

# CAPITULO 1

## TÍTULO 2: REDES ELECTRICAS SUBTERRÁNEAS MEDIA TENSIÓN

EBSA 1.2-RS



# ÍNDICE

1.2.1

CONCEPTOS DE REDES SUBTERRANEAS

CONDUCTORES, CONEXIONES ELECTRICAS,  
AFLORAMIENTOS Y TRANSICIONES EN MEDIA TENSIÓN

1.2.2

CÁLCULO DE CONDUCTORES Y  
AGRUPACIONES

1.2.2.1

CONEXIONES ELÉCTRICAS

1.2.2.2

ZANJAS, DUCTOS, COMPACTACIÓN,  
CAJAS DE INSPECCIÓN

1.2.2.3

AFLORAMIENTOS Y TRANSICIONES AÉREO-  
SUBTERRÁNEAS EN MEDIA TENSIÓN

1.2.2.4

# SECCIÓN

## 1.2.1 CONCEPTOS DE REDES SUBTERRANEAS



A continuación, se presentan las definiciones fundamentales integradas en un marco conceptual sólido que permite comprender los términos clave asociados a las redes subterráneas de media tensión. Estas definiciones abarcan aspectos como los tipos de canalizaciones, configuraciones de instalación, niveles de tensión y componentes principales, proporcionando una visión integral de los elementos que conforman esta infraestructura eléctrica.



## 1.2.1.1 INTRODUCCIÓN



En el contexto actual de expansión y modernización de las redes eléctricas, las redes subterráneas de media tensión se consolidan como una solución estratégica para garantizar la continuidad, seguridad y eficiencia en el suministro de energía. Esta norma técnica se convierte en una herramienta fundamental para EBSA, al ofrecer lineamientos claros y estructurados sobre los aspectos técnicos, constructivos y de seguridad necesarios para su correcta implementación.

La norma técnica EBSA 1.2-RS define los criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción e instalación de redes subterráneas, integrando tanto elementos civiles como eléctricos y mecánicos. Su propósito principal es asegurar la ejecución adecuada de las obras, el cumplimiento de especificaciones técnicas y la aplicación de buenas prácticas constructivas que respalden la sostenibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico.

El documento aborda de forma integral los conceptos técnicos esenciales que caracterizan este tipo de infraestructura, incluyendo el tipo de ducterías, cámaras de paso, métodos de canalización, transiciones aéreo-subterráneas, ventilación, drenaje y requerimientos estructurales. Asimismo, incorpora referencias normativas nacionales e internacionales aplicables, con el fin de asegurar altos estándares de seguridad y desempeño operativo.

Además, se presentan criterios para la planificación y el diseño constructivo en distintos contextos, junto con esquemas típicos, planos de obra civil y fichas técnicas de los principales componentes. Esto permite estandarizar los procesos asociados al desarrollo de redes subterráneas y contribuir de manera efectiva al fortalecimiento de la infraestructura eléctrica en el departamento de Boyacá.



## 1.2.1.2 NORMAS Y ESTÁNDARES



| Normativa/Estándar                                    | Descripción  | Numeral/Sección citada   |
|---|--|--|
| RETIE 2024 (Resolución 40117 de 2024)                 | Requisitos técnicos para instalaciones eléctricas seguras en Colombia. | Título 5, Art. 13.2.1, Art. 13.2.5, Libro 3 Título 3.20.1                          |
| NTC 2050 (Segunda actualización)                      | Especificaciones técnicas para instalaciones eléctricas.               | Sección 310.15(B)(3)(a), Art. 300.5, Sección 300 y 490, Art. 210.5(C), Sección 450 |
| NTC 1332  | Requisitos para conductores eléctricos.                                | General  |
| NTC 2880  | Especificaciones para cables eléctricos termoplásticos o termofijos.   | General  |
| IEC 60287   | Cálculo térmico y capacidad de corriente de cables eléctricos.         | General  |
| IEEE Std 835-1994                                     | Tablas de ampacidad y factores de corrección.                          | General  |
| NEC (National Electrical Code)                        | Factores de corrección por agrupamiento.                               | Sección 310.15(B)(3)(a)  |
| Manual de Construcción Subterráneas (MinMinas / EBSA) | Lineamientos para zanjas, ductos, drenajes y cajas.                    | General  |
| IEEE 386  | Requisitos para conectores y empalmes MT.                              | General  |
| IEC 60502-4   | Requisitos para cables y accesorios MT.                                | General  |
| IEC 61442   | Ensayos y desempeño de accesorios para cables de energía.              | General  |
| Norma Técnica EBSA 2014                               | Criterios de diseño y construcción de redes subterráneas.              | General  |

Tabla 1. Documentos de referencia, normas y reglamentos adicionales

# SECCIÓN

## 1.2.2 CONDUCTORES, CONEXIONES ELECTRICAS, AFLORAMIENTOS Y TRANSICIONES EN MEDIA TENSIÓN



A continuación, se presenta la clasificación de los métodos y criterios utilizados para el cálculo de conductores eléctricos en redes subterráneas, diferenciándolos según el tipo de instalación, condiciones de carga, capacidad de conducción de corriente y entorno térmico. Esta clasificación permite comprender las distintas soluciones técnicas disponibles, facilitando la selección adecuada del conductor según las condiciones del proyecto y los requerimientos del sistema eléctrico.

## 1.2.2.1 CÁLCULO DE CONDUCTORES Y AGRUPACIONES

### A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

El presente numeral define los lineamientos técnicos fundamentales para la selección adecuada y agrupación eficiente de conductores en sistemas de distribución subterránea de media tensión, específicamente en los niveles de 13,2 kV y 34,5 kV. Esta selección debe contemplar la influencia térmica del entorno, los efectos del agrupamiento sobre la capacidad de conducción de corriente (ampacidad), el comportamiento térmico en función del relleno y la disposición física óptima de los conductores dentro de ductos, conforme a criterios establecidos en la NTC 2050, normas IEC/IEEE y guías técnicas generales para canalizaciones subterráneas.

El objetivo central es garantizar la integridad operativa, térmica y mecánica del sistema eléctrico subterráneo. Para ello, se busca minimizar riesgos de sobrecalentamiento, pérdidas energéticas por efecto Joule y fallas por aislamiento térmico, extendiendo la vida útil de los cables y facilitando su mantenimiento. Además, se asegura el cumplimiento normativo y la confiabilidad del servicio eléctrico, contribuyendo a una distribución segura, estandarizada y acorde con las condiciones ambientales, constructivas y técnicas propias del área de cobertura de EBSA.

### B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

#### B.1. CONDUCTORES Y AISLAMIENTO

1. Los conductores deben cumplir con especificaciones técnicas que aseguren su adecuada operación en condiciones térmicas, mecánicas y dieléctricas exigentes. Deben ser unipolares, con aislamiento XLPE o EPR, con nivel de aislamiento del 100% o 133% según el sistema. El conductor interno debe ser de cobre o aluminio, con pantalla semiconductor interna y externa, y cubierta protectora de PVC o polietileno. Deben cumplir con la NTC 1332 y NTC 2880 o normas IEC equivalentes.
2. Los niveles de aislamiento se eligen según el esquema de puesta a tierra y la confiabilidad del sistema de protección. El aislamiento al 100% se aplica donde las fallas a tierra se despejan rápidamente, mientras que el 133% proporciona mayor robustez y se recomienda en redes subterráneas críticas o con respuesta lenta ante fallas.
3. El comportamiento térmico depende del tipo de relleno. Arenas lavadas ofrecen mejor disipación térmica que arcillas o suelos compactados. La profundidad también influye: mayor profundidad ofrece más estabilidad térmica pero menos capacidad de disipación si no se maneja adecuadamente.
4. La agrupación de conductores y la ocupación del ducto afectan directamente la ampacidad. No debe superar el 40% del área interna del ducto para permitir disipación de calor. Se deben mantener separaciones mínimas de 5 cm entre ductos y usar separadores cada 2 m para uniformidad estructural.
5. Es indispensable dar cumplimiento estricto a la Arcticulo 3.20.6.3 conductores subterrneos del RETIE.

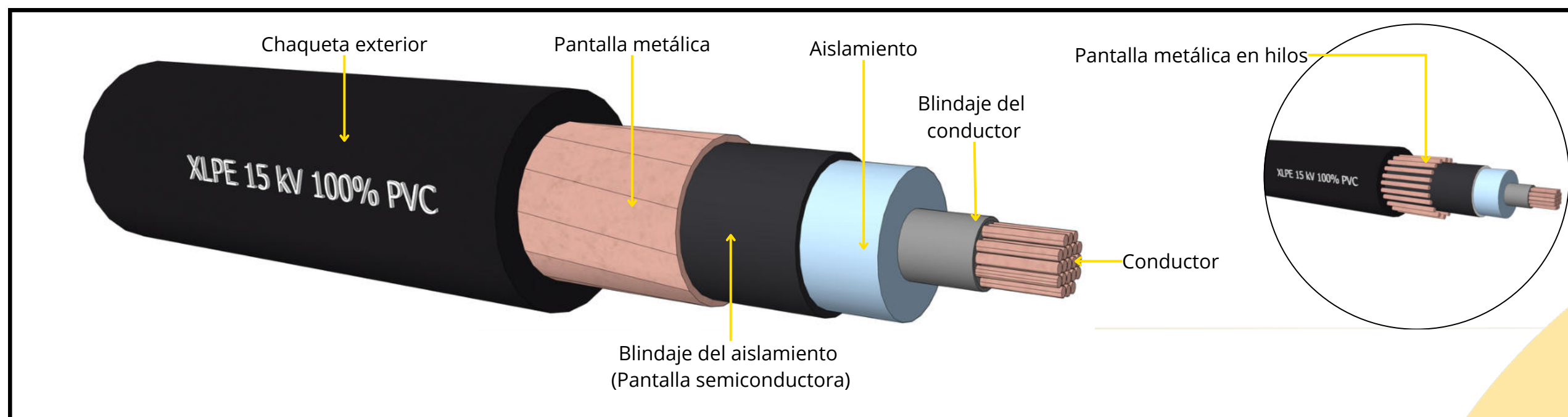


Figura 1. Cable de 35 kV y 15 kV

## B.2. CRITERIO DE SELECCIÓN DE CONDUCTORES SUBTERRÁNEOS:

1. **Capacidad de Corriente:** La selección de conductores subterráneos debe realizarse en función de la capacidad de corriente nominal, asegurando que el conductor sea capaz de soportar la corriente máxima prevista sin exceder su temperatura de operación. Para ello se estima una sobrecarga del 15% de la corriente nominal del sistema y así mismo los factores de corrección térmica, número de conductores por ducto y el método de instalación.

Donde:

- $I_{cond}$  : Corriente del Conductor (A)
- $I_{nom}$  : Corriente nominal del sistema (A)
- $S$  : Potencia aparente (kVA)
- $V_{LL}$  : Tensión nominal línea - línea (kV)

$$I_{cond} = 1.15 \times I_{nom} \quad (Ec.1)$$

$$I_{nom} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \quad (Ec.2)$$

**2. Regulación de Tensión:** La selección del calibre del conductor subterráneo debe garantizar que la caída de tensión, o regulación, se mantenga dentro de los límites permitidos para la instalación definidos por el Operador de Red EBSA que corresponde como máximo al 3% para redes subterráneas. Es crucial que el conductor elegido no solo sea capaz de soportar la corriente nominal de carga, sino que también asegure una adecuada disipación de energía, minimizando las pérdidas y cumpliendo con las exigencias de eficiencia energética. La capacidad del conductor debe ser suficiente para mantener la caída de tensión dentro de los valores establecidos.

Donde:

- $\epsilon\%$ : Porcentaje de Caída de Tension
- $Me$ : Momento Eléctrico (kVA.m)
- $S$ : Potencia aparente (kVA)
- $L$ : Longitud del Tendido (m)
- $K$ : Constante de Regulación (%/kVA.m)
- $R_{cond}$ : Resistencia del Conductor ( $\Omega/m$ )
- $X_{cond}$ : Reactancia del Conductor ( $\Omega/m$ )
- $V_{LL}$ : Tensión Nominal Línea - Línea (V)
- $\cos\theta$ : Factor de Potencia

$$\epsilon\% = Me \times K \quad (Ec.3)$$

$$Me = S \times L \quad (Ec.4)$$

$$K = \frac{R_{cond} \cos\theta + X_{cond} \sin\theta}{10(V_{LL})^2} \quad (Ec.5)$$

**3. Capacidad de Corrientes de Cortocircuito:** En cables aislados, tanto el conductor como la pantalla deben estar dimensionados para soportar las corrientes de cortocircuito durante el tiempo de actuación de las protecciones, sin que se produzca deterioro del aislamiento ni pérdida de sus características eléctricas. La corriente máxima admisible debe determinarse conforme a los criterios establecidos en la norma IEC 60949.

Donde:

- $I_{sc}$ : Máxima Corriente de Cortocircuito (A)
- $A$ : Área del Conductor ( $mm^2$ )
- $k$ : Constante de proporcionalidad del Material (341 para Cobre y 224 para Aluminio)
- $T_1$ : Máxima Temperatura de Operación ( $^{\circ}C$ )
- $T_2$ : Máxima Temperatura Admisible Durante el Cortocircuito ( $^{\circ}C$ )
- $\lambda$ : Constante de Tiempo Térmico (234 para cobre y 228 para aluminio)
- $t$ : Tiempo durante el Cortocircuito (s)

$$I_{SC} = Ak \sqrt[2]{\frac{\log\left(\frac{T_2+\lambda}{T_1+\lambda}\right)}{t}} \quad (Ec.6)$$

4. **Perdida de Potencia:** La selección del conductor subterráneo debe basarse en minimizar las pérdidas de potencia. Esto se logra eligiendo un conductor con baja resistencia, lo que reduce el calentamiento y mejora la eficiencia del sistema. De esta forma, se cumple con los requisitos de regulación de tensión y se asegura una operación estable.

Donde:

- P<sub>perd</sub>: Potencia Perdida (W)
- I<sub>nom</sub> : Corriente nominal del sistema (A)
- R<sub>cond</sub>: Resistencia del Conductor (Ω/m)
- L: Longitud del Tendido (m)
- V<sub>ll</sub>: Tensión Nominal Linea - Linea (V)
- Cosθ: Factor de Potencia

$$P_{perd} = 3 \times I_{nom}^2 \times R_{cond} \quad (Ec.7)$$

$$\%P_{perd} = \frac{\sqrt{3} \times I_{nom} \times R_{cond} \times L}{V_{LL} \times \cos \theta} \quad (Ec.8)$$

### B.3 SECUENCIA BÁSICA DE DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO

1. Determinar la potencia aparente (S), expresada en kVA, considerando la carga conectada, simultaneidad y proyecciones de crecimiento. Establecer el nivel de tensión (V), usualmente 13,2 o 34,5 kV.
2. Calcular la corriente nominal del sistema.
3. Seleccionar el conductor con ampacidad  $\geq$  corriente calculada, usando tablas de la NTC 2050, IEEE 835 o IEC 60287. según tablas 1A-1B.
4. Aplicar factor de corrección por agrupamiento.
5. Aplicar el factor de corrección térmica por temperatura ambiente superior a 30 °C, usando el valor correspondiente de acuerdo con la norma (ver Tabla 2 para aplicación de factor térmico correspondiente).
6. Verificar que la ampacidad corregida  $\geq$  corriente del sistema
7. Calculo de caída de tensión  $\leq 2 \%$ .
8. Calculo o selección de corriente de cortocircuito admisible del conductor
9. Determinación de las perdidas de Potencia y Energía del Tendido.
10. Diseñar banco de ductos con base en criterios térmicos y físicos, considerando el tipo de relleno, ocupación máxima del ducto (40 % del área interna), separación mínima entre ductos (5 cm), tipo de circuito (simple o múltiple), cantidad de circuitos paralelos, condiciones de disipación térmica, profundidad de instalación y entorno (calzada o acera).

## C) TABLAS DE VALORES

### C.1. CASO 1: CANALIZACIÓN CONJUNTA DE FASES.

Las tres fases del circuito de media tensión se instalan dentro de un solo ducto PVC. Los cables monopolares XLPE se acomodan naturalmente en disposición trébol (triángulo equilátero) por gravedad dentro del ducto circular.

#### C.1.1. Fundamentos de cálculo y configuración

- **Banco de ductos estándar EBSA**

**Configuración:** 2×3 (2 filas, 3 columnas) = 6 ductos, disposición horizontal con espaciamiento.

**Ductos:** 3 ductos de 4" (ID ≈ 102 mm) + 3 ductos de 6" (ID ≈ 154 mm).

**Asignación:** Cables de mayor diámetro (250-350 MCM a 34.5 kV) en ductos de 6". Demás calibres en ductos de 4".

**Ductos de reserva:** Los ductos no utilizados quedan como reserva para futuros circuitos o mantenimiento.

- **Geometría del trébol en ducto**

Dentro del ducto, los 3 cables monopolares se tocan formando un triángulo equilátero. En esta configuración:

**DMG =  $d_{ext}$  del cable** (distancia centro a centro = diámetro exterior, porque los cables se tocan).

La DMG varía según el calibre y nivel de tensión del cable (cada cable tiene un  $d_{ext}$  diferente). Por ello, la  $X_i$  cambia de fila a fila en las tablas.

| MAT. | CALIBRE | SECC. | d <sub>ext</sub> 15kV | DMG | DUCTO | d <sub>ext</sub> 35kV | DMG | DUCTO | NOTA                   |
|------|---------|-------|-----------------------|-----|-------|-----------------------|-----|-------|------------------------|
| Al   | 1/0     | 53.48 | 25                    | 25  | 4"    | 36                    | 36  | 6"    |                        |
| Al   | 2/0     | 67.43 | 27                    | 27  | 4"    | 38                    | 38  | 6"    |                        |
| Al   | 4/0     | 107.2 | 31                    | 31  | 4"    | 42                    | 42  | 6"    |                        |
| Al   | 250     | 126.7 | 33                    | 33  | 4"    | 44                    | 44  | 6"    |                        |
| Al   | 350     | 177.3 | 37                    | 37  | 4"    | 48                    | 48  | 6"    | d <sub>ext</sub> >47mm |
| Cu   | 1/0     | 53.48 | 24                    | 24  | 4"    | 35                    | 35  | 6"    |                        |
| Cu   | 2/0     | 67.43 | 26                    | 26  | 4"    | 37                    | 37  | 6"    |                        |
| Cu   | 4/0     | 107.2 | 29                    | 29  | 4"    | 40                    | 40  | 6"    |                        |
| Cu   | 250     | 126.7 | 31                    | 31  | 4"    | 42                    | 42  | 6"    |                        |
| Cu   | 350     | 177.3 | 35                    | 35  | 4"    | 46                    | 46  | 6"    |                        |

Tabla 2. Diámetros exteriores, DMG y asignación de ducto por cable. DMG = d<sub>ext</sub> (mm) para trébol en contacto.

- Escenarios de temperatura en ducto

Temperatura del ducto cargado según IEC 60287-3-1.  $R(T) = R(20^{\circ}\text{C}) \times [1 + \alpha \times (T_{\text{ducto}} - 20)]$ .

| ESC. | ALTITUD          | ZONA                    | T <sub>aire</sub> | T <sub>suelo</sub> | ΔT 75% | T <sub>ducto</sub> | T adoptada | α <sub>Al</sub> | α <sub>Cu</sub> | cosφ |
|------|------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|--------|--------------------|------------|-----------------|-----------------|------|
| 12°C | > 2,500 msnm     | Altiplano / Páramo      | 12°C              | 11°C               | +14°C  | 25°C               | 25°C       | 0.00403         | 0.00393         | 0.9  |
| 20°C | 1,800–2,500 msnm | V. Tenza / Intermedia   | 20°C              | 18°C               | +14°C  | 32°C               | 35°C       | 0.00403         | 0.00393         | 0.9  |
| 30°C | < 1,000 msnm     | Occidental (Mag. Medio) | 30°C              | 26°C               | +14°C  | 40°C               | 45°C       | 0.00403         | 0.00393         | 0.9  |

Tabla 3. Escenarios de temperatura.

- **Esc. 12°C (T<sub>ducto</sub>=25°C):** Tunja, Duitama, Sogamoso, Paipa.
- **Esc. 20°C (T<sub>ducto</sub>=35°C):** Garagoa, Guateque, Miraflores.
- **Esc. 30°C (T<sub>ducto</sub>=45°C):** Puerto Boyacá, Otanche, Muzo.

### C.1.2. Guía de lectura de tablas

**Mat.:** Al = Aluminio ( $\alpha=0.00403$ ) | Cu = Cobre ( $\alpha=0.00393$ ).

**d<sub>ext</sub>:** Diámetro exterior del cable aislado XLPE (mm). Determina la DMG y el ducto necesario.

**Ducto:** Tamaño de ducto PVC requerido (4" o 6") para alojar 3 cables en trébol.

**R(T):** Resistencia AC corregida a T<sub>ducto</sub>. Unidad:  $\Omega/\text{km}$ .

**X<sub>i</sub>:** Reactancia inductiva a 60 Hz. Varía por calibre (cada cable tiene diferente d<sub>ext</sub> → diferente DMG). Idéntica Al/Cu del mismo calibre y tensión.

**K:** Constante de regulación con  $\cos\varphi = 0.90$ . Uso:  $\% \text{Reg} = K \times S(\text{kVA}) \times L(\text{m})$ .

**Código de color:** Filas azules = Aluminio | Filas cálidas = Cobre | Franjas oscuras = Separador de escenario.

### C.1.3. Tabla de regulación – 13.2 kV

Constante K en  $\times 10^{-7} \%/ \text{kVA} \cdot \text{m}$ . 3 cables XLPE 15 kV monopolares en trébol dentro de un ducto PVC.  $\cos\varphi = 0.90$ .

| CONDUCTOR  |         |                      |         | CABLE XLPE          |       | R(T)               | X <sub>i</sub>     | K ( $\times 10^{-7}$ ) $\cos\varphi=0.90$      |
|--|---------|----------------------|---------|---------------------|-------|--------------------|--------------------|--|
| Mat.   | Calibre | Secc mm <sup>2</sup> | Amp (A) | d <sub>ext</sub> mm | Ducto | $\Omega/\text{km}$ | $\Omega/\text{km}$ | $\times 10^{-7} \%/ \text{kVA} \cdot \text{m}$ |
| <b>► ESC. 12°C — Altiplano / Páramo (&gt; 2,500 msnm) — T<sub>ducto</sub> = 25°C — <math>\cos\varphi = 0.90</math></b> |         |                      |         |                     |       |                    |                    |  |
| Al   | 1/0 AWG | 53.48                | 145     | 25                  | 4"    | 0.5692             | 0.1447             | 3.302  |
| Al   | 2/0 AWG | 67.43                | 170     | 27                  | 4"    | 0.4519             | 0.1417             | 2.689  |
| Al   | 4/0 AWG | 107.2                | 220     | 31                  | 4"    | 0.2846             | 0.1347             | 1.807  |
| Al   | 250 MCM | 126.7                | 250     | 33                  | 4"    | 0.2397             | 0.1331             | 1.571  |
| Al   | 350 MCM | 177.3                | 305     | 37                  | 4"    | 0.1714             | 0.1291             | 1.208  |
| Cu   | 1/0 AWG | 53.48                | 190     | 24                  | 4"    | 0.3344             | 0.15               | 2.103  |
| Cu   | 2/0 AWG | 67.43                | 220     | 26                  | 4"    | 0.2661             | 0.1473             | 1.743  |
| Cu   | 4/0 AWG | 107.2                | 285     | 29                  | 4"    | 0.1672             | 0.138              | 1.209  |
| Cu   | 250 MCM | 126.7                | 325     | 31                  | 4"    | 0.1417             | 0.1369             | 1.075  |
| Cu   | 350 MCM | 177.3                | 395     | 35                  | 4"    | 0.101              | 0.1336             | 0.856  |

| ► ESC. 20°C — V. Tenza / Intermedia (1,800–2,500 msnm) — T <sub>ducto</sub> = 35°C — cosφ = 0.90 |         |       |     |    |    |        |        |              |
|--|---------|-------|-----|----|----|--------|--------|--------------|
| Al   | 1/0 AWG | 53.48 | 145 | 25 | 4" | 0.5917 | 0.1447 | <b>3.418</b> |
| Al   | 2/0 AWG | 67.43 | 170 | 27 | 4" | 0.4698 | 0.1417 | <b>2.781</b> |
| Al   | 4/0 AWG | 107.2 | 220 | 31 | 4" | 0.2959 | 0.1347 | <b>1.865</b> |
| Al   | 250 MCM | 126.7 | 250 | 33 | 4" | 0.2492 | 0.1331 | <b>1.62</b>  |
| Al   | 350 MCM | 177.3 | 305 | 37 | 4" | 0.1782 | 0.1291 | <b>1.243</b> |
| Cu   | 1/0 AWG | 53.48 | 190 | 24 | 4" | 0.3473 | 0.15   | <b>2.169</b> |
| Cu   | 2/0 AWG | 67.43 | 220 | 26 | 4" | 0.2764 | 0.1473 | <b>1.796</b> |
| Cu   | 4/0 AWG | 107.2 | 285 | 29 | 4" | 0.1737 | 0.138  | <b>1.242</b> |
| Cu   | 250 MCM | 126.7 | 325 | 31 | 4" | 0.1472 | 0.1369 | <b>1.103</b> |
| Cu   | 350 MCM | 177.3 | 395 | 35 | 4" | 0.1049 | 0.1336 | <b>0.876</b> |
| ► ESC. 30°C — Occidental (Mag. Medio) (< 1,000 msnm) — T <sub>ducto</sub> = 45°C — cosφ = 0.90   |         |       |     |    |    |        |        |              |
| Al   | 1/0 AWG | 53.48 | 145 | 25 | 4" | 0.6142 | 0.1447 | <b>3.535</b> |
| Al   | 2/0 AWG | 67.43 | 170 | 27 | 4" | 0.4876 | 0.1417 | <b>2.873</b> |
| Al   | 4/0 AWG | 107.2 | 220 | 31 | 4" | 0.3071 | 0.1347 | <b>1.923</b> |
| Al   | 250 MCM | 126.7 | 250 | 33 | 4" | 0.2587 | 0.1331 | <b>1.669</b> |
| Al   | 350 MCM | 177.3 | 305 | 37 | 4" | 0.1849 | 0.1291 | <b>1.278</b> |
| Cu   | 1/0 AWG | 53.48 | 190 | 24 | 4" | 0.3602 | 0.15   | <b>2.236</b> |
| Cu   | 2/0 AWG | 67.43 | 220 | 26 | 4" | 0.2866 | 0.1473 | <b>1.849</b> |
| Cu   | 4/0 AWG | 107.2 | 285 | 29 | 4" | 0.1801 | 0.138  | <b>1.276</b> |
| Cu   | 250 MCM | 126.7 | 325 | 31 | 4" | 0.1527 | 0.1369 | <b>1.131</b> |
| Cu   | 350 MCM | 177.3 | 395 | 35 | 4" | 0.1088 | 0.1336 | <b>0.896</b> |

