergizadas.

## 10. AFLORAMIENTOS

En la transición de la red aérea a subterránea, se utilizarán las siguientes configuraciones:

- NC-RA2-911 Configuración equipo con montaje de transición aérea-subterránea.
- NC-RA2-912 Transición. Configuración equipo con montaje de salida de circuito con o sin emergencia.
- NC-RA2-914 Transición. Configuración equipo con montaje de transición de red canalizada a cable aéreo aislado.

**Figura 7. Transición Aérea – Subterránea NC-RA2-911.**




El elemento de seccionamiento en una transición de red aérea a subterránea dependerá de la potencia transportada y de la longitud de la red o acometida subterránea como se define a continuación:

- Potencia ≤ 500 kVA sin considerar longitud de la red-o acometida subterránea el elemento de corte y protección será un cortacircuito con cámara apagachispas.
- Potencia < 2000 kVA y longitud de la red-o acometida subterránea < 1.000 m el elemento de corte y protección será un cortacircuito con cámara apagachispas.
- Potencia ≤ 2000 kVA y longitud de la red-o acometida subterránea ≥ 1.000 m el elemento de corte y protección será un reconectador con sus seccionadores asociados a la entrada y salida del mismo.
- Potencia ≥ 2000 kVA independientemente de la longitud de la red o acometida subterránea, el elemento de corte y protección será un reconectador con sus seccionadores asociados a la entrada y salida del mismo.

En todo afloramiento se instalarán descargadores de sobretensión de óxido de zinc tipo distribución.

Se instalarán los cortacircuitos y descargadores de sobretensión en crucetas independientes.

El puente de alimentación que proviene de los cortacircuitos irá primero al descargador de sobretensión y luego al terminal premoldeado y el DPS estará ubicado en el mismo soporte que sujeta el terminal y a la menor distancia posible.

Todo afloramiento primario, se hará por ducto conduit metálico galvanizado de sección adecuada para disponer del 60% del área de este libre, con longitud de 6 m, sujeto al poste mediante tres amarres de cinta de acero de 5/8", uno de los cuales irá a 0.5 m de la superficie del terreno y otro a 0.50 m del extremo superior del tubo; esto siempre y cuando todas las fases del circuito se encuentren dentro del mismo ducto. En caso contrario deben utilizarse ductos de PVC para evitar la inducción de corrientes que calienten el ducto y comprometan la seguridad.

En todos los casos en los puntos de conexión en la parte aérea se ubicarán terminales premoldeados para uso exterior, con las campanas tapagoteras (capacetes), adecuados al calibre del conductor.

Las cintas metálicas que derivan de la pantalla electrostática hacia el exterior de los terminales premoldeados irán siempre puestas a tierra.

Siempre se requiere de la instalación de borna terminal de compresión hermética al agua o terminal tipo vástago (espigo), que serán montados haciendo uso de la herramienta apropiada para tal fin, acorde con el calibre del conductor a empalmar. Sobre el conector de compresión se aplicará cinta adecuada para impedir ingreso de humedad al interior del cable, de acuerdo con el suministro y el instructivo del fabricante del terminal.

Antes de introducir el conductor al tubo bajante, se proveerá al mismo de una curva adecuada al diámetro de la bajante y que proteja la canalización de la introducción del agua lluvia (capacete para diámetros iguales o inferiores a 2.5").

A 0.50 metros de la base del poste de derivación se construirá una caja de paso. Para acceder a la caja, se ubicará una curva conduit con un tramo de tubo conduit de iguales especificaciones y embocadura tipo campana. Tal embocadura estará a mínimo 0.20 m de la base de la cámara.

Esta curva irá embebida en concreto simple de 210 kg/cm² (1:2:3). No se admitirá empotrada directamente en tierra.

## 11. INSTALACIÓN DE CONDUCTORES EN DUCTOS

Los parámetros y recomendaciones dadas a continuación son para la instalación de cables en ductos.

### 11.1. Consideraciones generales

Para la instalación de los cables se deben seguir unas recomendaciones básicas, las cuales dependen del tipo de instalación de estos. Es importante tener en consideración las recomendaciones dadas por los fabricantes. Los cables pueden resultar afectados, si en el momento de la instalación, se sobrepasan los límites tolerados por el diseño y los componentes de este.

Antes del tendido, mediante cintas de colores deben identificarse los conductores para cada fase.

Después se realiza el tendido del cable en sitio sin aplicar tensión. Usual para bandejas, canaletas y canalizaciones abiertas.

Los tipos de instalación, en orden de exigencia sobre el cable son:

a) Halado en tramo recto. Usual en canalizaciones o ducterías cerradas.
b) Halado en tramo con curvas. Usual en instalaciones industriales y edificaciones.

Para todas las instalaciones es conveniente tener las herramientas, dispositivos y materiales adecuados y disponer de personal entrenado que conozca los límites del cable en cuanto a curvatura, tensión máxima aplicable y dispositivos adecuados.

Los conductores deben instalarse usando los carretes del empaque; deberán desenrollarse en la dirección y forma indicados por los fabricantes.

En el proceso de instalación de los conductores, con cualquier sistema que se utilice para esta labor, se debe evitar que los conductores formen entorches, dobladuras, torceduras, desgastes o carrujas. En caso de presentarse tal hecho, con deterioro del conductor, se cortará este y se hará un empalme o se reemplazará por otro.

Cuando sea necesario el tendido de los cables en el piso, se deberán instalar protecciones adecuadas, sobre las cuales el conductor se pueda deslizar sin sufrir averías ni dañarse y así protegerlo del paso sobre superficies ásperas, tráfico de personas y animales. Cuando se crucen vías, los conductores deberán ser protegidos de ser pisados por los vehículos y no obstaculizar el tráfico.

En canalizaciones con líneas primarias existentes energizadas o no, deberá tenerse la debida precaución para la instalación de los conductores en tal forma que no hagan contacto con las otras líneas de distribución y no causen esfuerzos en ellas.

En pendientes fuertes los cables deben instalarse de la parte alta hacia la parte baja, reduciendo de esta manera esfuerzos.

## 11.2. Distribución de conductores en ducto

Según la AEIC, la posición relativa de tres conductores dentro del ducto es importante porque afecta la distribución del peso de los conductores, por lo tanto, la fuerza normal o perpendicular entre el cable y el ducto. Al tirar tres cables paralelos, la configuración de los cables se rige por la relación entre el diámetro interior del ducto y el diámetro nominal del cable, que se define como factor de atoramiento J.

$$J = D/d$$

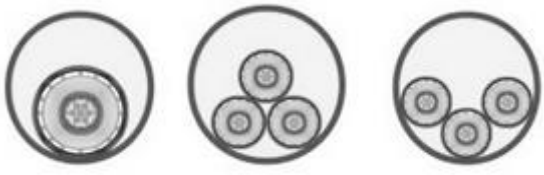
Donde,

$J$: Factor de atoramiento.
$D$: Diámetro interior del ducto.
$d$: Diámetro nominal del cable.

Según las experiencias en campo, se pueden mostrar las siguientes tendencias generales para la distribución del cable en el ducto (Figura 8):

Si J< 2,4, los conductores serán en forma triangular
Si 2,4 <J <2,6 los cables tienden a ser triangulares.
Si 2,6 <J <2,8 los cables son triangulares o en disposición de cuna o V
Si 2,8 <J <3,0 los cables tienden a ser en disposición de cuna o V.
Si J> 3,0, los cables están en disposición de cuna o V.

**Figura 8. Acomodo de Cables en un Ducto.**



### 11.3. Máxima tensión de halado o tendido

Los esfuerzos mecánicos que soporta un cable durante la instalación no deben sobrepasar los límites elásticos del conductor ni exceder la presión lateral permisible sobre el aislamiento o chaqueta del cable, ya que pueden causar alargamiento y desplazamiento de los componentes en cables aislados y el alargamiento puede crear espacios vacíos los cuales son puntos de deterioro por efecto corona. Por tanto, es importante que se calcule la tensión de tendido antes de instalar un cable, para evitar que se disminuya su vida útil, a consecuencia de un mal trabajo de tendido. Para el control de la tensión de halado será empleado un dinamómetro debidamente calibrado.

La tensión de halado de un cable no debe exceder el menor de las siguientes condiciones:

1. Tensión permisible en el conductor.
2. Tensión permisible en el dispositivo de tracción.
3. Presión lateral permisible.

Las tensiones máximas permisibles a las que se deben someter los cables no deberán rebasar los límites recomendados por los fabricantes. Es importante la forma de sujetar el cable para el halado, ya que la tensión varía según el método utilizado.