Tabla 4. K (×10<sup>-7</sup> %/kVA·m) – Red subterránea 13.2 kV – 3 fases en trébol en 1 ducto – Cable XLPE monopolar - cosφ = 0.90 – f=60 Hz

**C.1.4. Tabla de regulación – 34.5 Kv**

 Constante K en  $\times 10^{-8} \%$ /kVA·m. 3 cables XLPE 35 kV monopares en trébol dentro de un ducto PVC.  $\cos \varphi = 0.90$ .

| CONDUCTOR  |         |                      |         | CABLE XLPE          |       | R(T)   | X <sub>i</sub> | K ( $\times 10^{-8}$ ) $\cos\varphi=0.90$ |
|--|---------|----------------------|---------|---------------------|-------|--------|----------------|---|
| Mat.   | Calibre | Secc mm <sup>2</sup> | Amp (A) | d <sub>ext</sub> mm | Ducto | Ω/km   | Ω/km           | $\times 10^{-8} \%$ /kVA·m                |
| <b>► ESC. 12°C — Altiplano / Páramo (&gt; 2,500 msnm) — T<sub>ducto</sub> = 25°C — <math>\cos\varphi = 0.90</math></b>     |         |                      |         |                     |       |        |                |   |
| Al   | 1/0 AWG | 53.48                | 145     | 36                  | 6"    | 0.5692 | 0.1722         | 4.935                                     |
| Al   | 2/0 AWG | 67.43                | 170     | 38                  | 6"    | 0.4519 | 0.1675         | 4.03                                      |
| Al   | 4/0 AWG | 107.2                | 220     | 42                  | 6"    | 0.2846 | 0.1576         | 2.729                                     |
| Al   | 250 MCM | 126.7                | 250     | 44                  | 6"    | 0.2397 | 0.1548         | 2.38                                      |
| Al   | 350 MCM | 177.3                | 305     | 48                  | 6"    | 0.1714 | 0.1487         | 1.841                                     |
| Cu   | 1/0 AWG | 53.48                | 190     | 35                  | 6"    | 0.3344 | 0.1784         | 3.182                                     |
| Cu   | 2/0 AWG | 67.43                | 220     | 37                  | 6"    | 0.2661 | 0.1739         | 2.649                                     |
| Cu   | 4/0 AWG | 107.2                | 285     | 40                  | 6"    | 0.1672 | 0.1623         | 1.859                                     |
| Cu   | 250 MCM | 126.7                | 325     | 42                  | 6"    | 0.1417 | 0.1598         | 1.657                                     |
| Cu   | 350 MCM | 177.3                | 395     | 46                  | 6"    | 0.101  | 0.1542         | 1.329                                     |
| <b>► ESC. 20°C — V. Tenza / Intermedia (1,800–2,500 msnm) — T<sub>ducto</sub> = 35°C — <math>\cos\varphi = 0.90</math></b> |         |                      |         |                     |       |        |                |   |
| Al   | 1/0 AWG | 53.48                | 145     | 36                  | 6"    | 0.5917 | 0.1722         | 5.105                                     |
| Al   | 2/0 AWG | 67.43                | 170     | 38                  | 6"    | 0.4698 | 0.1675         | 4.165                                     |
| Al   | 4/0 AWG | 107.2                | 220     | 42                  | 6"    | 0.2959 | 0.1576         | 2.814                                     |
| Al   | 250 MCM | 126.7                | 250     | 44                  | 6"    | 0.2492 | 0.1548         | 2.451                                     |
| Al   | 350 MCM | 177.3                | 305     | 48                  | 6"    | 0.1782 | 0.1487         | 1.892                                     |
| Cu   | 1/0 AWG | 53.48                | 190     | 35                  | 6"    | 0.3473 | 0.1784         | 3.28                                      |
| Cu   | 2/0 AWG | 67.43                | 220     | 37                  | 6"    | 0.2764 | 0.1739         | 2.727                                     |
| Cu   | 4/0 AWG | 107.2                | 285     | 40                  | 6"    | 0.1737 | 0.1623         | 1.907                                     |
| Cu   | 250 MCM | 126.7                | 325     | 42                  | 6"    | 0.1472 | 0.1598         | 1.698                                     |
| Cu   | 350 MCM | 177.3                | 395     | 46                  | 6"    | 0.1049 | 0.1542         | 1.358                                     |

| ► ESC. 30°C — Occidental (Mag. Medio) (< 1,000 msnm) — T_ducto = 45°C — cosφ = 0.90 |         |       |     |    |    |        |        |       |
|---|---------|-------|-----|----|----|--------|--------|-------|
| Al  | 1/0 AWG | 53.48 | 145 | 36 | 6" | 0.6142 | 0.1722 | 5.275 |
| Al  | 2/0 AWG | 67.43 | 170 | 38 | 6" | 0.4876 | 0.1675 | 4.3   |
| Al  | 4/0 AWG | 107.2 | 220 | 42 | 6" | 0.3071 | 0.1576 | 2.899 |
| Al  | 250 MCM | 126.7 | 250 | 44 | 6" | 0.2587 | 0.1548 | 2.523 |
| Al  | 350 MCM | 177.3 | 305 | 48 | 6" | 0.1849 | 0.1487 | 1.943 |
| Cu  | 1/0 AWG | 53.48 | 190 | 35 | 6" | 0.3602 | 0.1784 | 3.377 |
| Cu  | 2/0 AWG | 67.43 | 220 | 37 | 6" | 0.2866 | 0.1739 | 2.804 |
| Cu  | 4/0 AWG | 107.2 | 285 | 40 | 6" | 0.1801 | 0.1623 | 1.956 |
| Cu  | 250 MCM | 126.7 | 325 | 42 | 6" | 0.1527 | 0.1598 | 1.74  |
| Cu  | 350 MCM | 177.3 | 395 | 46 | 6" | 0.1088 | 0.1542 | 1.388 |

Tabla 5. K ( $\times 10^{-8}$  %/kVA·m) – Red subterránea 34.5 kV – 3 fases en trébol en 1 ducto – Cable XLPE monopolar - cosφ = 0.90 – f=60 Hz.

## C.2. CASO 2: CANALIZACIÓN INDIVIDUAL POR FASE.

En este esquema, cada fase del circuito de media tensión se instala en un ducto PVC exclusivo e independiente, es decir, un ducto por fase, sin compartir canalización con las demás fases.

### C.2.1. Fundamentos de cálculo y configuración

- Escenarios de temperatura:

La resistencia del conductor subterráneo se calcula a la temperatura del ducto cargado (no a la temperatura ambiente). Esta temperatura se estima según IEC 60287-3-1:  
 $T_{ducto} = T_{suelo} + \Delta T$  (carga 75%).

| ESC. | ALTITUD          | ZONA CLIMÁTICA          | T_aire | T_suelo | ΔT(75%) | T_ducto | T_ADOP. | α_Al    | α_Cu    | cosφ |
|------|------------------|-------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| 12°C | > 2,500 msnm     | Altiplano / Páramo      | 12°C   | 11°C    | +14°C   | 25°C    | 25°C    | 0.00403 | 0.00393 | 0.9  |
| 20°C | 1,800–2,500 msnm | V. Tenza / Intermedia   | 20°C   | 18°C    | +14°C   | 32°C    | 35°C    | 0.00403 | 0.00393 | 0.9  |
| 30°C | < 1,000 msnm     | Occidental (Mag. Medio) | 30°C   | 26°C    | +14°C   | 40°C    | 45°C    | 0.00403 | 0.00393 | 0.9  |

Tabla 6. Escenarios de temperatura y parámetros de cálculo..

### Municipios representativos

**Escenario 12°C (T<sub>ducto</sub> = 25°C):** Tunja, Duitama, Sogamoso, Paipa, Samacá, Toca, Oicatá, Cómbita, Aquitania.

**Escenario 20°C (T<sub>ducto</sub> = 35°C):** Garagoa, Guateque, Tenza, Ramiriquí, Miraflores, Villa de Leyva, Moniquirá.

**Escenario 30°C (T<sub>ducto</sub> = 45°C):** Puerto Boyacá, Otanche, Quípama, Muzo, Coper, Borbur, Maripí.

- **Configuraciones de canalización**

| CONFIGURACIÓN        | DESCRIPCIÓN                      | DUCTO   | Sep. c-c | DMG (m)      | X <sub>i</sub> relativa | VENTAJA             |
|----------------------|----------------------------------|---------|----------|--------------|-------------------------|---------------------|
| TRÉBOL               | 3 ductos en triángulo equilátero | PVC Ø4" | 150 mm   | <b>0.15</b>  | Referencia              | Mejor regulación    |
| PLANO HORIZONTAL     | 3 ductos en línea, juntos        | PVC Ø4" | 150 mm   | <b>0.189</b> | +6% vs trébol           | Construcción simple |
| PLANO CON SEPARACIÓN | 3 ductos en línea, espaciados    | PVC Ø4" | 300 mm   | <b>0.378</b> | +24% vs trébol          | Mejor disipación    |

Tabla 7. Configuraciones de canalización subterránea.

### C.2.2. Guía de lectura

**Mat.:** Al = Aluminio ( $\alpha = 0.00403/^\circ\text{C}$ ) | Cu = Cobre ( $\alpha = 0.00393/^\circ\text{C}$ ).

**R(T):** Resistencia AC corregida a temperatura de ducto.  $R(T) = R(20^\circ\text{C}) \times [1 + \alpha \times (T-20)]$ .

**X<sub>i</sub>:** Reactancia inductiva a 60 Hz. Depende solo de geometría (DMG) y conductor (RMG). Idéntica para Al y Cu del mismo calibre.

**K:** Constante de regulación. Uso:  $\%Reg = K \times S(\text{kVA}) \times L(\text{m})$ . Calculada con  $\cos\varphi = 0.90$ .

**Código de color:** Filas azules = Aluminio | Filas cálidas = Cobre | Franjas oscuras = Separador de escenario.

### C.2.3. Tabla de regulación – 13.2 kV

Constante K en  $\times 10^{-7} \%/kVA \cdot m$ . Factor de potencia:  $\cos\varphi = 0.90$ .

| CONDUCTOR   |         |                             |          | R(T)   | CANALIZACIÓN TRÉBOL<br>(DMG=0.150m) |                        | CANALIZACIÓN PLANO<br>HORIZ. (DMG=0.189m) |                        | CANALIZACIÓN PLANO c/SEP.<br>(DMG=0.378m) |                        |
|---|---------|-----------------------------|----------|--------|-------------------------------------|------------------------|---|------------------------|---|------------------------|
| Mat.  | Calibre | Secc.<br>(mm <sup>2</sup> ) | Amp. (A) | Ω/km   | X <sub>i</sub> (Ω/km)               | K (×10 <sup>-7</sup> ) | X <sub>i</sub><br>(Ω/km)                  | K (×10 <sup>-7</sup> ) | X <sub>i</sub> (Ω/km)                     | K (×10 <sup>-7</sup> ) |
| <b>► ESCENARIO 12°C — Altiplano / Páramo (&gt; 2,500 msnm) — T<sub>ducto</sub> = 25°C — cosφ = 0.90</b>     |         |                             |          |        |                                     |                        |   |                        |   |                        |
| Al  | 1/0 AWG | 53.48                       | 145      | 0.5692 | 0.2882                              | <b>3.661</b>           | 0.3056                                    | <b>3.705</b>           | 0.3579                                    | <b>3.836</b>           |
| Al  | 2/0 AWG | 67.43                       | 170      | 0.4519 | 0.2794                              | <b>3.033</b>           | 0.2968                                    | <b>3.077</b>           | 0.3491                                    | <b>3.208</b>           |
| Al  | 4/0 AWG | 107.2                       | 220      | 0.2846 | 0.2619                              | <b>2.125</b>           | 0.2794                                    | <b>2.169</b>           | 0.3316                                    | <b>2.3</b>             |
| Al  | 250 MCM | 126.7                       | 250      | 0.2397 | 0.2558                              | <b>1.878</b>           | 0.2732                                    | <b>1.922</b>           | 0.3255                                    | <b>2.053</b>           |
| Al  | 350 MCM | 177.3                       | 305      | 0.1714 | 0.2433                              | <b>1.494</b>           | 0.2607                                    | <b>1.537</b>           | 0.313                                     | <b>1.668</b>           |
| Cu  | 1/0 AWG | 53.48                       | 190      | 0.3344 | 0.2882                              | <b>2.448</b>           | 0.3056                                    | <b>2.492</b>           | 0.3579                                    | <b>2.623</b>           |
| Cu  | 2/0 AWG | 67.43                       | 220      | 0.2661 | 0.2794                              | <b>2.074</b>           | 0.2968                                    | <b>2.117</b>           | 0.3491                                    | <b>2.248</b>           |
| Cu  | 4/0 AWG | 107.2                       | 285      | 0.1672 | 0.2619                              | <b>1.519</b>           | 0.2794                                    | <b>1.563</b>           | 0.3316                                    | <b>1.693</b>           |
| Cu  | 250 MCM | 126.7                       | 325      | 0.1417 | 0.2558                              | <b>1.372</b>           | 0.2732                                    | <b>1.416</b>           | 0.3255                                    | <b>1.546</b>           |
| Cu  | 350 MCM | 177.3                       | 395      | 0.101  | 0.2433                              | <b>1.131</b>           | 0.2607                                    | <b>1.174</b>           | 0.313                                     | <b>1.305</b>           |
| <b>► ESCENARIO 20°C — V. Tenza / Intermedia (1,800-2,500 msnm) — T<sub>ducto</sub> = 35°C — cosφ = 0.90</b> |         |                             |          |        |                                     |                        |   |                        |   |                        |
| Al  | 1/0 AWG | 53.48                       | 145      | 0.5917 | 0.2882                              | <b>3.777</b>           | 0.3056                                    | <b>3.821</b>           | 0.3579                                    | <b>3.952</b>           |
| Al  | 2/0 AWG | 67.43                       | 170      | 0.4698 | 0.2794                              | <b>3.126</b>           | 0.2968                                    | <b>3.169</b>           | 0.3491                                    | <b>3.3</b>             |
| Al  | 4/0 AWG | 107.2                       | 220      | 0.2959 | 0.2619                              | <b>2.183</b>           | 0.2794                                    | <b>2.227</b>           | 0.3316                                    | <b>2.358</b>           |
| Al  | 250 MCM | 126.7                       | 250      | 0.2492 | 0.2558                              | <b>1.927</b>           | 0.2732                                    | <b>1.971</b>           | 0.3255                                    | <b>2.102</b>           |
| Al  | 350 MCM | 177.3                       | 305      | 0.1782 | 0.2433                              | <b>1.529</b>           | 0.2607                                    | <b>1.572</b>           | 0.313                                     | <b>1.703</b>           |
| Cu  | 1/0 AWG | 53.48                       | 190      | 0.3473 | 0.2882                              | <b>2.515</b>           | 0.3056                                    | <b>2.559</b>           | 0.3579                                    | <b>2.689</b>           |
| Cu  | 2/0 AWG | 67.43                       | 220      | 0.2764 | 0.2794                              | <b>2.127</b>           | 0.2968                                    | <b>2.17</b>            | 0.3491                                    | <b>2.301</b>           |
| Cu  | 4/0 AWG | 107.2                       | 285      | 0.1737 | 0.2619                              | <b>1.552</b>           | 0.2794                                    | <b>1.596</b>           | 0.3316                                    | <b>1.727</b>           |
| Cu  | 250 MCM | 126.7                       | 325      | 0.1472 | 0.2558                              | <b>1.4</b>             | 0.2732                                    | <b>1.444</b>           | 0.3255                                    | <b>1.575</b>           |
| Cu  | 350 MCM | 177.3                       | 395      | 0.1049 | 0.2433                              | <b>1.151</b>           | 0.2607                                    | <b>1.194</b>           | 0.313                                     | <b>1.325</b>           |

| ► ESCENARIO 30°C — Occidental (Mag. Medio) (< 1,000 msnm) — T_ducto = 45°C — cosφ = 0.90 |         |       |     |        |        |              |        |              |        |              |
|--|---------|-------|-----|--------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| Al   | 1/0 AWG | 53.48 | 145 | 0.6142 | 0.2882 | <b>3.894</b> | 0.3056 | <b>3.937</b> | 0.3579 | <b>4.068</b> |
| Al   | 2/0 AWG | 67.43 | 170 | 0.4876 | 0.2794 | <b>3.218</b> | 0.2968 | <b>3.261</b> | 0.3491 | <b>3.392</b> |
| Al   | 4/0 AWG | 107.2 | 220 | 0.3071 | 0.2619 | <b>2.242</b> | 0.2794 | <b>2.285</b> | 0.3316 | <b>2.416</b> |
| Al   | 250 MCM | 126.7 | 250 | 0.2587 | 0.2558 | <b>1.976</b> | 0.2732 | <b>2.02</b>  | 0.3255 | <b>2.15</b>  |
| Al   | 350 MCM | 177.3 | 305 | 0.1849 | 0.2433 | <b>1.564</b> | 0.2607 | <b>1.607</b> | 0.313  | <b>1.738</b> |
| Cu   | 1/0 AWG | 53.48 | 190 | 0.3602 | 0.2882 | <b>2.582</b> | 0.3056 | <b>2.625</b> | 0.3579 | <b>2.756</b> |
| Cu   | 2/0 AWG | 67.43 | 220 | 0.2866 | 0.2794 | <b>2.18</b>  | 0.2968 | <b>2.223</b> | 0.3491 | <b>2.354</b> |
| Cu   | 4/0 AWG | 107.2 | 285 | 0.1801 | 0.2619 | <b>1.586</b> | 0.2794 | <b>1.629</b> | 0.3316 | <b>1.76</b>  |
| Cu   | 250 MCM | 126.7 | 325 | 0.1527 | 0.2558 | <b>1.428</b> | 0.2732 | <b>1.472</b> | 0.3255 | <b>1.603</b> |
| Cu   | 350 MCM | 177.3 | 395 | 0.1088 | 0.2433 | <b>1.171</b> | 0.2607 | <b>1.214</b> | 0.313  | <b>1.345</b> |

Tabla 8. Constantes de regulación K ( $\times 10^{-7}$  %/kVA·m) – Redes subterráneas 13.2 kV – Cable XLPE monopolar - cosφ = 0.90 – f=60 Hz.

### C.2.4. Tabla de regulación – 34.5 kV

Constante K en  $\times 10^{-8}$  %/kVA·m. Factor de potencia: cos φ = 0.90.

| CONDUCTOR   |         |                          |          | R(T)   | CANALIZACIÓN TRÉBOL (DMG=0.150m) |                        | CANALIZACIÓN PLANO HORIZ. (DMG=0.189m) |                        | CANALIZACIÓN PLANO c/SEP. (DMG=0.378m) |                        |
|---|---------|--------------------------|----------|--------|----------------------------------|------------------------|--|------------------------|--|------------------------|
| Mat.  | Calibre | Secc. (mm <sup>2</sup> ) | Amp. (A) | Ω/km   | X <sub>l</sub> (Ω/km)            | K ( $\times 10^{-8}$ ) | X <sub>l</sub> (Ω/km)                  | K ( $\times 10^{-8}$ ) | X <sub>l</sub> (Ω/km)                  | K ( $\times 10^{-8}$ ) |
| ► ESCENARIO 12°C — Altiplano / Páramo (> 2,500 msnm) — T_ducto = 25°C — cosφ = 0.90 |         |                          |          |        |                                  |                        |  |                        |  |                        |
| Al  | 1/0 AWG | 53.48                    | 145      | 0.5692 | 0.2882                           | <b>5.36</b>            | 0.3056                                 | <b>5.423</b>           | 0.3579                                 | <b>5.615</b>           |
| Al  | 2/0 AWG | 67.43                    | 170      | 0.4519 | 0.2794                           | <b>4.44</b>            | 0.2968                                 | <b>4.504</b>           | 0.3491                                 | <b>4.696</b>           |
| Al  | 4/0 AWG | 107.2                    | 220      | 0.2846 | 0.2619                           | <b>3.111</b>           | 0.2794                                 | <b>3.175</b>           | 0.3316                                 | <b>3.367</b>           |
| Al  | 250 MCM | 126.7                    | 250      | 0.2397 | 0.2558                           | <b>2.75</b>            | 0.2732                                 | <b>2.813</b>           | 0.3255                                 | <b>3.005</b>           |
| Al  | 350 MCM | 177.3                    | 305      | 0.1714 | 0.2433                           | <b>2.187</b>           | 0.2607                                 | <b>2.251</b>           | 0.313                                  | <b>2.442</b>           |
| Cu  | 1/0 AWG | 53.48                    | 190      | 0.3344 | 0.2882                           | <b>3.584</b>           | 0.3056                                 | <b>3.648</b>           | 0.3579                                 | <b>3.839</b>           |
| Cu  | 2/0 AWG | 67.43                    | 220      | 0.2661 | 0.2794                           | <b>3.036</b>           | 0.2968                                 | <b>3.099</b>           | 0.3491                                 | <b>3.291</b>           |
| Cu  | 4/0 AWG | 107.2                    | 285      | 0.1672 | 0.2619                           | <b>2.224</b>           | 0.2794                                 | <b>2.287</b>           | 0.3316                                 | <b>2.479</b>           |
| Cu  | 250 MCM | 126.7                    | 325      | 0.1417 | 0.2558                           | <b>2.009</b>           | 0.2732                                 | <b>2.072</b>           | 0.3255                                 | <b>2.264</b>           |
| Cu  | 350 MCM | 177.3                    | 395      | 0.101  | 0.2433                           | <b>1.655</b>           | 0.2607                                 | <b>1.719</b>           | 0.313                                  | <b>1.91</b>            |

| ► ESCENARIO 20°C — V. Tenza / Intermedia (1,800–2,500 msnm) — T <sub>ducto</sub> = 35°C — cosφ = 0.90 |         |       |     |        |        |              |        |              |        |              |
|---|---------|-------|-----|--------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| Al  | 1/0 AWG | 53.48 | 145 | 0.5917 | 0.2882 | <b>5.53</b>  | 0.3056 | <b>5.594</b> | 0.3579 | <b>5.785</b> |
| Al  | 2/0 AWG | 67.43 | 170 | 0.4698 | 0.2794 | <b>4.575</b> | 0.2968 | <b>4.639</b> | 0.3491 | <b>4.831</b> |
| Al  | 4/0 AWG | 107.2 | 220 | 0.2959 | 0.2619 | <b>3.196</b> | 0.2794 | <b>3.26</b>  | 0.3316 | <b>3.452</b> |
| Al  | 250 MCM | 126.7 | 250 | 0.2492 | 0.2558 | <b>2.821</b> | 0.2732 | <b>2.885</b> | 0.3255 | <b>3.076</b> |
| Al  | 350 MCM | 177.3 | 305 | 0.1782 | 0.2433 | <b>2.238</b> | 0.2607 | <b>2.302</b> | 0.313  | <b>2.493</b> |
| Cu  | 1/0 AWG | 53.48 | 190 | 0.3473 | 0.2882 | <b>3.682</b> | 0.3056 | <b>3.746</b> | 0.3579 | <b>3.937</b> |
| Cu  | 2/0 AWG | 67.43 | 220 | 0.2764 | 0.2794 | <b>3.113</b> | 0.2968 | <b>3.177</b> | 0.3491 | <b>3.368</b> |
| Cu  | 4/0 AWG | 107.2 | 285 | 0.1737 | 0.2619 | <b>2.272</b> | 0.2794 | <b>2.336</b> | 0.3316 | <b>2.528</b> |
| Cu  | 250 MCM | 126.7 | 325 | 0.1472 | 0.2558 | <b>2.05</b>  | 0.2732 | <b>2.114</b> | 0.3255 | <b>2.305</b> |
| Cu  | 350 MCM | 177.3 | 395 | 0.1049 | 0.2433 | <b>1.684</b> | 0.2607 | <b>1.748</b> | 0.313  | <b>1.940</b> |
| ► ESCENARIO 30°C — Occidental (Mag. Medio) (< 1,000 msnm) — T <sub>ducto</sub> = 45°C — cosφ = 0.90   |         |       |     |        |        |              |        |              |        |              |
| Al  | 1/0 AWG | 53.48 | 145 | 0.6142 | 0.2882 | <b>5.7</b>   | 0.3056 | <b>5.764</b> | 0.3579 | <b>5.955</b> |
| Al  | 2/0 AWG | 67.43 | 170 | 0.4876 | 0.2794 | <b>4.71</b>  | 0.2968 | <b>4.774</b> | 0.3491 | <b>4.966</b> |
| Al  | 4/0 AWG | 107.2 | 220 | 0.3071 | 0.2619 | <b>3.281</b> | 0.2794 | <b>3.345</b> | 0.3316 | <b>3.537</b> |
| Al  | 250 MCM | 126.7 | 250 | 0.2587 | 0.2558 | <b>2.893</b> | 0.2732 | <b>2.957</b> | 0.3255 | <b>3.148</b> |
| Al  | 350 MCM | 177.3 | 305 | 0.1849 | 0.2433 | <b>2.289</b> | 0.2607 | <b>2.353</b> | 0.313  | <b>2.544</b> |
| Cu  | 1/0 AWG | 53.48 | 190 | 0.3602 | 0.2882 | <b>3.779</b> | 0.3056 | <b>3.843</b> | 0.3579 | <b>4.034</b> |
| Cu  | 2/0 AWG | 67.43 | 220 | 0.2866 | 0.2794 | <b>3.191</b> | 0.2968 | <b>3.254</b> | 0.3491 | <b>3.446</b> |
| Cu  | 4/0 AWG | 107.2 | 285 | 0.1801 | 0.2619 | <b>2.321</b> | 0.2794 | <b>2.385</b> | 0.3316 | <b>2.576</b> |
| Cu  | 250 MCM | 126.7 | 325 | 0.1527 | 0.2558 | <b>2.091</b> | 0.2732 | <b>2.155</b> | 0.3255 | <b>2.346</b> |
| Cu  | 350 MCM | 177.3 | 395 | 0.1088 | 0.2433 | <b>1.714</b> | 0.2607 | <b>1.778</b> | 0.313  | <b>1.969</b> |

Tabla 9. Constantes de regulación K ( $\times 10^{-8}$  %/kVA·m) – Redes subterráneas 34.5 kV – Cable XLPE monopolar - cosφ = 0.90 – f=60 Hz.