La tensión no deberá exceder el valor resultante de la siguiente fórmula:

$$Tm = T * n * A$$

Donde,

$Tm$: Tensión máxima permisible en kgf.
$T$: Tensión en kgf/mm² del material a utilizar. Para cobre es 7 y para aluminio 5.3.
$n$: Número de conductores.
$A$: Área del conductor en mm².

Sin embargo, la tensión máxima no debe ser mayor de 2200 kgf para cables monofásicos o 2700 kgf para cables formados por dos o más conductores con calibres No.8 AWG y mayores.

El halado de un cable en una trayectoria con varias curvas es más difícil que halar un cable de la misma longitud, pero en un tramo recto. Cuando se hala un cable a través de un ducto recto, la tensión de halado es directamente proporcional a la longitud y al peso del cable.

El cálculo de tensión de tendido de cables en tramos rectos se realiza mediante la siguiente expresión:

$$T = \omega * f * L * W$$

Longitud máxima:

$$Lm = \frac{T_m}{\omega * f * W}$$

Donde:
$T$: tensión de tendido (debe ser inferior a la máxima tensión admisible por el cable) (kgf.)
W: peso total del cable (kgf/m)
$\omega$: factor de corrección por peso.
$f$: coeficiente de fricción entre el cable y el ducto (0.516)
$L$: Longitud del ducto (m)

El coeficiente de fricción es uno de los factores más importantes que hay que considerar cuando se está tendiendo un cable, ya que de acuerdo a este factor se seleccionan las máximas longitudes de tramos de tendido de cable.
**Nota:** se recomienda usar lubricantes adecuados en la instalación del cable para reducir la tensión.

## 11.4. Consideraciones para cables que deban halarse con cubierta de malla de acero o funda sobre la chaqueta

La siguiente fórmula ayuda a calcular la tensión máxima:

$$Tm = K * T * (d - t)$$

Donde,

$Tm$: Tensión máxima sobre la cubierta en kgf.
$K$: constante de 2.21 para cubiertas en mm
$T$: Tensión en kgf/mm², para el material de que se trate.
$t$: Espesor de la cubierta en mm.
$d$: Diámetro sobre la cubierta en mm.

La tensión máxima de halado no deberá ser mayor que 0.7 de la sección transversal de la cubierta en kgf/mm², siendo la máxima de 450 kgf.

## 11.5. Presión lateral en curvas

Es la fuerza radial ejercida en el aislamiento y cubierta de un cable en una curva, cuando el cable está bajo tensión.

Excediendo la máxima presión lateral permisible, el cable puede dañarse por aplastamiento.

Para determinar la presión lateral, se pueden utilizar las siguientes fórmulas, dependiendo de la geometría:

- Un cable por ducto:

$$PL = \frac{Ts}{R}$$

- Tres cables en disposición triangular:

$$PLa = \frac{(3\omega_{3a} - 2) * T_{3/A}}{3R}$$

- Tres cables en disposición de cuna o V:

$$PLt = \frac{\omega_{3t} * T_{3/T}}{2R}$$

Donde,
$PL = PLa = PLt$: Presión lateral en la curva en kgf/m.
$Ts$: Tensión a la salida de la curva en kgf.
$R$: Radio de la curvatura en metro.
$\omega_{3a}$: Factor de corrección por peso para tres cables en triángulo.
$\omega_{3t}$: Factor de corrección por peso para tres cables en cuna o V.
$T_{3/A}$ : Tensión de halado de tres cables en triángulo a la salida de la curva en kgf.
$T_{3/T}$ : Tensión de halado de tres cables en cuna o V a la salida de la curva en kgf.

**Nota**: para 3 cables monopolares, cuando se tenga duda de la configuración, se debe utilizar el factor de corrección por peso para 3 cables en triángulo, para tomar en cuenta las condiciones más críticas.

Para determinar el factor de corrección por peso, se pueden usar las siguientes fórmulas:

Formación en triángulo:

$$\omega_{3a} = 1 + \frac{4}{3} * \left(\frac{d}{D-d}\right)^2$$

Formación en cuna o V:

$$\omega_{3t} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}}$$

Donde,
$D$ = Diámetro interior del ducto.
$d$ = Diámetro exterior de un cable monofásico.

Las presiones laterales no pueden sobrepasar los 745 kgf/m para los cables EPR y XLPE a 15 kV.

### 11.6. Radio mínimo 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.

De acuerdo con lo indicado en el artículo 300.34 de la NTC 2050, durante la instalación o después de ella, los conductores no se deben doblar a un radio inferior a 8 veces el diámetro total exterior para conductores no apantallados, o 12 veces el diámetro total exterior para conductores apantallados. En el caso de 3 conductores por ducto, se aplicará el radio de curvatura mínimo para el diámetro de un solo conductor.