### C.3. EJEMPLOS DE VERIFICACIÓN

#### Caso 1:

##### Ej. 1: Tunja, 4/0 Al, 13.2 kV

**Datos:** 13.2 kV | XLPE 4/0 Al ( $d_{ext}=31\text{mm}$ ) | Trébol en ducto 4" | S=3,000 kVA | L=2,000 m | Esc. 12°C

**Tabla 3:**  $K = 1.807 \times 10^{-7}$

**%Reg =  $1.807 \times 10^{-7} \times 3,000 \times 2,000 = 1.08\%$  → CUMPLE (2%)**

##### Ej. 2: Comparación Al vs Cu

**Datos:** 13.2 kV | 1/0 AWG | Esc. 20°C ( $T_e=35^\circ\text{C}$ ) | S=1,500 kVA | L=3,000 m

Al 1/0:  $K = 3.418 \times 10^{-7} \rightarrow \text{\%Reg} = 1.54\%$

Cu 1/0:  $K = 2.169 \times 10^{-7} \rightarrow \text{\%Reg} = 0.98\%$

**Ahorro con cobre: 37% menos regulación.**

#### Caso 2:

**Datos:** 13.2 kV | XLPE 4/0 AWG Al | Canalización trébol | S=3,000 kVA | L=2,000 m | Tunja (Esc. 12°C)

**De Tabla 3:**  $K = 2.125 \times 10^{-7} \text{\%/kVA}\cdot\text{m}$

**%Reg =  $2.125 \times 10^{-7} \times 3,000 \times 2,000 = 1.28\%$  → CUMPLE (límite 5%)**

| <b>FACTOR DE CORRECCION POR CONDUCTORES ACTIVOS</b> |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>Numero de Conductores Activos</b>                | <b>Factor de Correccion</b> |
| 1 a 3   | 1,00                        |
| 4 a 6   | 0,80                        |
| 7 a 9   | 0,70                        |
| 10 a 20   | 0,50                        |

Tabla 10. Factores de corrección por conductores activos.

| <b>Criterio</b>                | <b>Requisito / Límite Técnico</b>  | <b>Fundamento Normativo o Técnico</b>   |
|--------------------------------|--|---|
| Agrupación de conductores      | Aplicar factor de corrección térmica si hay más de 3 conductores activos en el mismo ducto.                    | NTC 2050 Tabla B.310.15(B)(3)(a) (sección 310.15(B)(3)(a) del NEC).                         |
| Cantidad típica sin corrección | Hasta 3 conductores activos por ducto, se puede usar la ampacidad base.  | NTC 2050 / NEC 310.15(B)(3)(a).   |
| Factor de corrección           | Disminuye según el número total de conductores activos: Ej. 4-6 conductores: 80 %, 7-9 conductores: 70 %, etc. | NEC – NTC 2050 Tabla correspondiente (310.15(B)(3)(a)).                                     |
| Ocupación del ducto            | No debe superar el 40 % del área interna útil del ducto.   | IEC 60287 (cálculo térmico de cables), guías técnicas de diseño de canalizaciones.          |
| Separación entre ductos        | Mínimo 5 cm entre ductos y entre ducto y paredes de la zanja.  | Manuales técnicos de ESSA y EBSA – Diseño civil subterráneo.                                |
| Uso de separadores             | Obligatorio cuando hay más de un ducto por zanja para mantener disipación térmica uniforme.                    | Buenas prácticas de ingeniería, respaldadas por normas IEC.                                 |
| Riesgos por sobreocupación     | Ocupación > 40 % compromete disipación térmica, incrementa temperatura y reduce vida útil de los cables.       | IEC 60287 (modelo de cálculo térmico con resistividad del relleno y confinamiento térmico). |

Tabla 11. Criterios de Agrupación y Ocupación de Ductos en Instalaciones Subterráneas.

## D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- Preferir aislamiento XLPE al 133 % en redes críticas o donde se espera permanencia de falla.
- Si por las dimensiones del ducto no caben todos los conductores del circuito, se deben utilizar ductos paralelos, siempre que estén cercanos y no sean de materiales conductores de la electricidad, a excepción de ductos metálicos todo el circuito debe ir en el mismo ducto debidamente equipotencializado a tierra.
- No se admite la instalación de cables sobre el nivel del suelo terminado, se entiende por “suelo terminado” el que habitualmente es pisado por las personas.
- Los cables deben ser tendidos y halados de acuerdo con las tensiones de halada dinámica máxima recomendada por los fabricantes y los radios de curvatura, los coeficientes de fricción, el tipo de chaqueta y forro metálico.
- Elegir relleno térmicamente estable como arena lavada, evitar suelos arcillosos o húmedos.
- Respetar la ocupación máxima del ducto y asegurar espacio para disipación térmica.

### IMPORTANTE

- El diseño térmico de cables subterráneos requiere considerar agrupación, temperatura ambiente, tipo de ducto, profundidad y relleno para cumplir requisitos normativos y garantizar seguridad, confiabilidad y durabilidad en la infraestructura eléctrica.

## 1.2.2.2 CONEXIONES ELÉCTRICAS

### A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

La presente norma tiene por objeto establecer los lineamientos técnicos y normativos para el diseño, la selección y la instalación de conexiones eléctricas en redes subterráneas de media tensión. Estas conexiones comprenden uniones físicas y eléctricas, como terminales, empalmes, conectores y dispositivos de transición.

El objetivo es garantizar la continuidad eléctrica y mecánica del sistema, así como asegurar que las operaciones se realicen bajo condiciones de seguridad y normalización. La aplicación de esta norma es de carácter obligatorio para todos los proyectos que involucran este tipo de conexiones, con el fin de asegurar la compatibilidad eléctrica, la integridad de los componentes a lo largo del ciclo de vida de la red, y el estricto cumplimiento de la normativa vigente.

### B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

#### B.1. TERMINALES PREMOLDEADOS:

Terminales tipo codo o tipo T de materiales como EPDM o silicona. La tensión nominal del accesorio debe ser igual o superior a 13.2 kV o 34.5 kV según aplicación, con corriente nominal mínima de 200 A o 600 A.

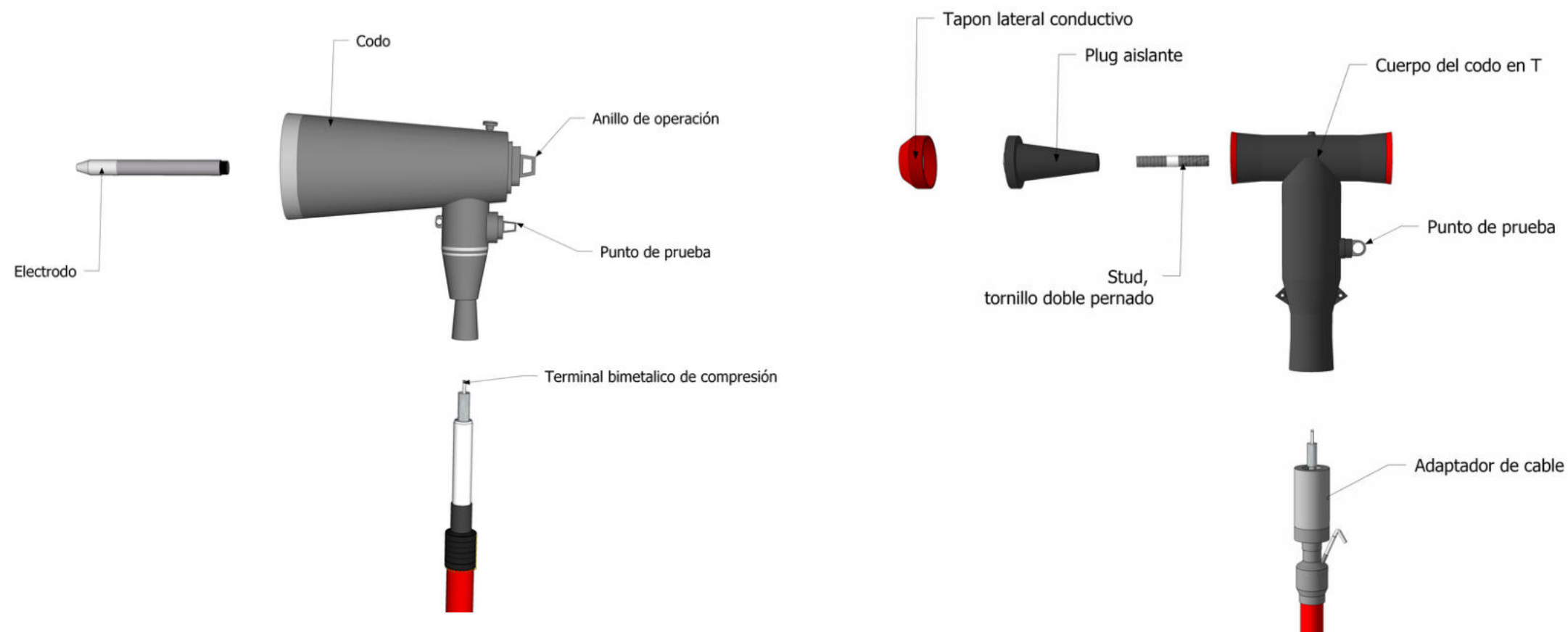


Figura 2. Terminal premoldeado tipo codo y tipo T de 200A y 600A

### B.2. EMPALMES:

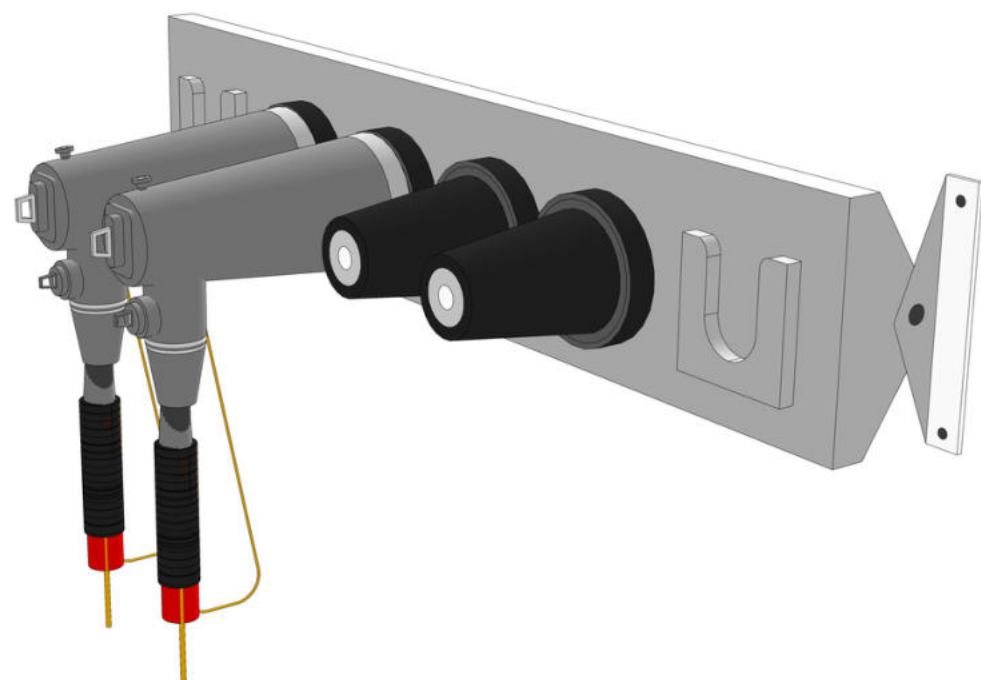
Se deben emplear empalmes del tipo premoldeado o termoencogible, fabricados con materiales que garanticen alta resistencia mecánica, a la humedad y a condiciones subterráneas adversas. Estos empalmes deben cumplir la norma IEC 61442, la cual establece los requisitos de ensayo y desempeño para accesorios destinados a cables de energía. La selección del empalme debe considerar el tipo de aislamiento del cable (XLPE, EPR) y el nivel de tensión operativo del sistema, asegurando continuidad eléctrica segura y un aislamiento confiable a lo largo de la vida útil de la red.

### B.3. BARRAJES MULTI-WAY:

Permiten derivaciones múltiples mediante terminales tipo codo, empleados únicamente en redes de 13.2 kV. Se utilizan modelos de 200 A y 600 A según aplicación. Es importante aclarar que el uso de barrajes multi-way está permitido únicamente en redes de 13.2 kV, facilitando la interconexión mediante terminales tipo codo para configuraciones radiales o en anillo. Sin embargo, esta solución debe considerarse únicamente como una medida de último recurso. En todos los casos posibles, se debe priorizar el diseño mediante celdas de maniobra y protección, evitando el uso de barrajes para maximizar la seguridad operativa y la confiabilidad del sistema. Esta directriz debe integrarse como criterio técnico desde el diseño del proyecto, privilegiando siempre la alternativa de celdas como configuración estándar, y recurriendo a los barrajes sólo en situaciones excepcionales en las que no sea viable técnica o económicamente implementar celdas.

Por el contrario, en el nivel de 34.5 kV el empleo de barrajes multi-way está prohibido, siendo obligatorio que las líneas de entrada y salida del sistema se conecten directamente a través de celdas de maniobra y protección específicas. Esta directriz busca garantizar la integridad técnica y el cumplimiento de las condiciones de seguridad requeridas para este nivel de tensión.

BARRAJE PARA CODO DE 200A



BARRAJE PARA CODO DE 600A

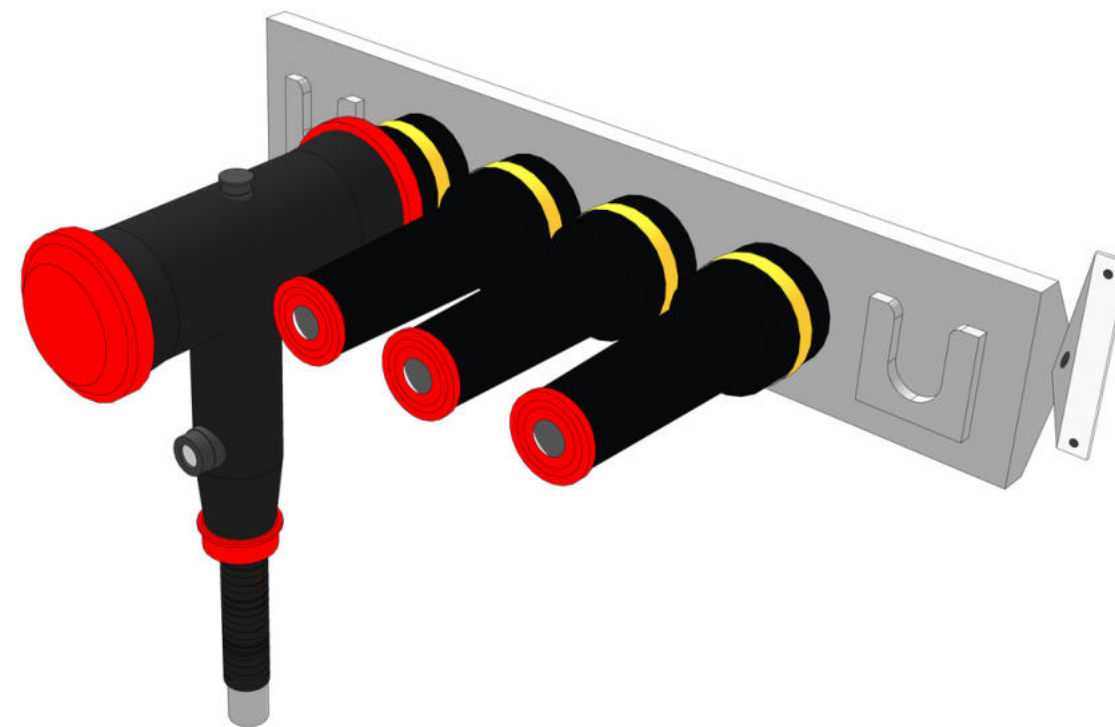


Figura 3. Barraje para terminal premoldeado tipo codo de 200A y 600A

**B.4. TAPONES AISLADOS EN SALIDAS NO UTILIZADAS:**

Las salidas inactivas de los transformadores y barrajes deben sellarse mediante tapones aislados compatibles, fabricados en materiales poliméricos adecuados para el nivel de tensión del sistema. Además, dichos tapones aislados deben conectarse al sistema de puesta a tierra mediante un cable o trenza de cobre, garantizando su equipotencialización y previniendo cualquier riesgo de acumulación de cargas eléctricas en su superficie. Estos tapones garantizan el mantenimiento de la integridad dieléctrica, previenen la entrada de humedad o contaminantes y reducen el riesgo de contactos eléctricos accidentales, asegurando así la continuidad operativa y la seguridad del sistema.

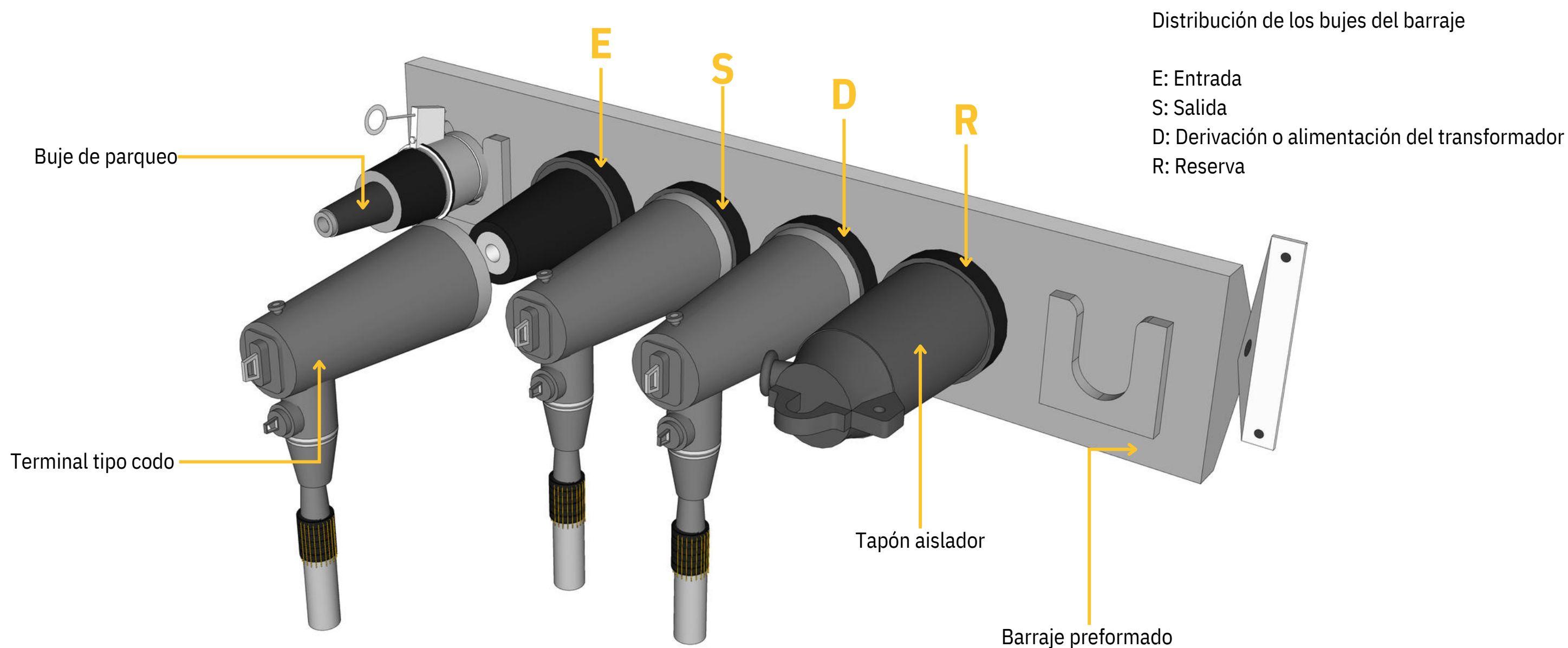


Figura 4. Uso del tapón aislador en barrajes de M.T

### B.5. INSERTOS DOBLES PARA CONEXIÓN:

Los insertos dobles son accesorios diseñados para su instalación en los bushings integrados del transformador y barrajes. Permiten la conexión simultánea de un terminal tipo codo y un descargador de sobretensión (DPS) en una misma salida del transformador y barrajes. Esta configuración garantiza la continuidad de la protección contra sobretensiones sin sacrificar la funcionalidad del circuito, mejorando la confiabilidad operativa y facilitando el mantenimiento del sistema.

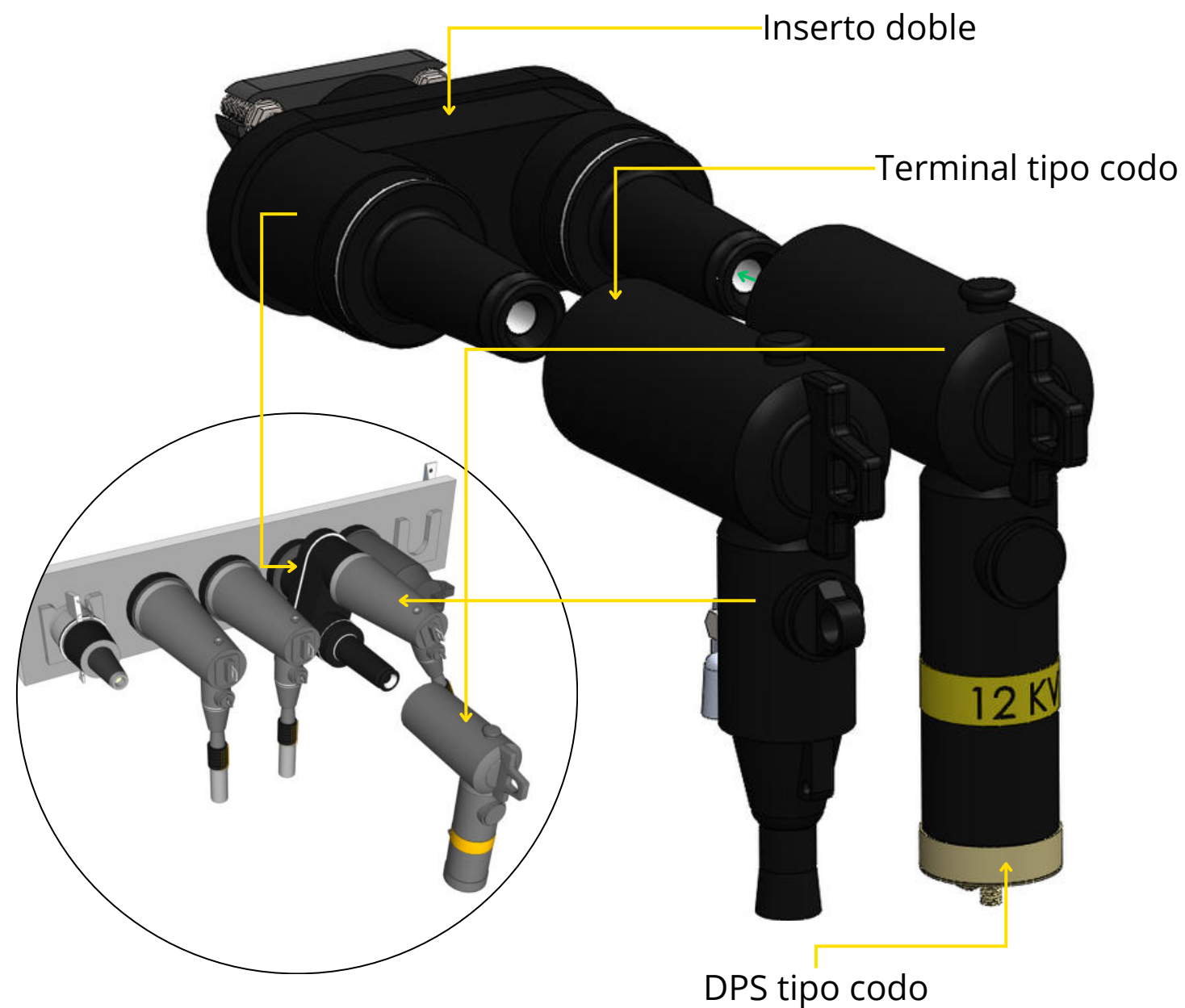


Figura 5. Uso de insertos doble en barrajes de M.T

### B.6. PUESTA A TIERRA:

Todos los terminales tipo codo, apantallamientos de cables y barrajes multi-way deben aterrizarse obligatoriamente a un barraje de tierras ubicado dentro de la caja o celda correspondiente. Una conexión de puesta a tierra robusta y confiable es fundamental para la operación segura de las redes subterráneas de 13.2 kV y 34.5 kV.

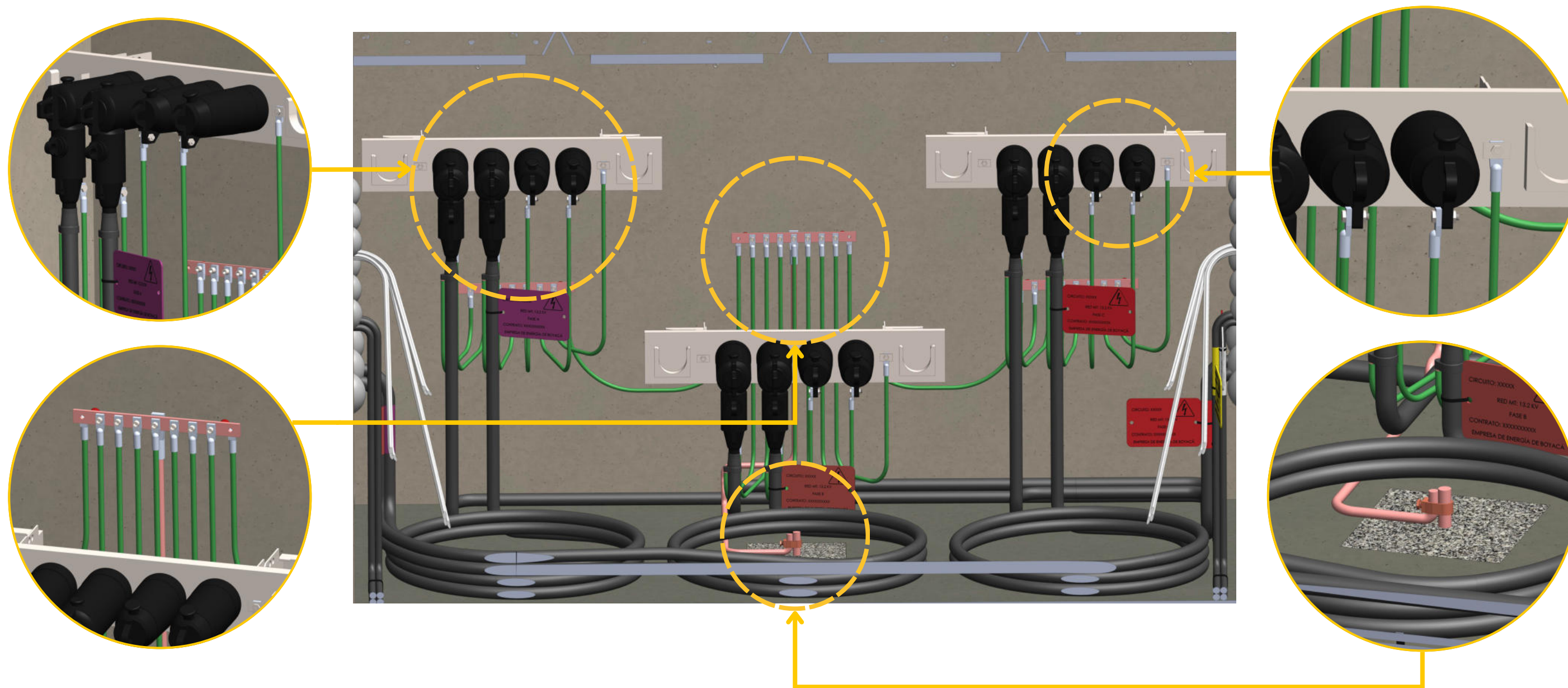


Figura 6. Conexiones a puesta a tierra

### B.7. CRITERIOS DE INSTALACIÓN:

Seguir estrictamente los manuales técnicos de cada fabricante de conectores y accesorios. Durante la instalación debe evitarse aplicar esfuerzos mecánicos indebidos sobre los componentes, tanto durante el manejo como en la conexión. Se debe garantizar la aplicación precisa del torque de apriete especificado para cada accesorio, usando las herramientas adecuadas, y realizar la limpieza rigurosa de las superficies de conexión utilizando materiales recomendados para tal fin. Asimismo, debe garantizarse que los radios de curvatura de los cables no sean vulnerados durante las operaciones de instalación.

### B.8. IDENTIFICACIÓN Y ROTULADO:

Cada cable y conector debe contar con una identificación visible, legible y permanente, indicando claramente el circuito al que pertenece, la tensión nominal, el color normativo asociado al nivel de tensión y el sentido de alimentación. Esta identificación debe colocarse tanto en los extremos de conexión como en puntos estratégicos a lo largo del tendido subterráneo, garantizando una adecuada trazabilidad operativa y facilitando las labores de inspección y mantenimiento. Deben implementarse los siguientes mecanismos de identificación, conforme a los criterios definidos por el Título 5 del RETIE, la NTC 2050 artículo 210.5(C) y las prácticas establecidas por EBSA.

#### 1. Codificación por Color en Cables:

Para redes de 13,2 kV y 34,5 kV: Conforme a la Tabla 3.5.a del RETIE 2024, y considerando que la configuración operativa de EBSA en estos niveles es en conexión tipo triángulo ( $\Delta$ ), la codificación por color para sistemas trifásicos en media tensión debe ser la siguiente:

- Fase A: Violeta
- Fase B: Café
- Fase C: Rojo
- Tierra de protección: Verde o desnudo



Figura 7. Etiquetado para fases en M.T

Esta identificación debe hacerse mediante cintas, fundas o marcadores visibles en los extremos de los conductores, con una longitud mínima de 15 cm, resistentes a la humedad, abrasión y agentes químicos. La marcación debe garantizar visibilidad durante inspecciones y mantenimientos, según los artículos 13.2.1 y 13.2.5 del RETIE 2024. Esta codificación por color debe ser permanente, resistente a la abrasión y al medio ambiente subterráneo, y cumplir con lo estipulado en el RETIE, NTC 2050 artículo 210.5(C) y las prácticas establecidas por EBSA.

2. **Placas de Advertencia Permanentes en Ductos y Cajas:** construidas en material resistente a la intemperie, rotuladas con frases como “PELIGRO ALTA TENSIÓN” con letras de mínimo 13 mm de altura, en alto relieve o impresión indeleble.



Figura 8. Detalles de placas de advertencia.

3. **Flechas Indicadoras del Sentido de Energización en Cables, ductos y tapas,** para facilitar labores de mantenimiento y garantizar intervenciones seguras.

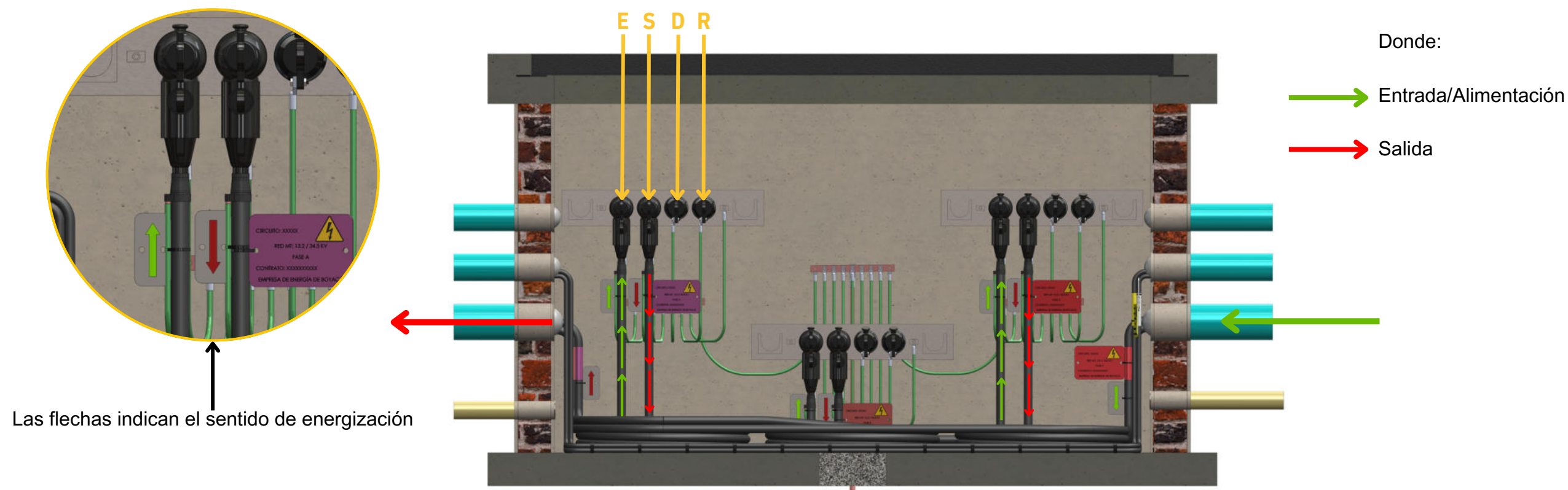


Figura 9. Detalle flechas indicadoras del sentido de energización

**4. Códigos Unificados EBSA:** cada caja debe incluir, en su cara interna o superior, código de identificación estructurado con el número de contrato, tensión nominal, fecha de instalación y código estructural. Esta información debe ser visible y legible en condiciones de baja iluminación.

Nota:

El rotulado interior se ubicará en la parte interna de la tapa y puede implementarse de dos formas:

1. Embebido en el concreto mediante platinas, utilizando el mismo material que el rotulado exterior.
2. Con una argolla soldada al refuerzo de la tapa, diseñada para sobresalir y permitir la fijación de una etiqueta similar a la utilizada en el rotulado de cables o conductores.

En cualquiera de los casos, el rotulado interior debe incluir, como mínimo, la siguiente información: número de contrato, tensión nominal de la caja, nodo, fecha de fabricación y código identificador de la caja.

**El rotulado debe estar fabricado con materiales duraderos, como acero inoxidable o polipropileno de alto impacto, que garanticen resistencia a cargas externas y condiciones ambientales adversas.**

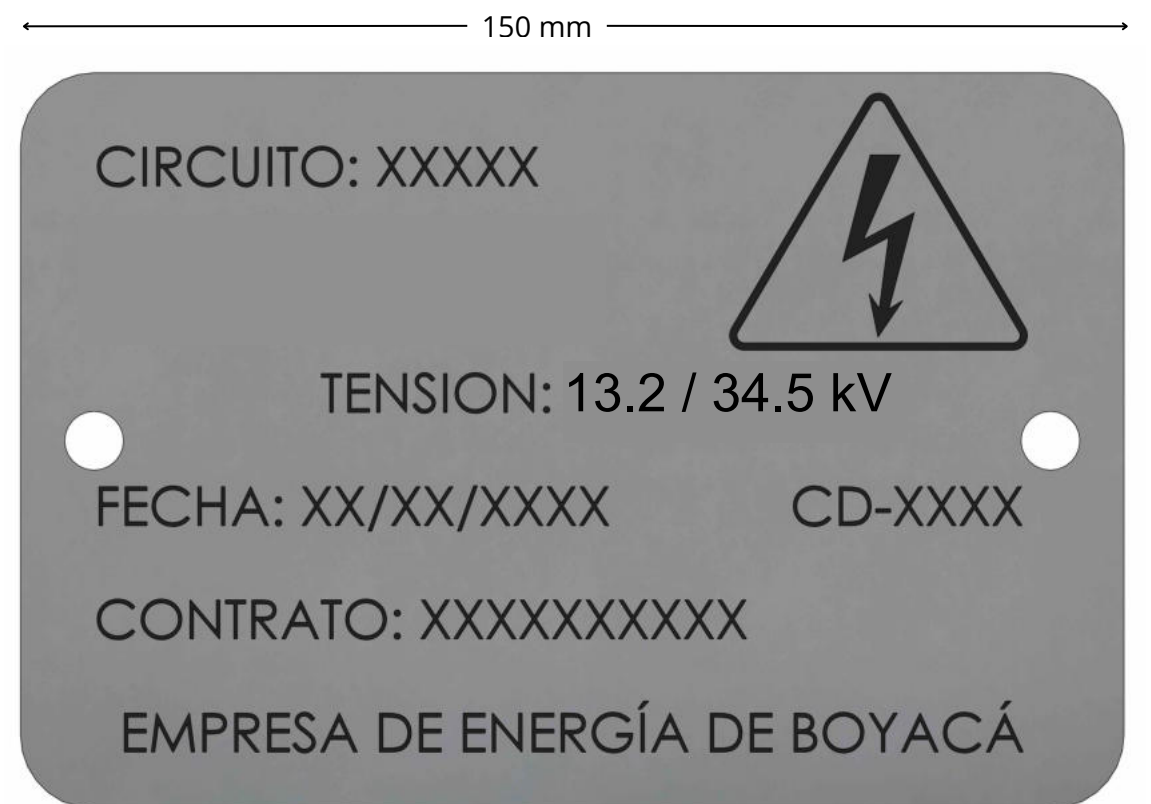
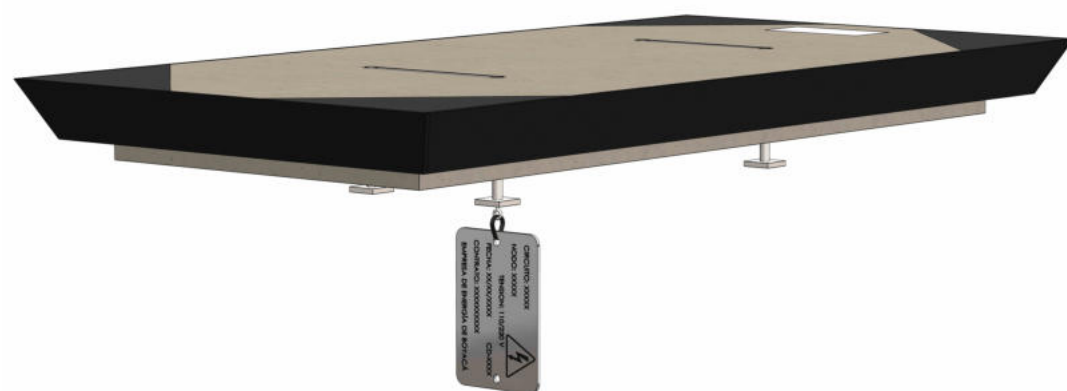


Figura 10. Detalle rotulado interior.

**5. Etiquetado Interno en Cajas de Empalme o Derivación:** Las salidas deben identificarse con etiquetas internas resistentes, grabadas o en relieve, especificando circuito asociado, destino o carga alimentada.

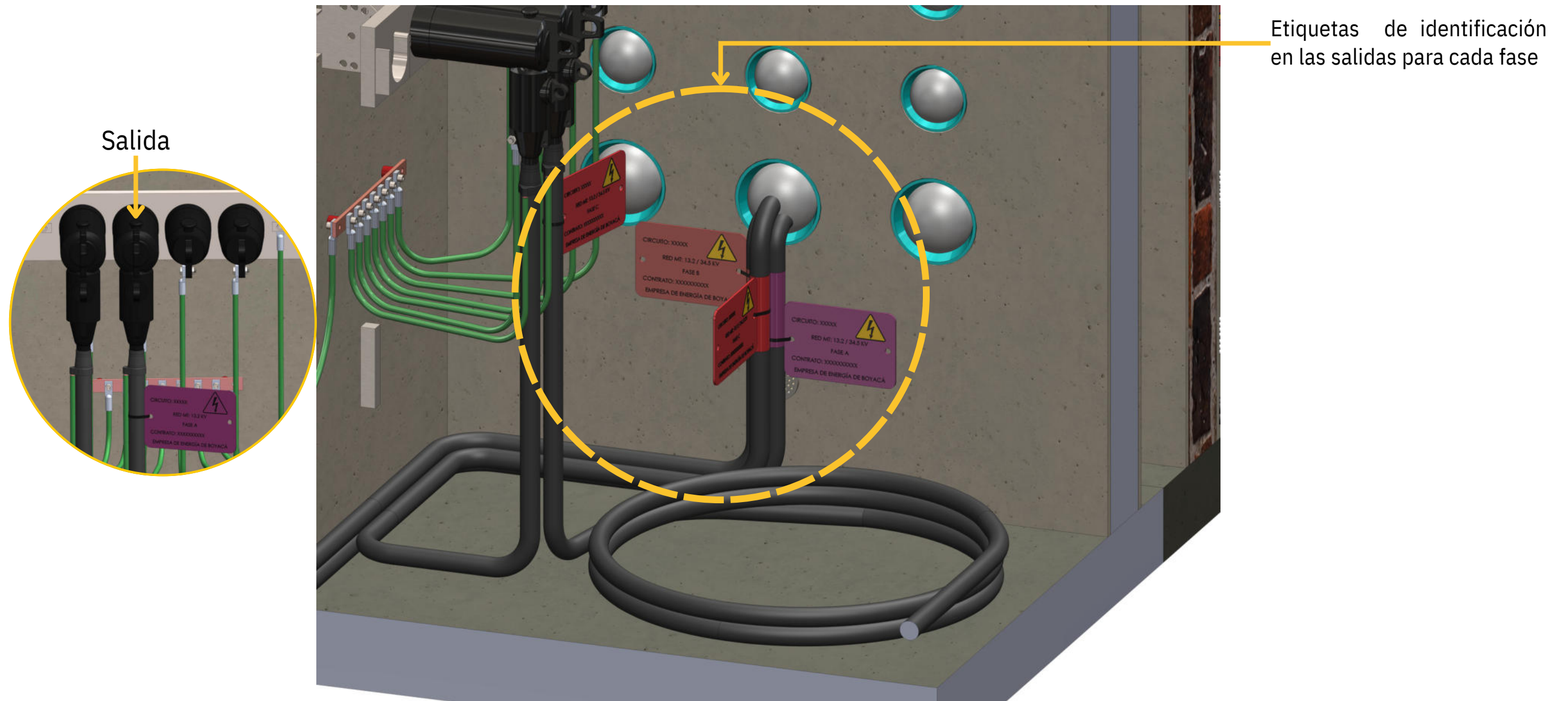


Figura 11. Detalle etiquetado en salidas.

**6. Codificación por Color en Cables de Telecomunicaciones:** En redes subterráneas de telecomunicaciones que compartan infraestructura con sistemas eléctricos, se debe garantizar una diferenciación clara de los conductores mediante una codificación de color específica, evitando confusiones operativas o riesgos durante mantenimientos. EBSA recomienda emplear cubiertas de color **naranja intenso** o fundas marcadas con líneas diagonales negras sobre fondo naranja, para identificar claramente los cables de fibra óptica u otros medios de comunicación.

Además, se deben instalar etiquetas visibles con la leyenda “TELECOMUNICACIONES” cada 10 metros o en cada punto de inspección, así como utilizar flechas de señalización del sentido de transmisión en los tramos activos. Esta marcación especial facilita la segregación operativa de servicios y contribuye a una adecuada coordinación de mantenimiento con terceros operadores

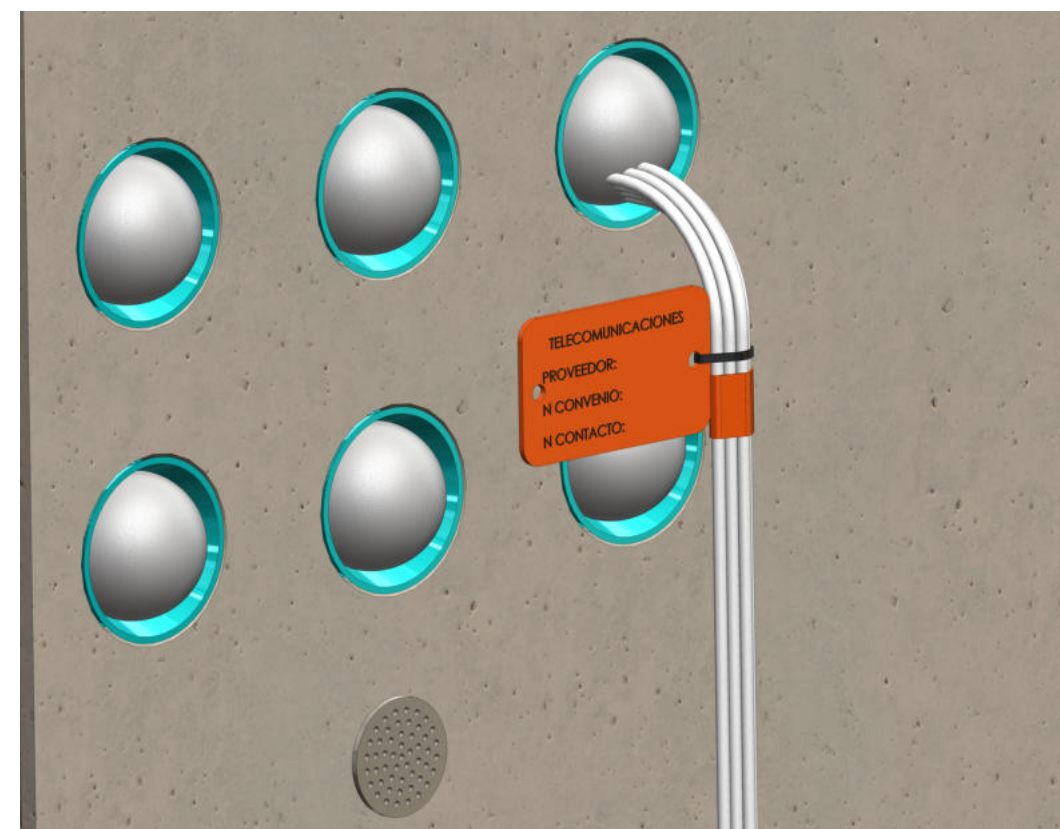


Figura 12. Detalle cables de comunicaciones.

### C) TABLAS DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

#### Ejemplo Aplicado:

Para una red subterránea de 13.2 kV alimentando un transformador tipo pedestal:

- Priorizar alimentación mediante celdas de maniobra y protección.
- En caso de restricciones técnicas o económicas, implementar barraje multi-way (como última opción de diseño).
- Instalar terminales tipo codo de 15 kV, 200 A, conectados a barraje multi-way.
- Usar inserto doble en el bushing barraje multi-way para conexión de terminal tipo codo y DPS.
- Conectar todos los componentes al barraje de tierras de la cámara.

Nota: El uso de barrajes multi-way debe evaluarse cuidadosamente como solución excepcional.

| Nivel de Tensión | Solución recomendada                          | Solución permitida en casos excepcionales   |
|------------------|---|---|
| 13.2 kV          | Celdas de maniobra y protección               | Barrajes multi-way con terminales tipo codo |
| 34.5 kV          | Celdas de maniobra y protección (obligatorio) | No permitido                                |

Tabla 12. Aplicación recomendada de conexiones según nivel de tensión.

## D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- Recomendaciones Técnicas / Buenas Prácticas
- Utilizar exclusivamente accesorios certificados conforme a normas IEC e IEEE aplicables.
- Seleccionar ubicaciones que eviten zonas propensas a inundaciones o sin drenaje adecuado.
- Cumplir rigurosamente con los radios de curvatura mínimos establecidos por el fabricante de los cables.
- Aplicar el torque de apriete exacto conforme a las especificaciones técnicas del accesorio y del fabricante.
- Asegurar la capacitación técnica y práctica del personal instalador sobre la correcta manipulación y montaje de los accesorios.
- Implementar registros detallados de trazabilidad que incluyan número de serie, lote de fabricación y fecha de instalación para cada accesorio conectado.

### IMPORTANTE

- Una conexión adecuada es esencial para asegurar la confiabilidad operativa y la integridad del sistema de redes subterráneas. La correcta selección de los materiales, así como una instalación precisa y conforme a las normas aplicables, son fundamentales para garantizar la seguridad del personal, la continuidad del servicio eléctrico y el cumplimiento de la normativa técnica vigente.