### 11.7. Soportes para los cables y premoldeados

Una vez tendidos los cables en los ductos, los cables y/o conectores premoldeados deberán instalarse en soportes adecuados (ménsulas) de fijación a las paredes de las cámaras, a una altura aproximada de 1 metro del piso de las cámaras. Se deberá evitar al máximo que los cables queden en el piso de las cámaras.

Cuando se trate de cámaras en las cuales no se instalen conectores en los cables, éstos podrán asegurarse a los soportes con correas de amarre u otro sistema similar.

### 11.8. Puesta a tierra de pantallas electrostáticas

Las pantallas electrostáticas serán debidamente puestas a tierra en las cámaras de empalme mediante conductor de cobre calibre 12 AWG aislado en color verde y varilla de puesta a tierra de 5/8” x 2,4m.

### 11.9. Revisión y prueba de la línea

Una vez terminada la tendida de los cables en los ductos debe efectuarse una revisión física de los mismos, en cada una de las cámaras, verificando que los cables hayan sido colocados correctamente en los soportes, que las conexiones se encuentren correctas y que no haya contactos a tierra, de los conductores o entre los conductores entre sí.

Una vez efectuada esta inspección ocular se debe verificar el aislamiento y continuidad de la línea en cada una de sus fases utilizando un Megger de capacidad adecuada o equipo similar, aislando previamente cada uno de los extremos de la línea.

Acorde con lo establecido en el RETIE, la instalación será certificada por un inspector debidamente acreditado para tal fin.

Si las anteriores pruebas resultan satisfactorias se puede energizar la línea.

En el caso de que durante la prueba se detecten fallas, debe encontrarse la falla y corregir la misma hasta obtener el funcionamiento normal de las líneas.

## 12. MANTENIMIETO DE REDES SUBTERRÁNEAS

Un adecuado trabajo de mantenimiento asegura la máxima confiabilidad al sistema subterráneo. Dependiendo de la importancia del sistema subterráneo se deberá determinar la frecuencia de las revisiones. En dichas revisiones se tendrá en cuenta todas las partes de la instalación, tales como: cámaras, ductos, empalmes, terminales, tierras, etc.

### 12.1. Mantenimiento del cable

Los aislamientos eléctricos están sujetos a un trabajo severo, inclusive en condiciones ideales de operación generando esfuerzos que causan el debilitamiento progresivo del valor de "Resistencia de Aislamiento".

La resistencia de aislamiento es aquella que presenta oposición al paso de la corriente eléctrica. Algunos patrones que causan la variación de la resistencia de aislamiento son:

- El calor.
- La humedad.
- Esfuerzos eléctricos.
- Golpes.
- Sobretensiones.
- Elementos corrosivos.
- Ataque de animales.

Debido a estos enemigos naturales de los aislamientos, es una práctica recomendable elaborar pruebas y revisiones periódicas para determinar o evaluar el estado del material.

Para una adecuada revisión, se debe contar con la historia del material, en este caso el material es "El Cable". En la historia del cable se deben tener los siguientes datos:

- Año de fabricación del cable y de puesta en servicio.
- Tipo de cable (aislamiento).
- Número y tipos de empalmes y terminales.
- Reportes de prueba del cable.
- Diagrama de la ruta del cable.

### 12.2. Mantenimiento en cámaras y cajas

Debido a los cambios de temperatura en los cables causados por los ciclos de carga, se provocan rozamientos en los puntos de asentamiento del mismo (boquilla de ductos, bordes de contacto, etc.) lo cual va deteriorando el aislamiento. Se debe revisar:

- Soportes del cable.
- Ductos. Que no tengan filos en la terminal
- Radio de curvatura.

Además, se recomienda evacuar el agua de las cámaras y cajas periódicamente.

### 12.3. Mantenimiento en empalmes y terminales

Como los empalmes en todo cable son un punto potencial de falla, se debe tener especial cuidado en las revisiones que se hagan. Las cintas protectoras contra la humedad, si es un empalme en cinta, se deben reponer en caso de que se vean deterioradas. Es importante revisar la pantalla del cable para que no vaya a estar rota. Si es un empalme premoldeado, tener especial cuidado y que sea completamente estanco, si se tienen dudas, lo más recomendable es verificar si el empalme es apto para ese tipo de cable. Se deben verificar que las conexiones a tierra estén en buen estado en los empalmes.