## 1.2.2.3 ZANJAS, DUCTOS, COMPACTACIÓN, CAJAS DE INSPECCIÓN

### A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Este numeral tiene por objetivo establecer los lineamientos técnicos y constructivos para la ejecución de obras civiles asociadas a redes subterráneas de media tensión, incluyendo la instalación de zanjas, procesos de relleno, ductos, drenajes, cajas de inspección, . Estas infraestructuras son fundamentales para asegurar la correcta canalización, protección mecánica y operativa de los cables eléctricos, permitiendo condiciones adecuadas de acceso, mantenimiento, inspección y operación segura a lo largo del ciclo de vida del sistema. Se debe dar cumplimiento a lo establecido en Artículo 3.20.6.3 Conductores Subterráneos del RETIE.

### B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

#### B.1. ZANJAS Y CANALIZACIONES:

Las canalizaciones eléctricas subterráneas deben ubicarse preferentemente en andenes y zonas verdes, con el fin de minimizar las afectaciones por tráfico vehicular y facilitar su mantenimiento. Se debe evitar, en lo posible, su trazado por áreas vehiculares.

**1. Criterios de Relleno de Zanja:** El material de relleno utilizado deberá cumplir con los siguientes criterios técnicos

- Estar completamente libre de residuos orgánicos, escombros, basura o cualquier otro material contaminante que pueda afectar la durabilidad del sistema de ductos.
- No contener partículas individuales con dimensiones mayores a 200 mm, ni materiales con bordes cortantes o afilados que puedan comprometer la integridad mecánica de los conductos eléctricos.
- Ser colocado en capas sucesivas y compactado adecuadamente para conformar una base sólida, estable y uniforme que asegure la correcta transmisión de cargas al terreno.
- En caso de que durante la excavación de la zanja se identifique un fondo con materiales de mala calidad, como arcillas expansivas o suelos inestables, será obligatorio profundizar 30 cm adicionales respecto al diseño original y sustituir ese volumen con material granular tipo recebo, compactado en capas que garanticen la estabilidad estructural de la base.

#### 2. Ancho de Zanja:

El ancho de la zanja se determinará en función del número de ductos, sus diámetro nominal y las separaciones requeridas. Debe dejarse un espacio mínimo de 5 cm entre los ductos y 10 cm para cada una de las paredes laterales de la zanja. Para la selección del ancho de zanja sugerido se encuentran en la tabla 14.

| N° de ductos | Diámetro del ducto (") | Ancho recomendado de zanja |
|--------------|------------------------|----------------------------|
|              |                        | Z (cm)                     |
| 1 a 2        | 2"                     | 30                         |
| 1            | 3"                     |                            |
| 1            | 4"                     |                            |
| 1            | 6"                     | 50                         |
| 3            | 2"                     |                            |
| 2            | 3"                     |                            |
| 2            | 4"                     | 65                         |
| 2            | 6"                     |                            |
| 3            | 3"                     |                            |
| 3            | 4"                     | 75                         |
| 3            | 6"                     |                            |

Tabla 13. Ancho Mínimo de Zanja (Z) según Numero de Ductos y Diámetro de Ductos (").

3. Capas de Relleno según Ubicación de la Zanja:

• ZONA VERDE

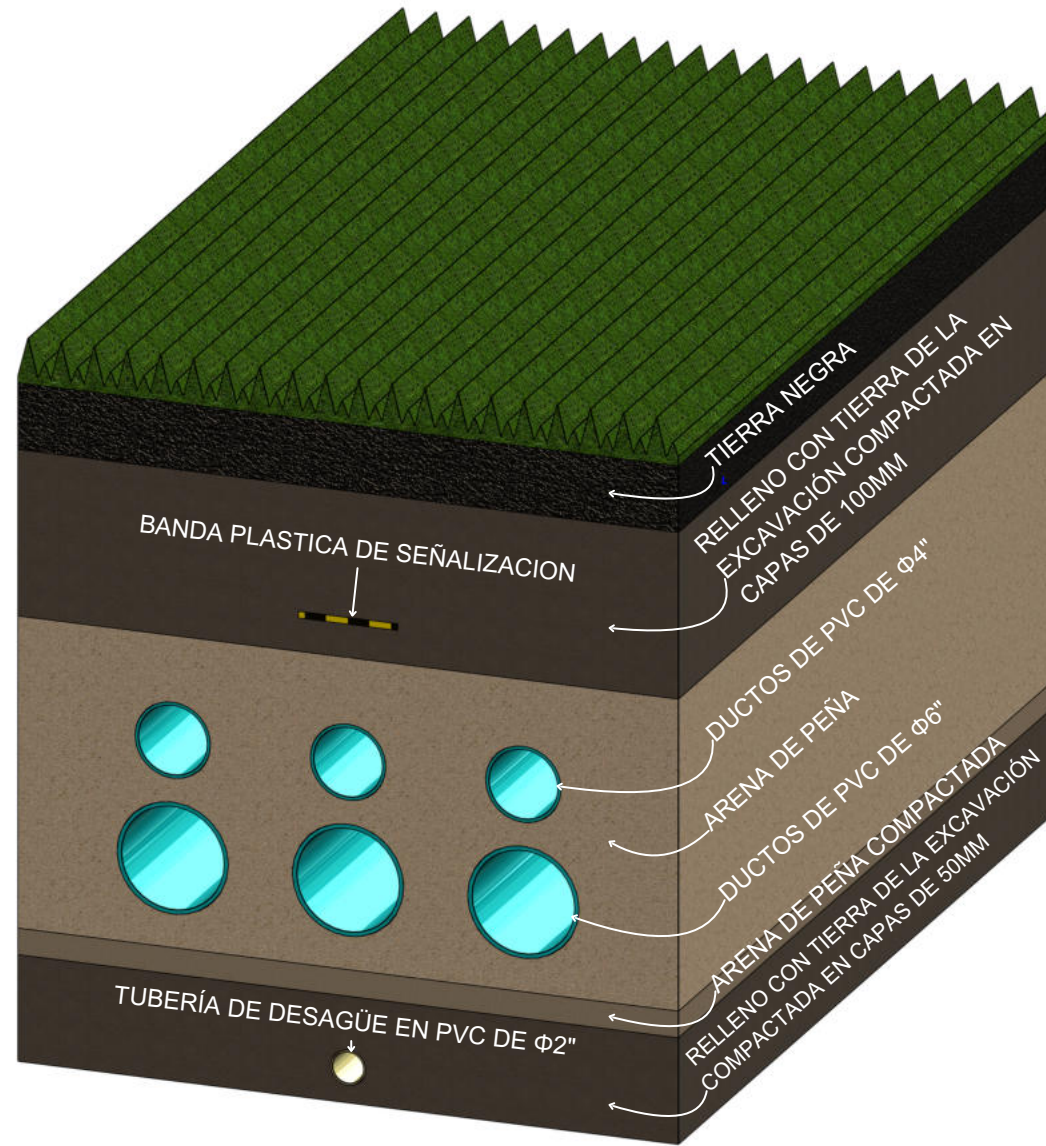


Figura 13. Capas de relleno para zanja ubicada en zonas verdes.

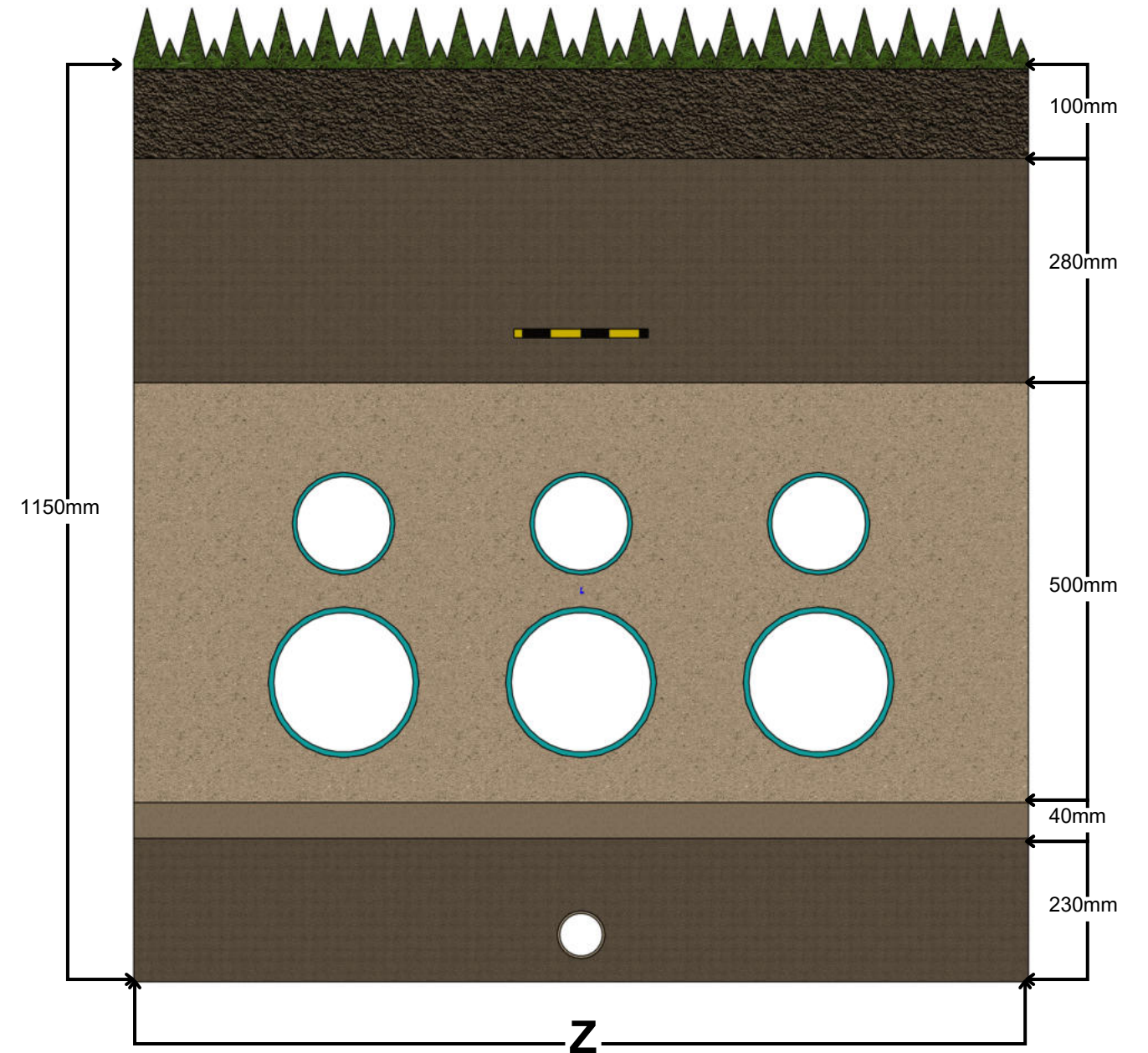


Figura 14. Distancias Recomendadas para capas de Relleno en Zonas Verdes Sobre Ductos de Media Tensión.

• ANDEN EN CONCRETO



Figura 15. Capas de relleno para zanja ubicada en andenes de concreto.

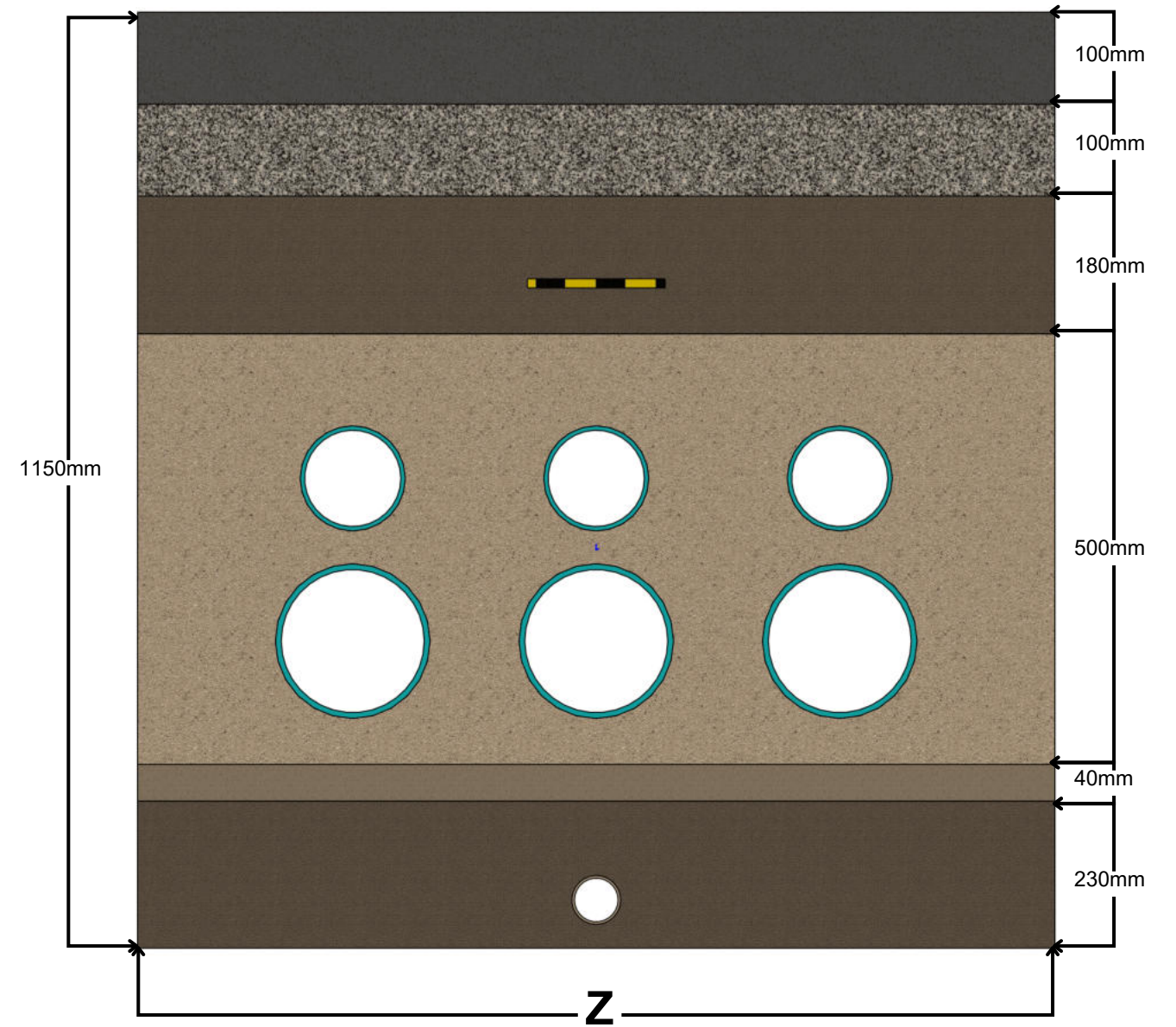


Figura 16. Distancias Recomendadas para capas de Relleno en Andenes de Concreto Sobre Ductos de Media Tensión.

• CRUCE DE CALZADA



Figura 17. Capas de relleno para zanja ubicada en cruces de calzada.

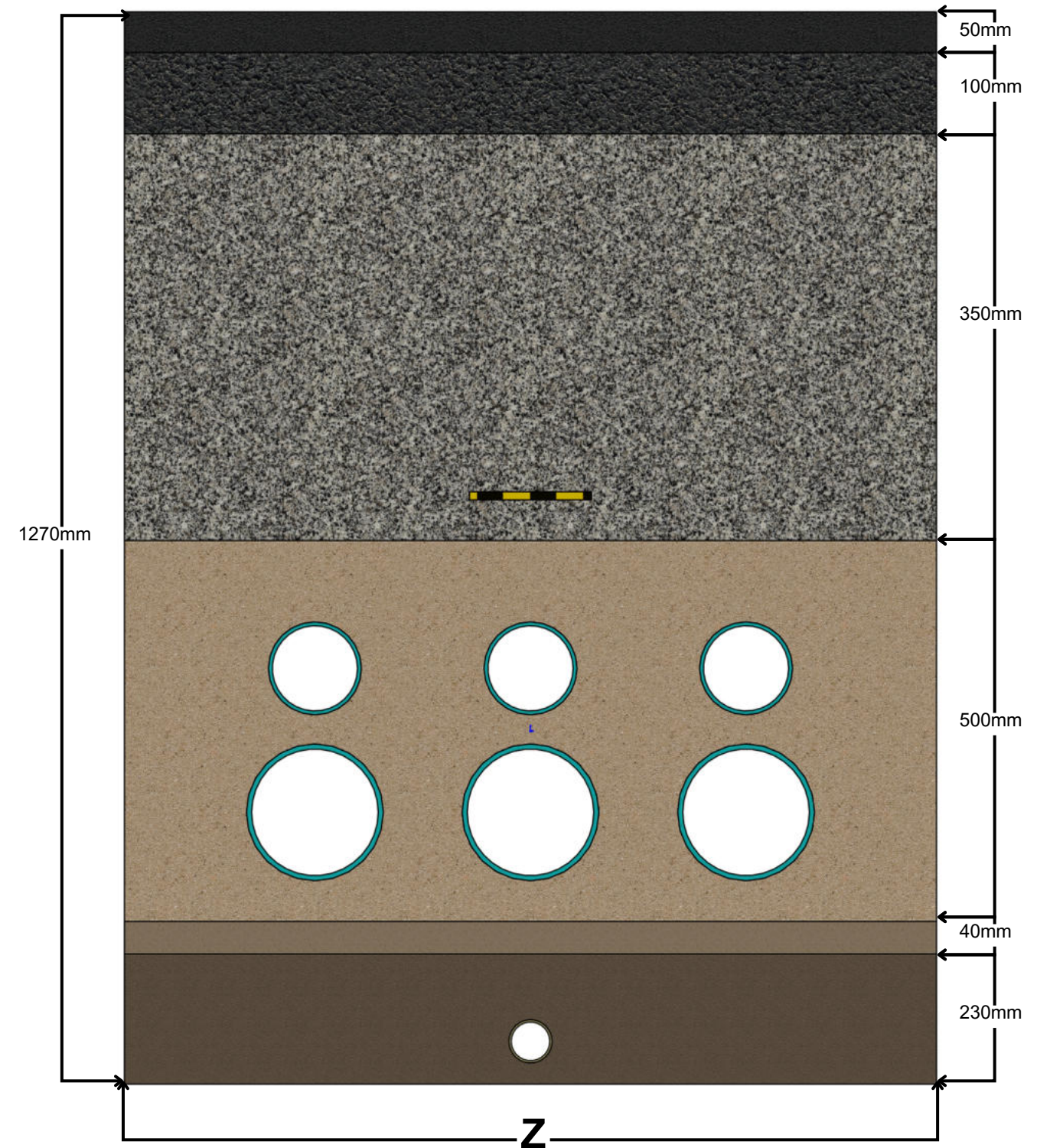


Figura 18. Distancias Recomendadas para capas de Relleno en Cruces de Calzadas Sobre Ductos de Media Tensión.

• ANDEN EN ASFALTO

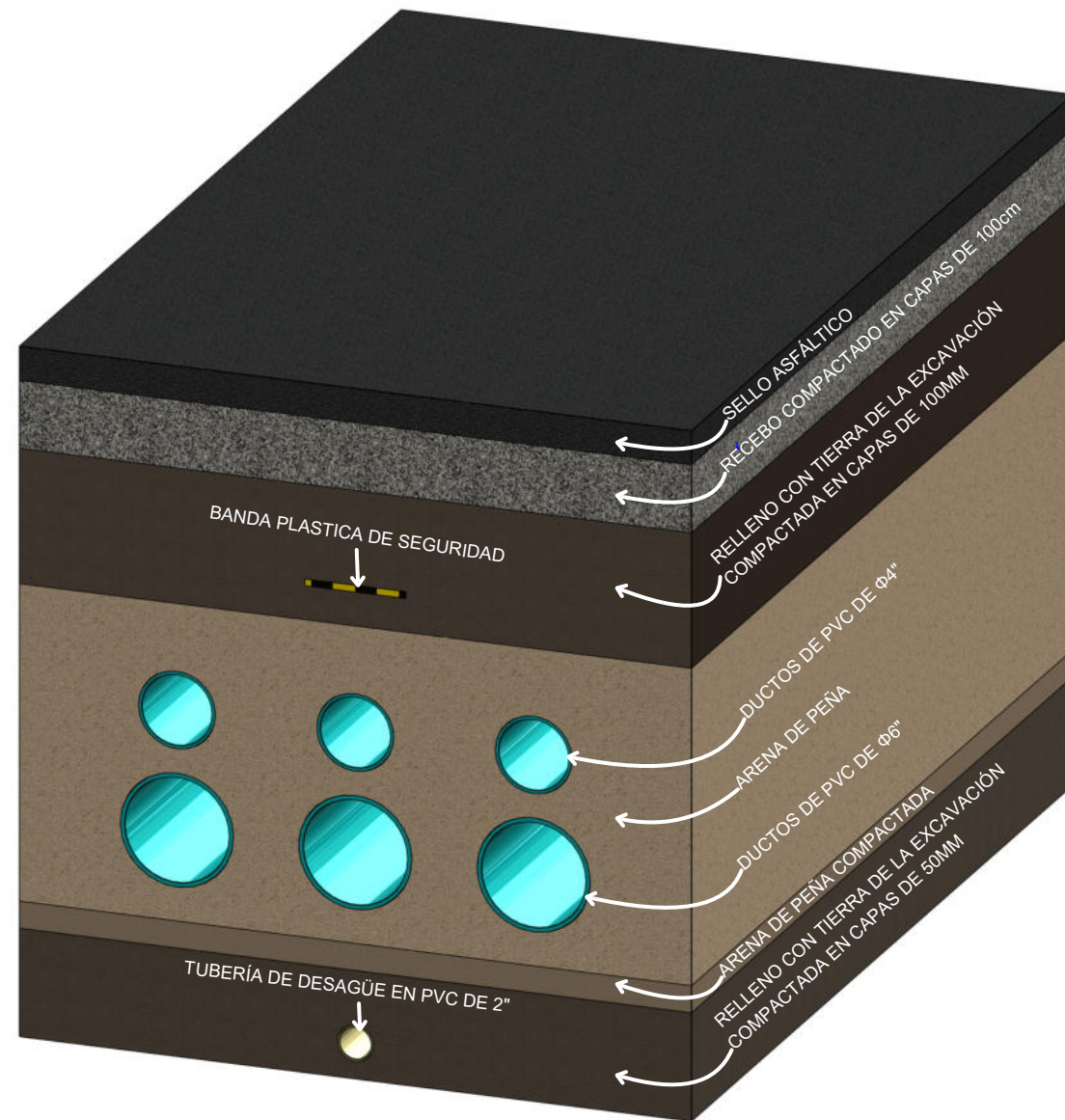


Figura 19. Capas de relleno para zanja ubicada en andenes de asfalto.

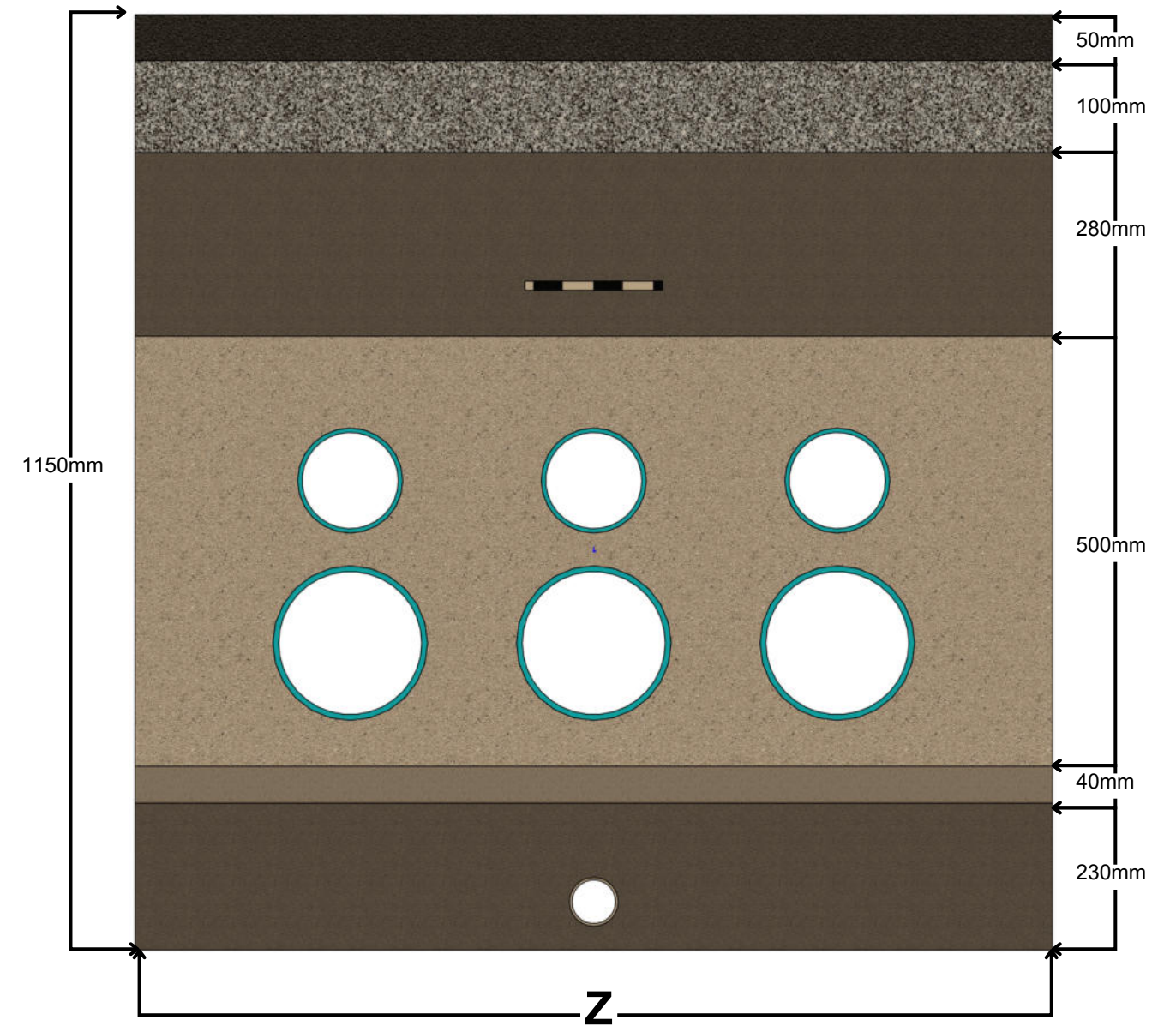


Figura 20. Distancias Recomendadas para capas de Relleno en Anden en Asfalto Sobre Ductos de Media Tensión.