En cuanto a los terminales se tendrá especial cuidado con aquellos que se encuentren en zonas de alta contaminación. Si esos terminales están fabricados con cintas, periódicamente se debe cambiar la cinta de silicona.

A continuación, se mencionan algunos puntos que es conveniente verificar periódicamente para corregir condiciones que puedan ocasionar una falla:

- Verificación, ajuste y coordinación de las protecciones contra sobrecorrientes del sistema.
- Instalación de pararrayos adecuados al sistema y revisión periódica de los mismos.
- Verificación de los valores de resistencia y conexión del sistema de tierra.
- Limpieza y ajuste de conectores mecánicos en puntos de transición a cables desnudos, cuchillas, etc.
- Limpieza exterior de terminales instalados en ambientes excesivamente contaminados.
- Instalación de terminales de cobre adecuados en el punto de transición, con el objeto de que no le entre agua al cable a través del conductor.

## 12.4. Mantenimiento en la conexión a tierra del circuito de pantalla en los conectores premoldeados

Los conectores premoldeados están provistos de una pantalla exterior que consiste en una capa de material moldeado semiconductor.

El material de estas pantallas no tiene capacidad para llevar las corrientes de falla del sistema o las corrientes inducidas que circulan por la pantalla metálica del cable.

Por lo tanto, la pantalla de los accesorios premoldeados debe ser sólidamente conectada a la pantalla de los cables, al tanque del equipo a ser conectado y a tierra, para evitar que esta pantalla pueda desarrollar una carga capacitiva que provoque descargas a tierra causando erosión en ambos.

## 12.5. Pruebas de diagnóstico

Para las pruebas de mantenimiento se deberá hacer un análisis para evaluar la pérdida de servicio por cables o accesorios fallados durante la prueba, contra la pérdida de servicio durante una falla en condiciones normales de operación.

La ventaja de una falla provocada contra una falla de operación normal del sistema, es que una falla por prueba de mantenimiento puede ser rápidamente reparada y los daños ocasionados son mínimos en vista de que se tiene el sistema disponible para interrumpirlo (si esto es posible) y se cuenta con los elementos necesarios para hacerlo, como son: equipo de localización de fallas, personal para reparar la falla y los materiales necesarios.

Las pruebas de campo más significativas para determinar las condiciones de un sistema aislante son:

- Prueba de resistencia de aislamiento.
- Prueba de alta tensión en corriente continua.

### 12.5.1. Prueba de resistencia de aislamiento

Esta prueba consiste en la medición directa de la resistencia por medio de aparatos y comparar este valor medido con el valor inicial de puesta en servicio del cable y con el valor teórico esperado el cual se puede calcular de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R = K * \log\left(\frac{D}{d}\right) * fL * fT$$

Donde:

R: Resistencia aislamiento en MΩ //km.
K: Constante de resistencia de aislamiento.
D: Diámetro sobre aislamiento en mm.
D: Diámetro bajo aislamiento en mm.
fL: Factor de corrección por longitud.
fT: Factor de corrección por temperatura.

### 12.5.2. Prueba de alta tensión en corriente continua

Se entiende por prueba de alta tensión, la aplicación de una tensión de corriente directa de un valor predeterminado, manteniéndola por un cierto tiempo a un sistema cable - accesorios durante la vida en operación del mismo, y su propósito es el de detectar algún deterioro del sistema para corregir o reemplazar la parte potencialmente dañada, antes de que falle y provoque una interrupción costosa.

Por lo tanto, el objetivo de esta prueba es la de aplicar una tensión lo suficientemente alta para detectar los puntos débiles del sistema.

En cuanto a los valores y periodicidad de las pruebas, deben ser determinados por ESSA.

En vista de que los accesorios (empalmes y terminales) conectados a los cables, normalmente no se pueden desconectar para efectuar pruebas, será necesario aplicar la tensión de prueba al conjunto cable - accesorio. Por lo tanto, es necesario que los valores de prueba de los cables no rebasen los valores dados por los fabricantes para los accesorios.

Es sabido que uno de los grandes enemigos de los equipos y aislamiento eléctrico es el excesivo calor. El calor puede indicar: una pieza sobrecargada, una pobre conexión eléctrica, etc.

La presencia del calor o condiciones de sobre temperatura no pueden ser detectadas por inspección visual, por esta razón se debe hacer uso de equipos de termografía.