#### 4. Profundidades mínimas de instalación de ductos:

Para zonas no vehiculares, los ductos deben instalarse con una profundidad mínima de 0,45 m para el nivel de tensión de 13,2 kV y 0,60 m para nivel de tensión de 34,5 kV desde la cara superior del ducto hasta el nivel de la superficie terminada según la Tabla 300.50 de la NTC-2050, de igual forma se debe considerar que para zonas vehiculares en cruces viales, esta profundidad debe ser como mínimo de 0,60 m para 13,2 y 34,5 kV, a fin de garantizar una protección adecuada contra cargas de tránsito. Ver Tabla xx. Adicionalmente, se debe instalar una cinta plástica de advertencia a una distancia máxima de 30 cm sobre la cara superior de los ductos eléctricos. Esta cinta, debe ser resistente a la humedad y contener una leyenda visible e indeleble, como “PELIGRO”. Su función principal es advertir a quienes realicen futuras excavaciones sobre la presencia de canalizaciones eléctricas, minimizando así el riesgo de daño a la infraestructura o incidentes durante trabajos de intervención en el terreno.

#### 5. Selección de Ductos:

Los ductos utilizados para redes subterráneas de media tensión deben cumplir con criterios específicos de resistencia mecánica, aislamiento y durabilidad frente a condiciones subterráneas. Se emplean habitualmente ductos de PVC o PEAD (corrugado o liso), cuya selección depende de la condición del terreno, facilidad de instalación y requerimientos del operador de red.

- Nivel de tensión y diámetro: Para redes de 13,2 kV, el diámetro interior recomendado de los ductos es de 4” (100 mm), mientras que para redes de 34,5 kV se utilizan preferentemente ductos de 6 pulgadas (152 mm) o superiores, dependiendo del tipo de cable y configuración del banco de ductos.
- Pendiente de Ductos: Los ductos se colocarán, con pendiente mínima del 0,1% hacia las cámaras de inspección, en una zanja de profundidad suficiente que permita el recubrimiento de relleno sobre el ducto.
- Color: El color verde es el estándar para ductos de uso eléctrico subterráneo, permitiendo su rápida identificación en campo y diferenciación respecto a redes de otros servicios.

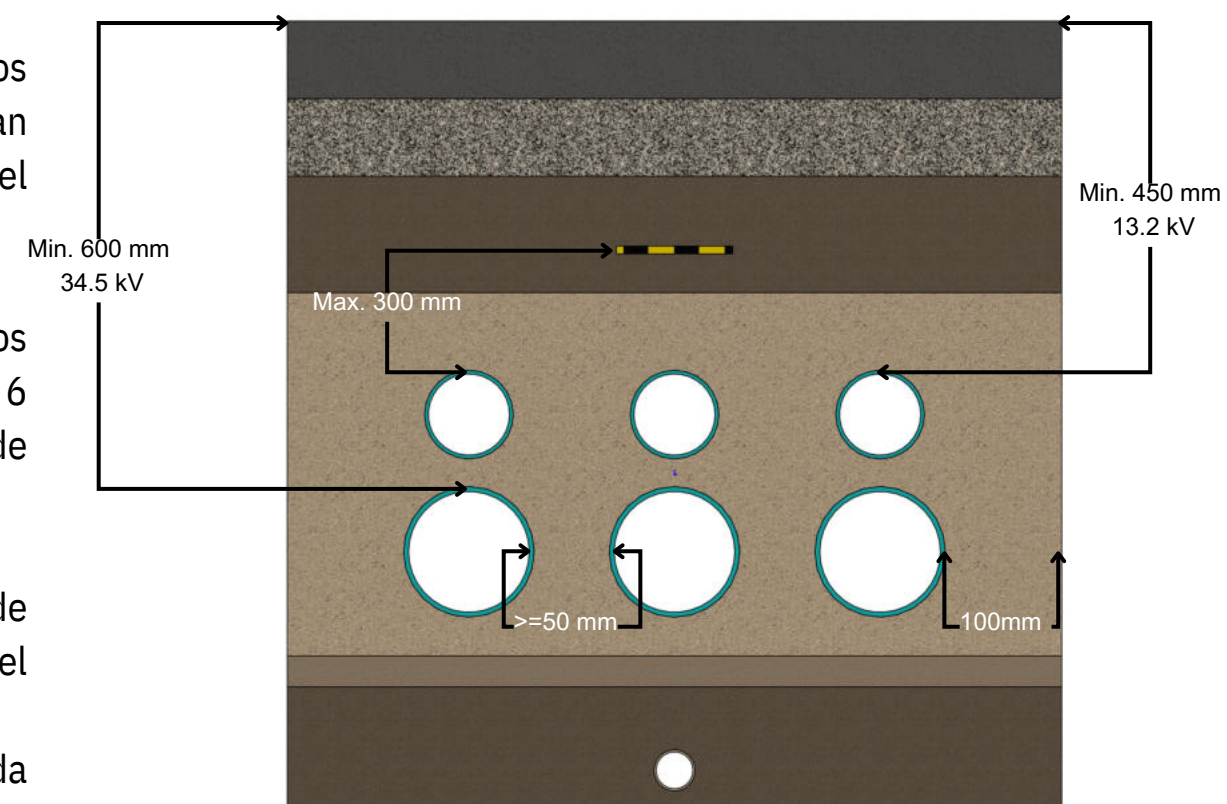


Figura 21. Distancias Mínimas Entre Ductor y la Superficie Terminada.

- Tipo liso: Se deben utilizar ductos lisos en situaciones donde se requiere trayectorias rectas, tendidos rectos o menor fricción durante la instalación, especialmente en trayectorias largas o con menor complejidad geométrica. Su uso se limita a trayectorias largas y rectas, donde se requiere menor complejidad geométrica en el tendido.
- Tipo corrugado: Se utilizan ductos corrugados en terrenos irregulares, con alta presencia de obstáculos o cambios de dirección frecuentes, donde la flexibilidad del ducto facilita su instalación sin comprometer la continuidad del trazado. Son especialmente útiles en zonas con espacio restringido o condiciones que impidan trayectorias rectas prolongadas.

- Separaciones Mínimas entre Ductos Eléctricos: Entre ductos del mismo sistema eléctrico, se deberá mantener una separación mínima de 5 cm, tanto en configuración horizontal como vertical, cuando se dispongan en bancos múltiples. Para asegurar su correcta disposición y evitar desplazamientos durante la instalación o el relleno de la zanja, se recomienda el uso de separadores fabricados en PVC tipo TDP. Estos deben contar con un espesor de pared mínimo recomendado de 8 mm que garantice la rigidez estructural necesaria y alojamientos diseñados para sujetar los ductos a presión, permitiendo estabilidad y alineación precisa sin deformaciones. En cuanto a la frecuencia de instalación, se sugiere espaciar los separadores cada 2 metros en terrenos planos y hasta 1.5 metros en suelos inestables o con pendiente, para conservar la organización del banco de ductos durante la construcción. El uso de este tipo de separadores mejora significativamente la integridad del sistema de canalización subterránea, facilita las labores de mantenimiento y reduce riesgos de daño por cargas o movimientos del terreno.
- Separación Mínima entre Ductos de otros Servicio: Cuando los ductos eléctricos coexistan con otros servicios (como acueducto, alcantarillado, gas o telecomunicaciones), se debe garantizar una separación mínima de 20 cm, con el fin de evitar interferencias, facilitar el mantenimiento y prevenir riesgos por incompatibilidad de servicios. Si esta distancia no puede ser establecida, se deben separar en forma efectiva las instalaciones a través de una hilera cerrada de ladrillos u otros materiales dieléctricos resistentes al fuego y al arco eléctrico, de al menos 5 cm.

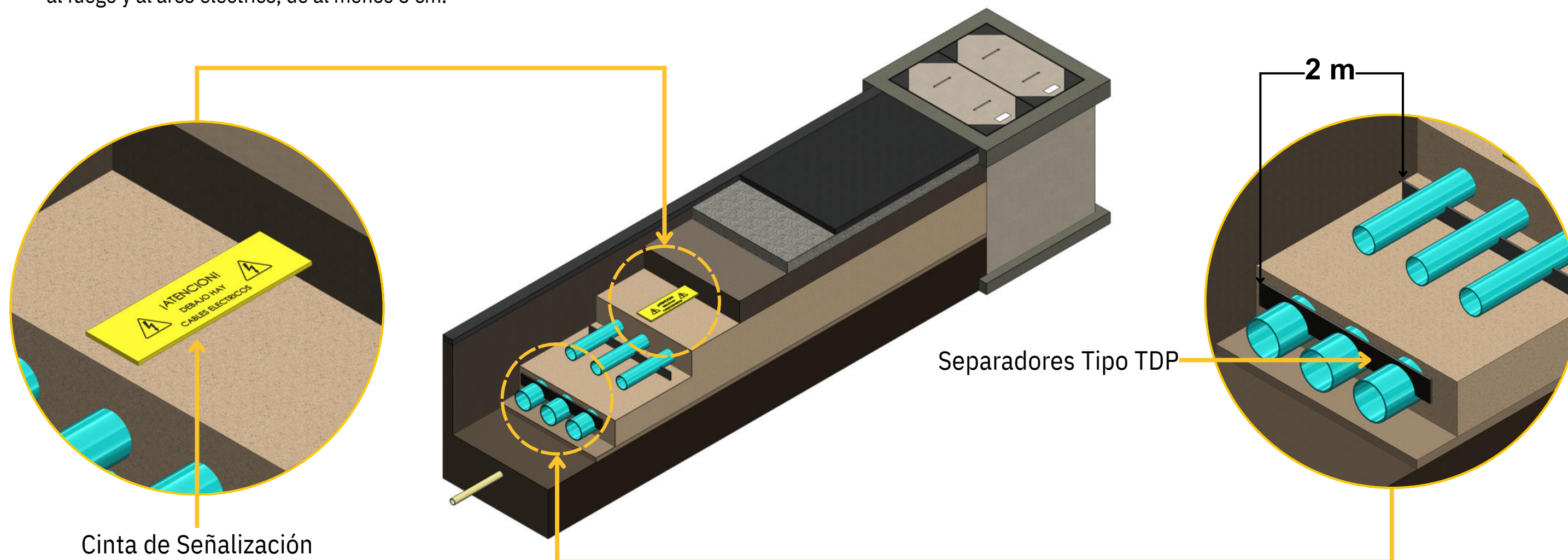


Figura 22. Estructura del Zanjado y Banco de Ductos

## B.2 DRENAJES:

Es obligatorio implementar sistemas de drenaje en todas las cajas de inspección, sin excepción, para asegurar el manejo eficiente de aguas infiltradas o acumuladas, garantizar la estabilidad estructural, la funcionalidad eléctrica y la durabilidad del sistema. Se recomienda utilizar capas de grava o material filtrante en la base de las cajas con el fin de evitar acumulación de humedad y facilitar la evacuación natural del agua.

Cada caja debe contar con una tubería de drenaje de 2" de diámetro, instalada a 100 mm por encima de la base, permitiendo la formación de una lámina de agua que favorezca la sedimentación de sedimentos. Esta tubería debe conectarse a la red de aguas lluvias y contar con una rejilla anticucarachas en ambos extremos cuando exista interconexión entre cajas.

Todas las cajas deben estar interconectadas hidráulicamente mediante tuberías de desagüe de 2", instaladas con pendiente alineada a la de los ductos eléctricos. Antes de ingresar a cada caja, la pendiente puede reducirse ligeramente para permitir que la tubería de entrada quede por encima de la de salida, manteniendo una diferencia máxima de nivel de 60 mm. Esta configuración garantiza la continuidad del flujo y previene taponamientos.

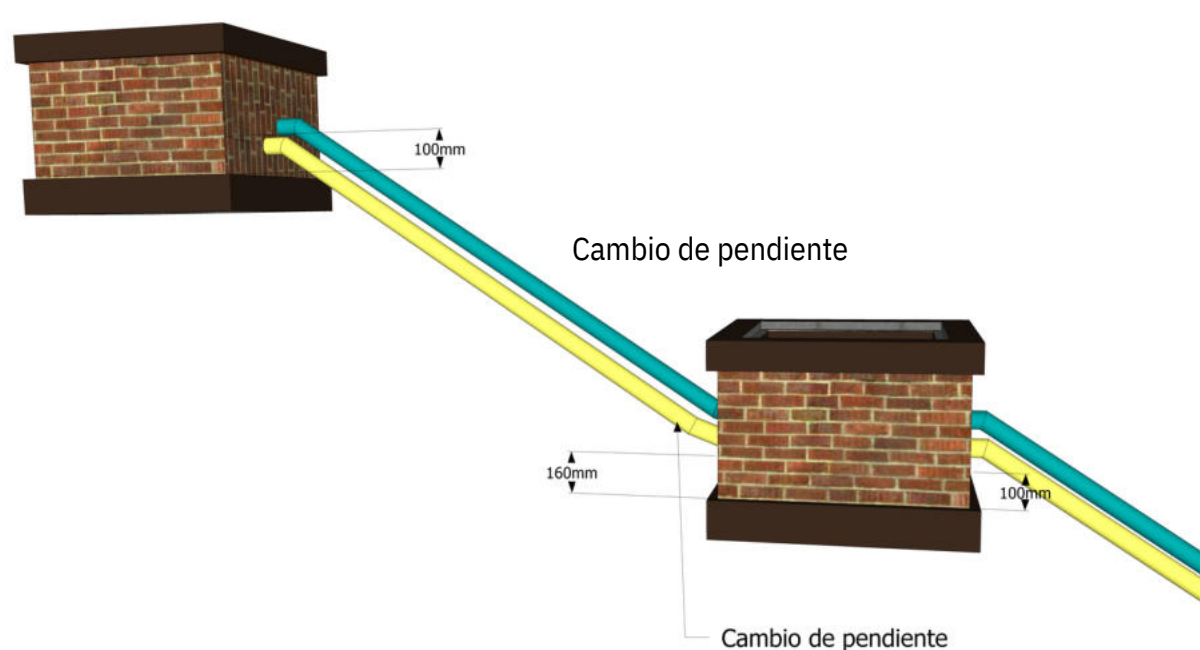


Figura 23. Interconexión hidráulica de cajas con cambio de pendiente.

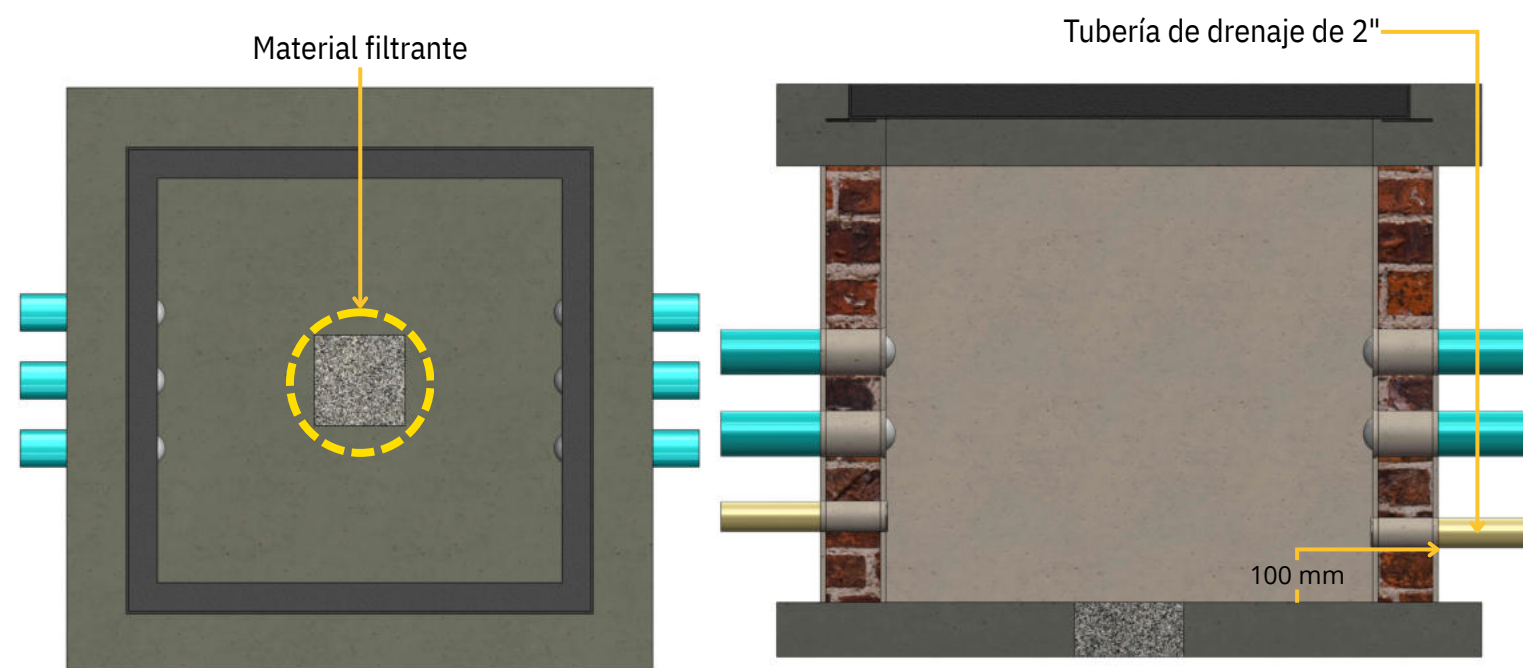


Figura 24. Detalles de drenajes.

En zonas planas, donde no existe pendiente natural del terreno, se debe conformar una pendiente artificial en la zanja para permitir el flujo por gravedad del sistema de drenaje. Las tuberías de desagüe y los ductos deben instalarse con una pendiente mínima del 1 %, equivalente a una caída de 1 cm por cada metro de longitud. Si no es posible mantener esta pendiente debido a restricciones en la nivelación del terreno, se podrá reducir la profundidad de enterramiento de los ductos al valor mínimo permitido y compensar este desfase aumentando gradualmente la profundidad de las cajas más distantes, garantizando así la continuidad hidráulica del sistema de drenaje subterráneo.

### B.3 IDENTIFICACIÓN Y ROTULADO

Las cajas de inspección deben incluir un sistema de identificación claro, visible y permanente que permita su fácil localización e interpretación durante actividades de mantenimiento, operación o emergencia. Se deben considerar los siguientes elementos:

1. Las tapas deben incorporar leyendas como “PELIGRO ALTA TENSION”, el nombre del circuito, la tensión del sistema y el tipo de red. Este rotulado puede realizarse mediante grabado en alto o bajo relieve, impresión indeleble o mediante placas metálicas ancladas.
2. Adicionalmente, debe colocarse una cinta plástica de señalización a 30 cm por encima de los ductos eléctricos, con leyendas indelebles como “PELIGRO”.
3. En zonas donde se comparten redes eléctricas y de telecomunicaciones, con EBSA, debe instalarse una placa informativa que contenga el nombre de la empresa responsable de la red de comunicaciones, los datos del convenio suscrito con EBSA y un número de teléfono de contacto directo de la sección de mantenimiento responsable de la red de telecomunicaciones. Esta medida permite una trazabilidad clara de responsabilidades operativas y facilita la coordinación en labores de mantenimiento o inspección conjunta. Este sistema de identificación estandarizado facilita las intervenciones técnicas, mejora la seguridad de los operarios y reduce el riesgo de incidentes por errores en la localización de redes

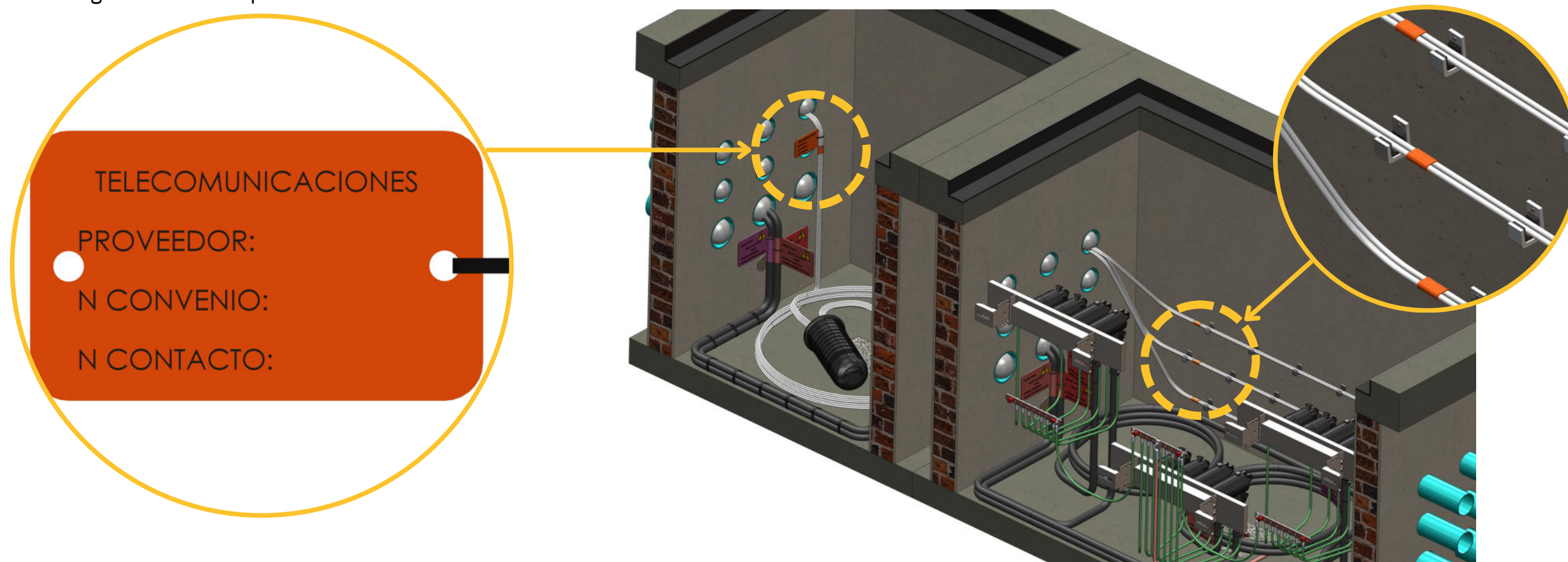


Figura 25. Placa informativa para identificación de telecomunicaciones en de redes compartidas.

#### B.4 CAJAS DE INSPECCIÓN:

Las cajas de inspección deben diseñarse considerando el tipo, cantidad y configuración de los cables de media tensión (13,2 kV y 34,5 kV), garantizando el espacio libre necesario para maniobras de empalme, instalación de conectores premoldeados y barrajes de media tensión, incluyendo configuraciones con conectores tipo codo de 200 A y 600 A. Estas cajas deben permitir una distribución segura y accesible, entre fases y cumplir con condiciones mínimas de accesibilidad, ventilación, drenaje y mantenimiento seguro.

Para una adecuada convivencia de servicios, deben establecerse soluciones constructivas que separen físicamente las cajas destinadas a redes eléctricas de aquellas utilizadas para telecomunicaciones o fibra óptica. Esta separación se logra mediante la instalación de cajas independientes para cada tipo de red. Esta disposición contribuye a prevenir interferencias electromagnéticas, facilita la gestión de los sistemas, reduce riesgos de daño cruzado durante el mantenimiento y, especialmente, minimiza el riesgo de contacto eléctrico accidental por parte de operadores o técnicos encargados de las redes de comunicaciones.

Todos los ductos que ingresen a las cajas de inspección deben rematarse **obligatoriamente** con terminal tipo campana, con el fin de garantizar una transición mecánicamente estable entre la canalización y la estructura de la caja. Esta configuración permite reducir esfuerzos concentrados sobre el cableado, evitando daños en el aislamiento durante el proceso de jalado e instalación de los conductores eléctricos.

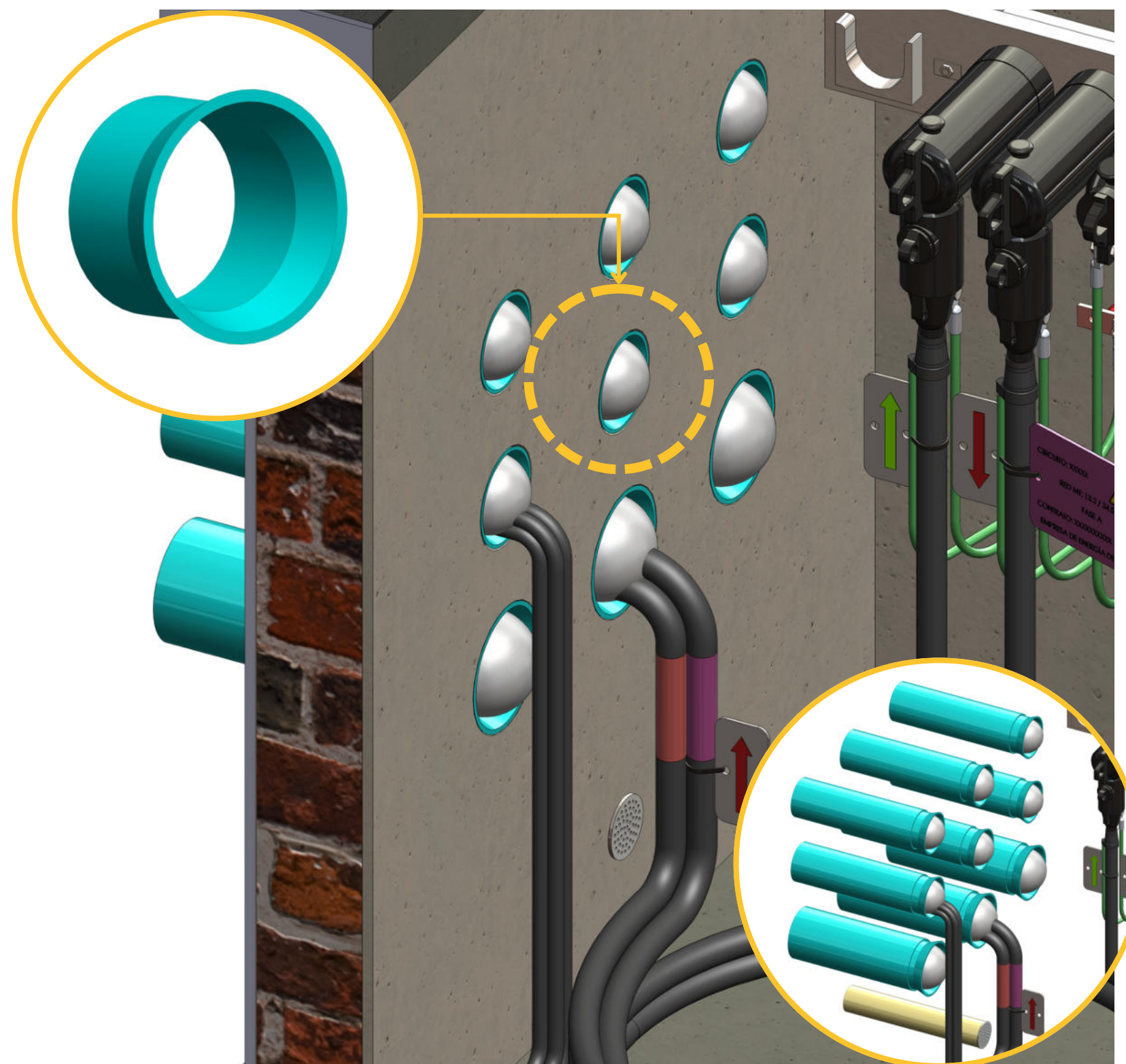
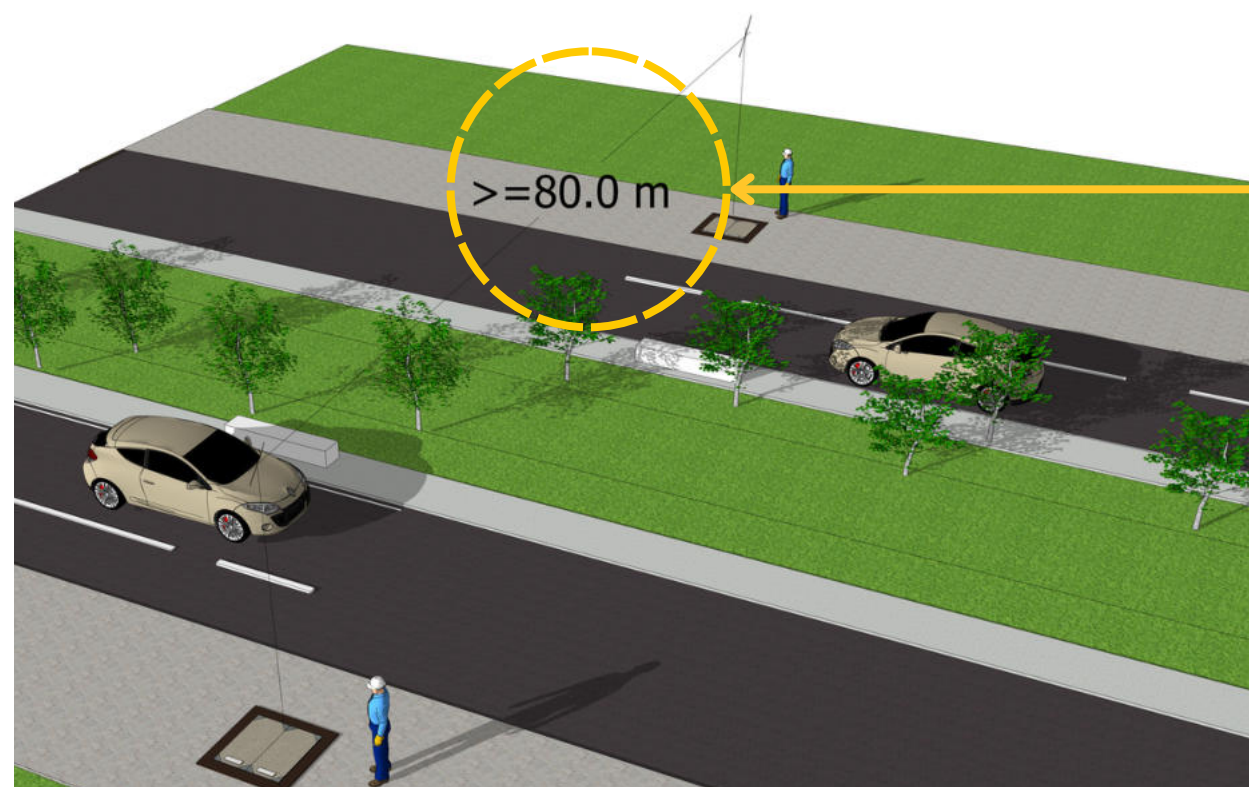
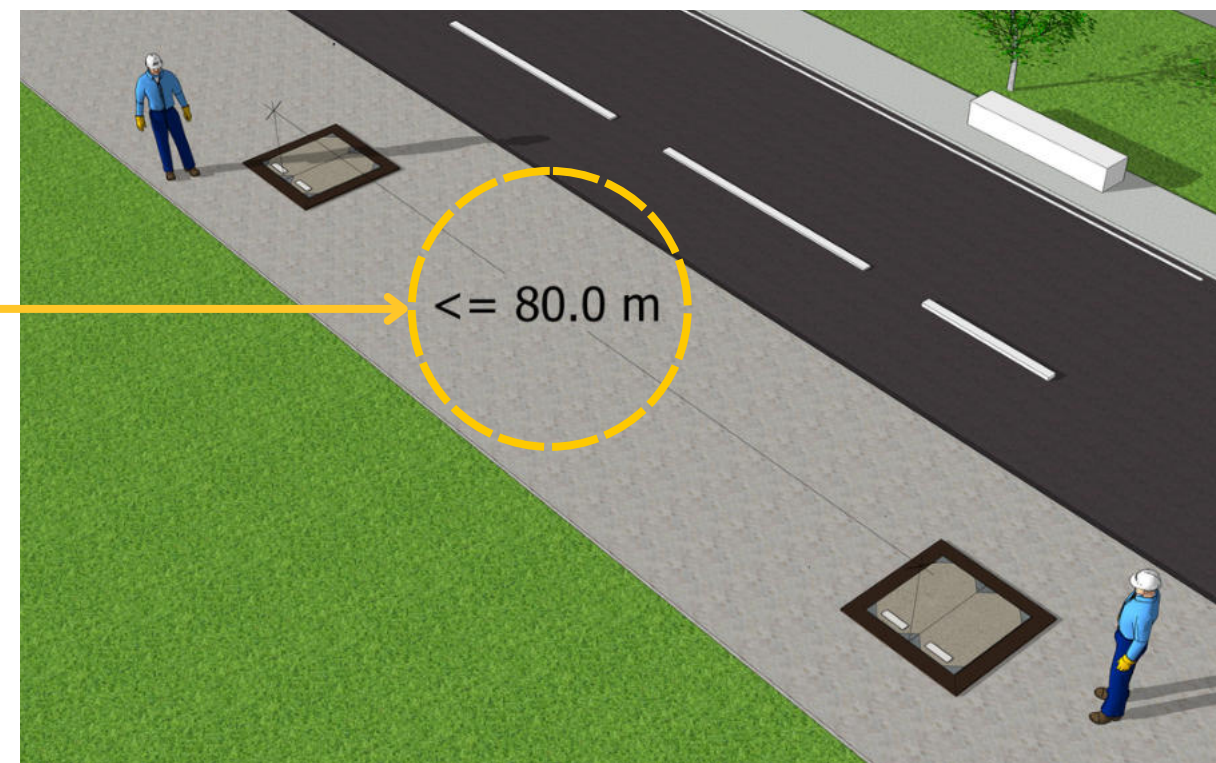


Figura 26. Remate de ductos con terminal tipo campana.

En cajas con una profundidad mayor o igual a 1.20 metros, se debe garantizar el acceso seguro del personal de operación y mantenimiento mediante la instalación de peldaños metálicos o de material dieléctrico, distribuidos cada 0.30 m y anclados firmemente a la pared interior de la estructura.

Las redes subterráneas deben diseñarse de manera que la distancia entre cámaras de inspección o cajas de paso no supere los 80 metros en tramos rectos, a fin de facilitar las labores de instalación, mantenimiento y ventilación de los conductores eléctricos. En situaciones particulares donde esta separación no pueda cumplirse —como cruces de avenidas de gran longitud, pasos elevados, zonas industriales o interferencias urbanas— se permitirá superar dicha distancia siempre que exista una justificación técnica documentada en la memoria del proyecto. Esta condición debe sustentarse con criterios eléctricos, de ingeniería civil o normativos debidamente fundamentados en los estudios del diseño ejecutivo.

La distancia entre cámaras de inspección o cajas de paso no debe superar los 80 metros en tramos rectos



En casos excepcionales, se permite que la distancia entre cajas supere los 80 m, siempre que se trate de situaciones particulares donde no sea posible cumplir esta separación, como cruces de avenidas de gran longitud.

Figura 27. Distancia máxima entre cámaras de inspección en redes subterráneas.

1. **Cajas en Ladrillo:** Las paredes de las cajas construidas en ladrillo deben tener un espesor de 100 mm, recubierto en ambas caras con un pañete de 10 mm en mortero 1:3, con el fin de mejorar la impermeabilidad de las superficies y prevenir filtraciones.

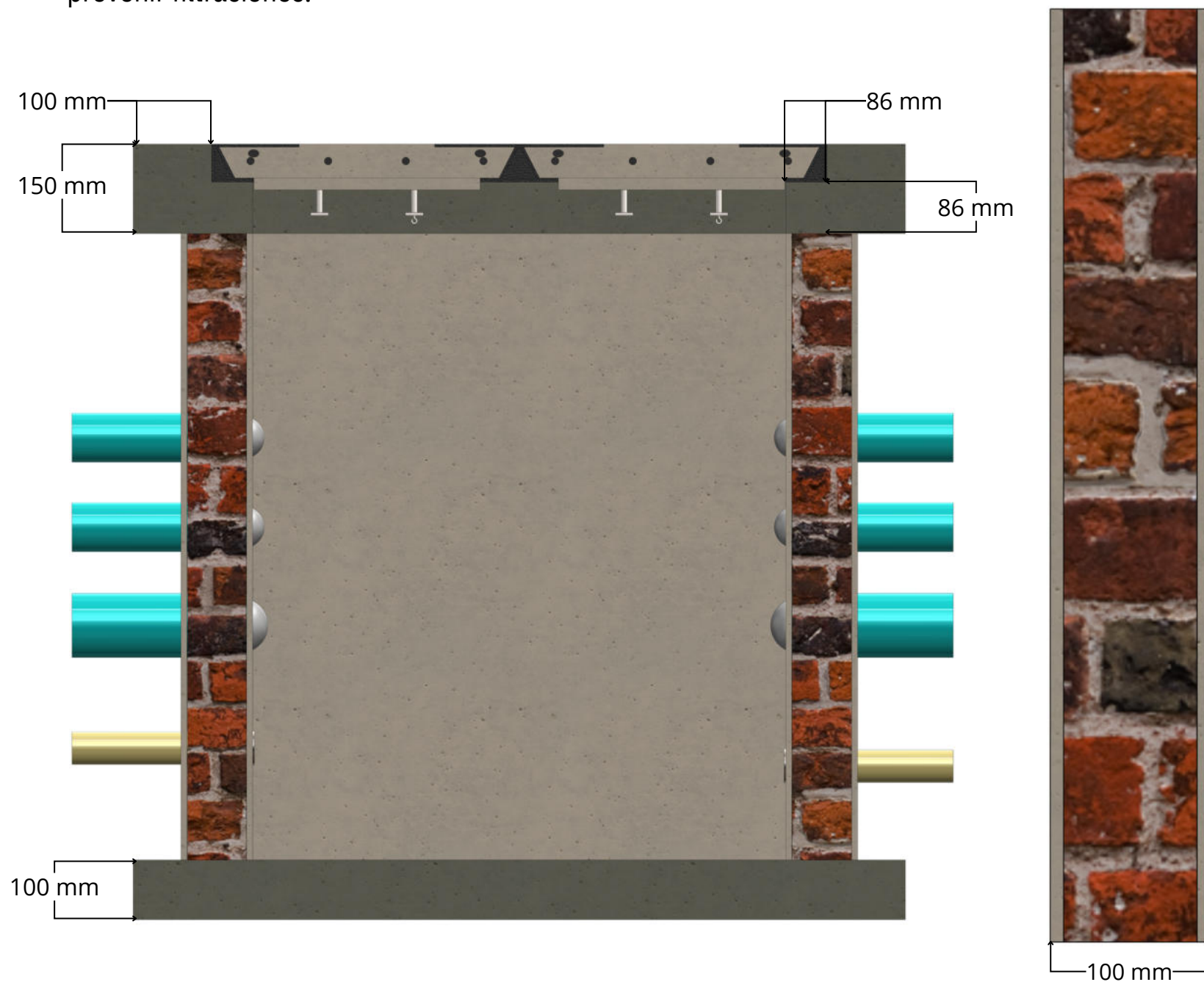


Figura 28. Detalle constructivo de pared de caja en ladrillo con recubrimiento impermeable

La base de la caja debe ser construida en concreto de 100 mm de espesor, con la misma resistencia que la losa superior. En su centro, se debe incluir una capa de gravilla de 200 x 200 mm, lo que mejora el comportamiento frente a niveles freáticos elevados, refuerza su capacidad estructural frente a empujes ascendentes del terreno, y mejora la durabilidad frente a cargas vivas, muertas o de impacto por empozamiento.

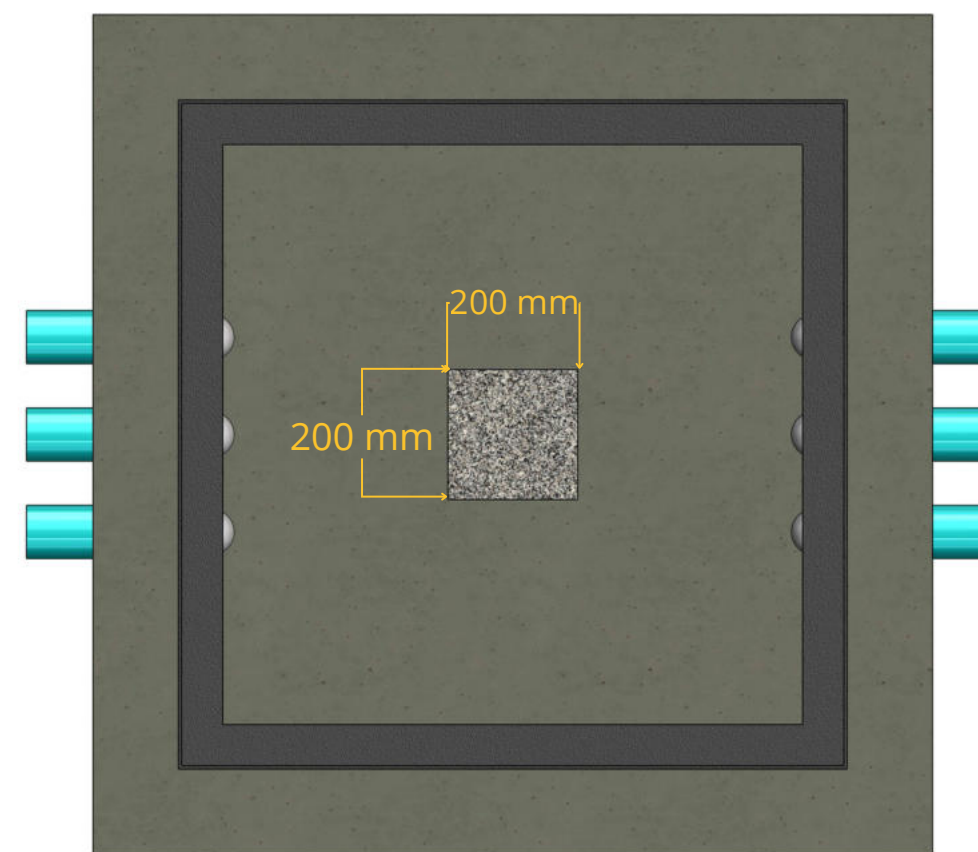


Figura 29. Base de caja en concreto con capa central de gravilla.

**2. Cajas en Concreto:** Las cajas subterráneas embebidas en concreto deberán construirse como estructuras rígidas destinadas a la protección, alojamiento y acceso a conductores, empalmes y accesorios de redes eléctricas subterráneas. El concreto a utilizar deberá presentar una resistencia mínima a la compresión de 28 MPa. Los muros de la caja deberán construirse con un espesor mínimo de 100 mm. Los muros de las cajas vaciadas en concreto deberán contar con refuerzo en varilla de acero de  $\varnothing 1/2"$ , dispuesta de forma continua a lo largo de todo el perímetro de la caja, garantizando un recubrimiento mínimo de 40 mm. Previo al vaciado de los muros, deberá preverse el empotramiento de las terminales tipo campana necesarias para el ingreso y alineación de los ductos de los cables.

La base de la caja debe ser construida en concreto de 100 mm de espesor, con la misma resistencia que la losa superior a diferencia de esta que debera ser construida con 150 mm de espesor. En su centro, se debe incluir una capa de gravilla de 200 x 200 mm, lo que mejora el comportamiento frente a niveles freáticos elevados, refuerza su capacidad estructural frente a empujes ascendentes del terreno, y mejora la durabilidad frente a cargas vivas, muertas o de impacto por empozamiento.

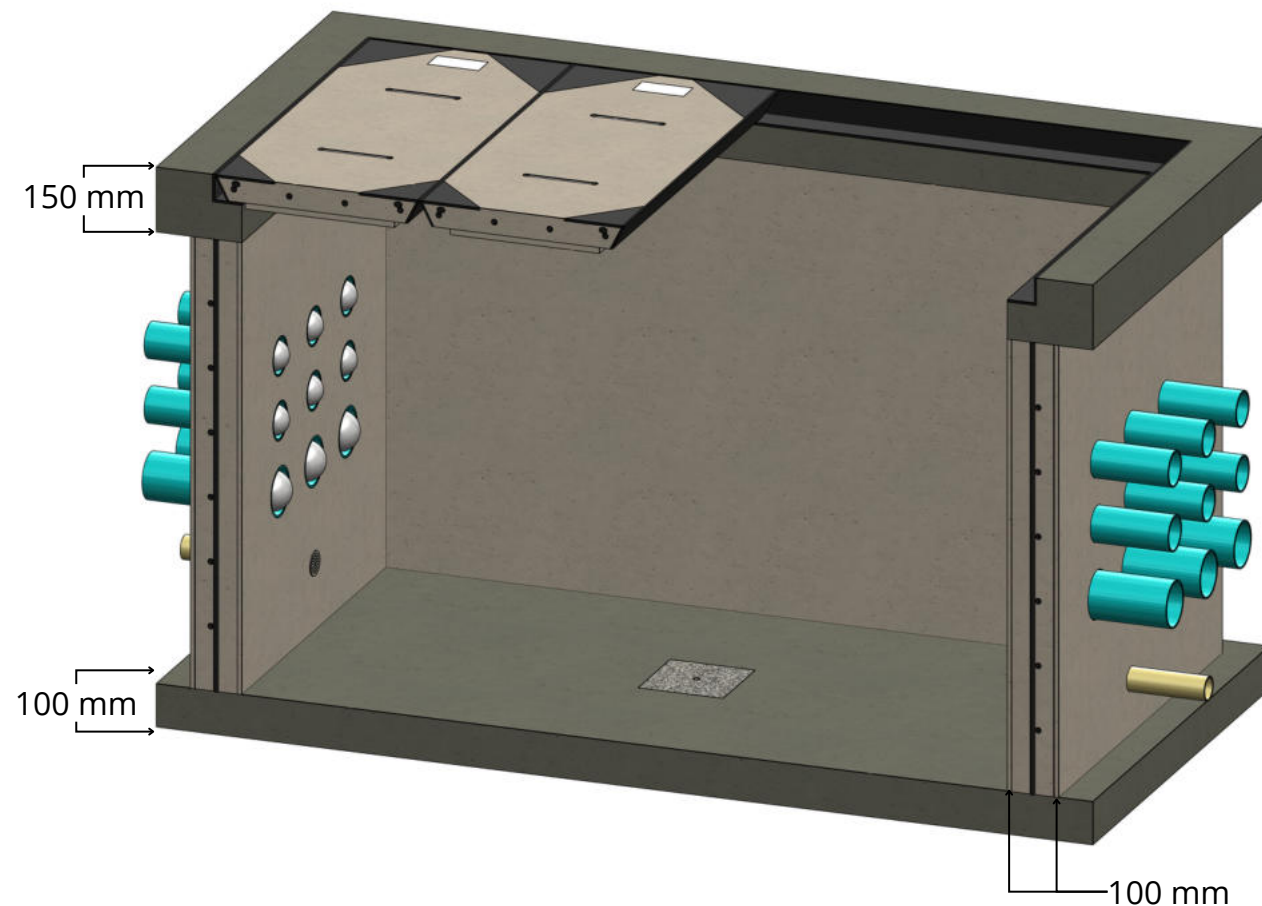


Figura 30. Detalle constructivo caja en concreto.

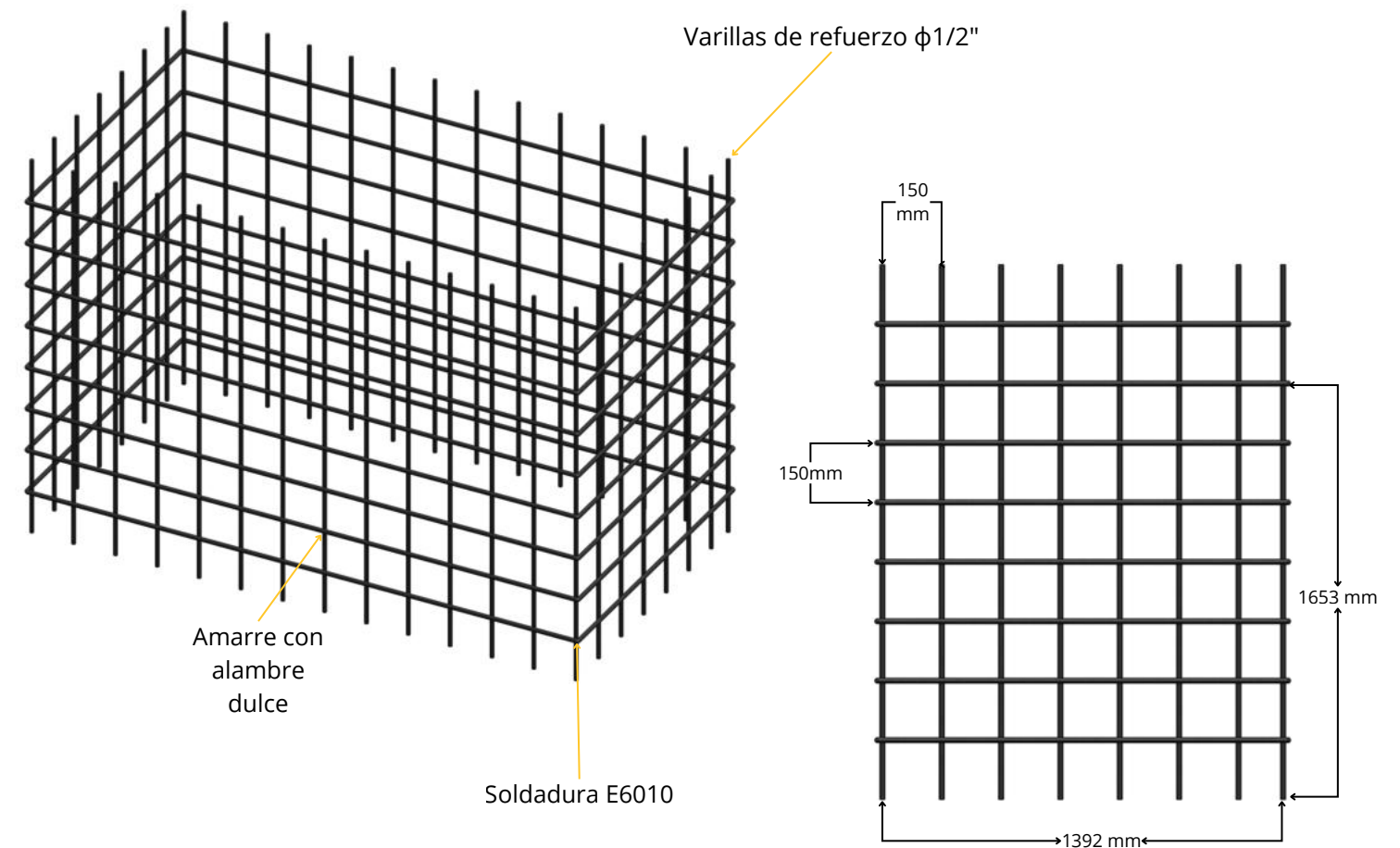


Figura 31. Base de caja en concreto con capa central de gravilla.

**3. Clasificación de Cajas Subterráneas:** Se han clasificado diferentes tipos de cajas subterráneas para redes de media tensión, cuya selección depende de la configuración del sistema, número de cables, tipo de conexión y nivel de tensión. Para cada tipo de red eléctrica debe contemplarse una caja adicional adyacente dedicada exclusivamente a la red de telecomunicaciones, asegurando una separación física adecuada entre redes compartidas.

- **Caja de Inspección Sencilla para Media Tensión 13.2 kV CD-2014:** Corresponde a una caja subterránea de paso, destinada a alojar conductores de media tensión en configuración de entrada y salida del circuito. Deberá contemplarse la disposición de un núcleo de reserva del conductor, con el fin de facilitar futuras labores de inspección, mantenimiento o empalme. Sus dimensiones son reducidas, propias de una caja de inspección, y no está diseñada para la realización de derivaciones, sino exclusivamente para garantizar el acceso, la continuidad y la correcta operación del circuito de media tensión. La configuración de la caja podrá incluir ductos adicionales de reserva, los cuales estarán destinados únicamente al paso de conductores de baja tensión y redes de telecomunicaciones, sin que se permita la derivación o instalación de equipos y elementos adicionales sobre la caja de la red de media tensión en su interior.

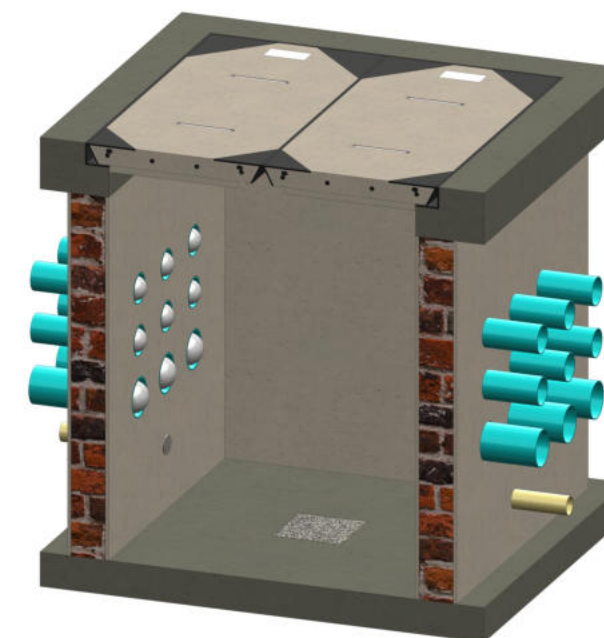


Figura 32. Caja de Inspección Sencilla para Media Tensión 13.2 kV CD-2014.

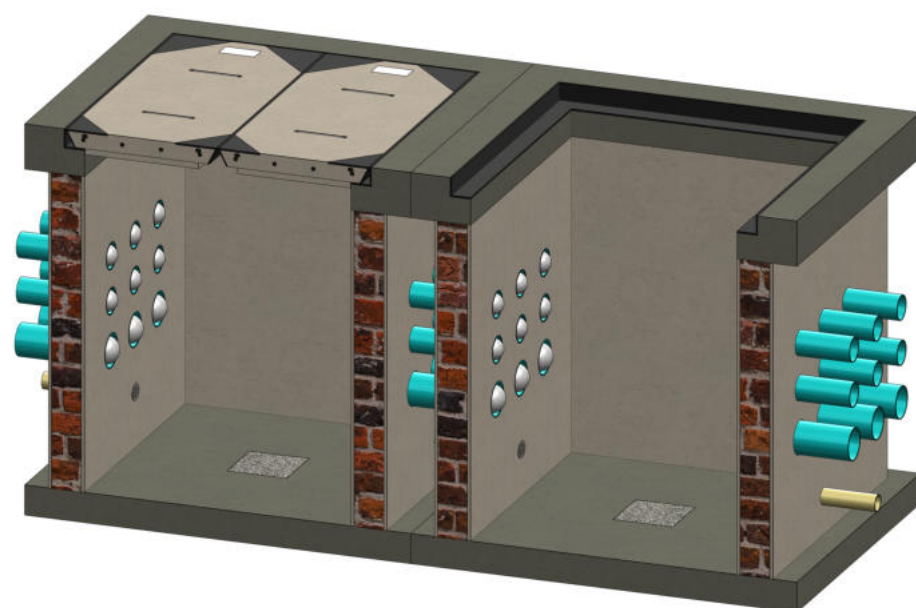


Figura 33. Caja de Inspección Sencilla para Media Tensión 13.2 kV y Caja de Comunicaciones CD-2015.

- **Caja de Inspección Sencilla para Media Tensión 13.2 kV y Caja de Comunicaciones CD-2015:** Igual que la caja anterior esta se considera una caja subterránea de paso destinada exclusivamente a alojar conductores de media tensión en configuración de entrada y salida del circuito, manteniendo la disposición de un núcleo de reserva del conductor para facilitar labores de inspección. Sus dimensiones son reducidas, propias de una caja de inspección, y no está diseñada para derivaciones. En concordancia con el Capítulo de Redes Compartidas, los cables de telecomunicaciones y demás redes compartidas deberán canalizarse mediante una caja subterránea adyacente independiente, no permitiéndose en ningún caso la instalación conjunta de conductores de media tensión con cables de telecomunicaciones dentro de la misma caja, garantizando la separación física, eléctrica y funcional entre ambos sistemas.

- **Caja de Inspección Doble para Media Tensión 13.2 kV CD-2016:** Corresponde a una caja subterránea de derivación, diseñada para permitir la instalación y adecuación de barrajes en media tensión destinados a la realización de derivaciones en redes de 13.2 kV. Esta tipología de caja facilita cambios de dirección, cruces de conexión y derivaciones de alimentadores, asegurando condiciones adecuadas de operación. La caja dispone de dimensiones y áreas internas suficientes que permiten la ejecución segura de labores de inspección, operación y mantenimiento de los conductores y del sistema de barrajes. Deberá contemplarse la disposición de cable de reserva, con el fin de facilitar futuras labores de inspección, mantenimiento o la implementación de derivaciones adicionales, de acuerdo con el diseño aprobado y los criterios del operador de red.

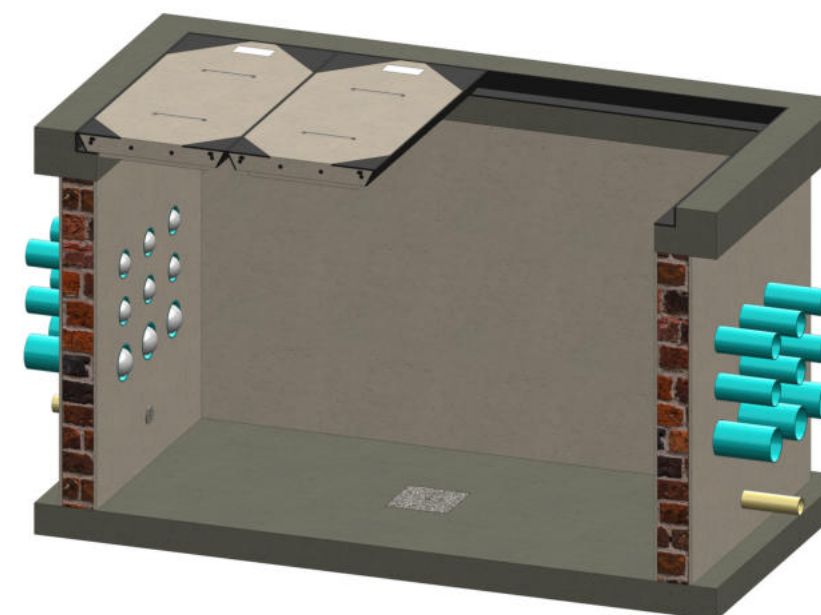


Figura 34. Caja de Inspección Doble para Media Tensión 13.2 kV CD-2016.

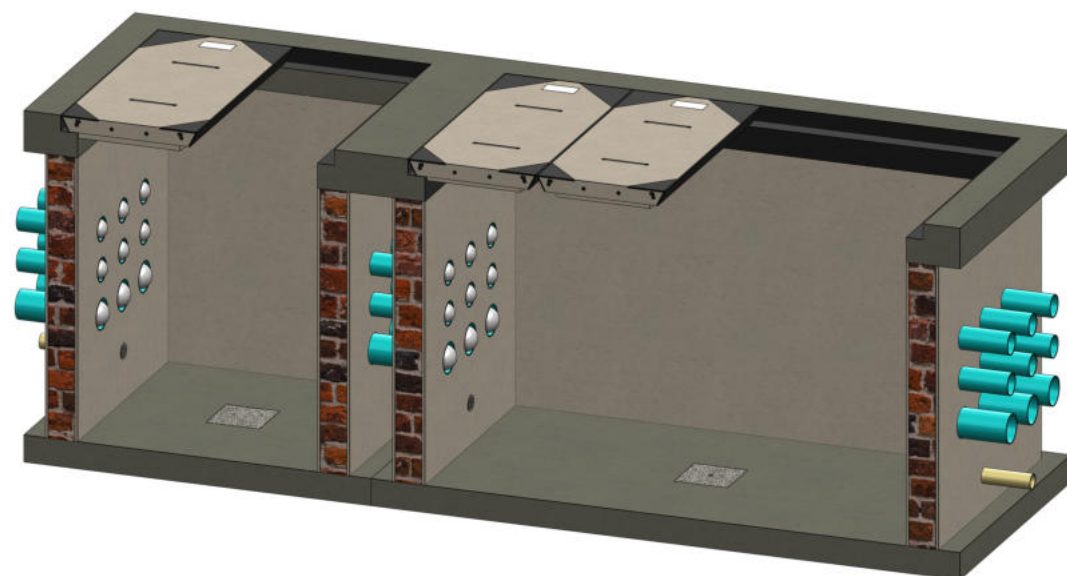


Figura 35. Caja de Inspección Doble para Media Tensión 13.2 kV y Caja de Comunicaciones CD-2017.

- **Caja de Inspección Doble para Media Tensión 13.2 kV y Caja de Comunicaciones CD-2017:** Igual que la caja anterior esta permite la instalación y adecuación de barrajes en media tensión destinados a la realización de derivaciones en redes de 13.2 kV. Deberá contemplarse la disposición de cable de reserva, con el fin de facilitar futuras labores de inspección, mantenimiento o la implementación de derivaciones adicionales. Los cables de telecomunicaciones y demás redes compartidas deberán canalizarse mediante una caja subterránea adyacente independiente, no permitiéndose en ningún caso la instalación conjunta de conductores de media tensión con cables de telecomunicaciones dentro de la misma caja.

- Caja de Inspección Doble para Media Tensión 13.2 kV Tipo Vehicular:** Corresponde a una caja subterránea diseñada para su instalación en zonas con tránsito vehicular, por lo cual deberá garantizar resistencia estructural suficiente para soportar cargas dinámicas y estáticas generadas por el paso de vehículos. Su diseño deberá considerar tapas y marcos reforzados, adecuados al tipo de vía y a la clase de carga, así como una estructura en concreto que asegure estabilidad y durabilidad frente a esfuerzos mecánicos, vibraciones y condiciones ambientales. La caja deberá permitir el alojamiento y operación segura de los conductores y accesorios eléctricos, contar con drenaje adecuado que evite la acumulación de agua, y garantizar accesos seguros para inspección y mantenimiento. Su ubicación, dimensiones y sistema de cierre deberán definirse conforme al diseño aprobado, al RETIE, y a la normativa técnica vigente del operador de red, sin comprometer la seguridad de los usuarios ni la continuidad del servicio eléctrico.



Figura 36. Caja de Inspección Doble para Media Tensión 13.2 kV Tipo Vehicular.

- Caja de Inspección Doble para Media Tensión 34.5 kV CD-3010:** Corresponde a una caja subterránea destinada al alojamiento, cruce y continuidad de conductores de media tensión a 34,5 kV, diseñada exclusivamente como caja de paso, sin que se permita la instalación de derivaciones, barrajes, empalmes activos ni dispositivos de seccionamiento en su interior. De manera excepcional, podrá disponer de ductos de reserva para el paso de conductores de 13,2 kV, siempre que no se afecte la operación ni la seguridad de la red principal de 34,5 kV. No se autoriza el ingreso ni el paso de conductores de baja tensión (Nivel 1) dentro de esta caja. Su diseño deberá contemplar dimensiones, distancias internas y condiciones de accesibilidad que garanticen la operación, supervisión, inspección y mantenimiento seguro de la red de 34,5 kV, e incorporar peldaños o escalerilla fija que permita un acceso seguro al interior de la caja, conforme a la normativa técnica vigente del operador de red.

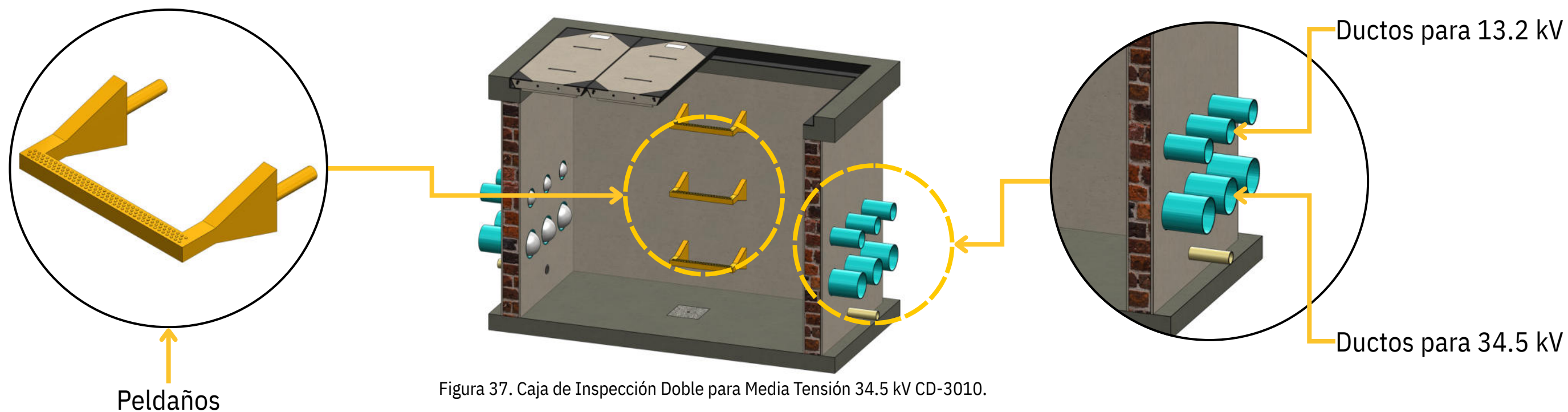


Figura 37. Caja de Inspección Doble para Media Tensión 34.5 kV CD-3010.

**4. Tapas Rectangulares:** Deben ser fabricadas en materiales de alta resistencia mecánica y a la corrosión, como ferroconcreto reforzado (3500 psi), hierro dúctil o lámina de acero de 3/16", con refuerzo en varilla corrugada de 1/2" cada 13 cm en ambos sentidos. Se deben incorporar manijas elevadizas de varilla de Ø 3/8" o 1/2", y rotulado visible y duradero que incluya el nombre del circuito, tensión del sistema y la advertencia "PELIGRO ALTA TENSION". Este rotulado podrá hacerse mediante impresión indeleble, grabado en alto relieve o mediante placa en aleación de aluminio, debidamente anclada. El diseño de la tapa debe garantizar un cierre seguro, superficie antideslizante, facilidad de apertura con herramientas comunes y acceso adecuado para mantenimiento.

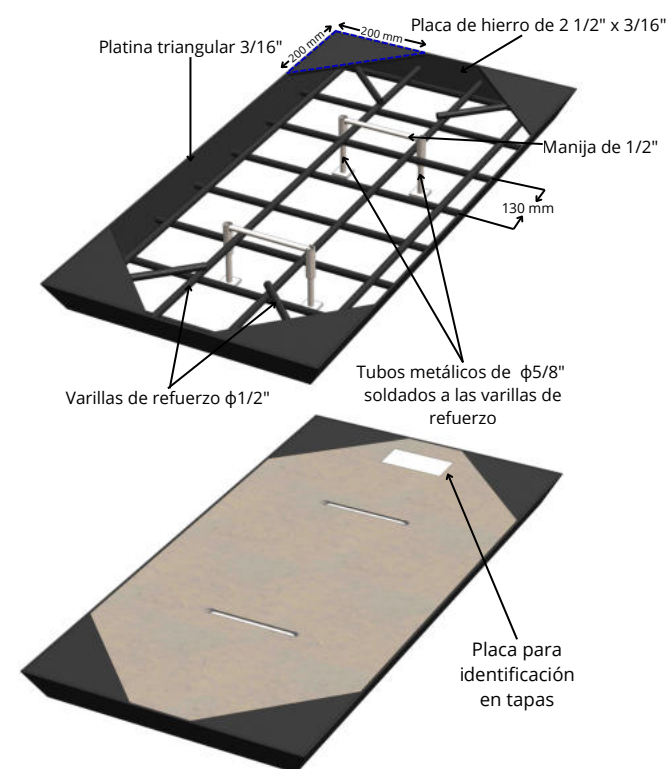


Figura 38. Tapa reforzada para caja de inspección.

**5. Tapas Tipo Vehicular:** Formaleta circular de acero calibre 22 de alta resistencia mecánica anticorrosiva, fundida en concreto reforzado (4000 psi), con refuerzo en varilla corrugada de 1/2" cada 12 cm en ambos sentidos. Debe contemplar rotulado visible y duradero que incluya el nombre del circuito, tensión del sistema y la advertencia "PELIGRO ALTA TENSION". Este rotulado podrá hacerse mediante impresión indeleble, grabado en alto relieve o mediante placa en aleación de aluminio, debidamente anclada. El diseño de la tapa debe garantizar un cierre seguro, superficie antideslizante, facilidad de apertura con herramientas comunes y acceso adecuado para mantenimiento.

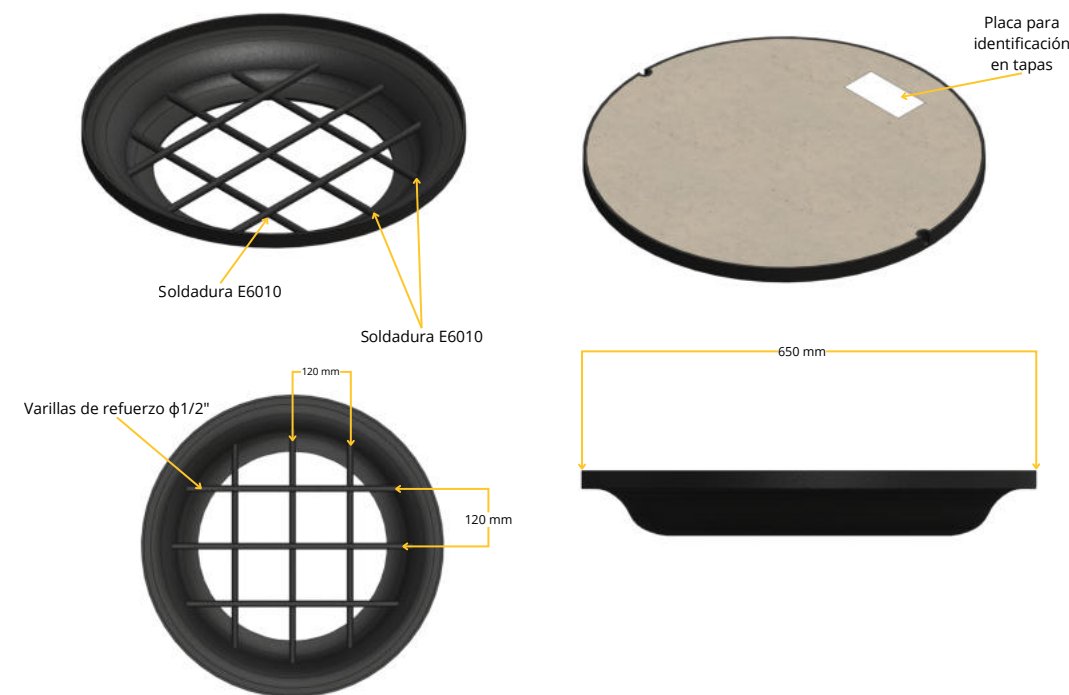


Figura 39. Tapa reforzada para caja de inspección Tipo Vehicular,

**6. Carga Mecánica de las Tapas:** Las tapas deben cumplir con la clase de carga correspondiente a su ubicación, según la NTC 2050 en el Artículo 110.75. Acceso a posos de inspección las cubiertas deben pesar más de 45 kg o de otra manera, tener un diseño que exija el uso de herramientas para abrirlas. Se deben diseñar o contener de manera que no puedan caer dentro del pozo de inspección ni sobresalir lo suficiente como para hacer contacto con los conductores eléctricos o el equipo dentro del pozo de inspección.. Para asegurar esta condición estructural, se deben construir en concreto reforzado con especificaciones diferenciadas según la exigencia del entorno: 3000 psi para zonas de baja carga o tráfico peatonal ocasional, 3500 psi para condiciones normales de tránsito peatonal o mixto, y 4000 psi para zonas expuestas a tránsito vehicular permanente o carga pesada.

### C) TABLAS DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

| Profundidad mínima (cm) | Nivel de tensión EBSA | Tipo de ducto                         | Escenarios donde aplica  |
|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| 15 cm                   | 13,2 y 34,5 kV        | Tubería metálica rígida o intermedia  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo edificaciones</li> <li>Zonas protegidas con acceso restringido</li> <li>Cámaras eléctricas o ductos verticales internos</li> </ul>   |
| 45 cm                   | 13,2 kV               | Tubería no metálica (PVC, HDPE, RTRC) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aceras, jardines o zonas de acceso restringido sin tráfico vehicular</li> <li>Bajo edificaciones</li> <li>Canalizaciones técnicas internas (solo si no hay tránsito vehicular)</li> </ul> |
| 60 cm                   | 34,5 kV               | Tubería no metálica (PVC, HDPE, RTRC) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Calles, vías, autopistas, calzadas, accesos vehiculares</li> <li>Toda zona con tránsito vehicular permanente</li> </ul>   |

Tabla 14. Profundidades mínimas de enterramiento en ductos – Media Tensión- Segun la NTC-2050

#### C.2 CONDICIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE CAJAS SUBTERRÁNEAS MEDIA TENSIÓN

- Para mejor detalle de construcción de las cajas subterráneas dirigirse a la norma del Operador de Red EBSA (Construcción de Redes Subterráneas de Media Tensión).
- Los cables subterráneos instalados debajo de construcciones deben estar alojados en un ducto que salga como mínimo 30 cm del perímetro de la construcción.
- Las cajas subterráneas deberán contemplar, como mínimo, dos (2) ductos de reserva por cada nivel de tensión implementado, garantizando que cada circuito se instale de manera independiente en un ducto exclusivo, sin compartir canalización con otros circuitos o niveles de tensión.
- Si las cajas y cámaras son de concreto con marco y refuerzo metálico que están a menos de 30 m de escuelas y sitios con alta concentración de personas que puedan tener contacto con éstas, se debe asegurar que estén al mismo potencial de tierra.
- Con base al capítulo de redes compartidas es de total prohibición la instalación de equipos o reservas de fibra óptica dentro del interior de cajas que alojan conductores eléctricos pertenecientes al operador de red EBSA, para tal fin se debe implementar caja adyacente, destinadas para este fin. Esta caja debe estar dotada de una infraestructura de ductos completamente independiente, con rotulado diferenciado.
- No se permite realizar reservas de cable telemático ni montaje de equipos de comunicaciones en las cajas eléctricas. Los cables de telecomunicaciones solo podrán transitar por cajas eléctricas fijados a la pared de las cajas eléctricas mediante abrazaderas metálicas, debidamente rotuladas e identificadas, y deberán disponerse en el lado opuesto al de los conductores eléctricos cumpliendo distancias de seguridad establecidas por el RETIE entre sistemas telemáticos y eléctricos.

*NOTA-Jerarquía de profundidad por cruce de niveles de tensión y condiciones especiales de instalación*

- Si 13,2 kV cruza con una canalización de baja tensión, la de 13,2 kV debe tener 15 cm más de profundidad que la de BT.
- Si 34,5 kV cruza con una canalización de 13,2 kV, la de 34,5 kV debe tener 15 cm más de profundidad que la de 13,2 kV.
- En cruces de vías vehiculares, siempre se debe aplicar como profundidad base la exigida para ductos no metálicos, incluso si se utiliza ducto metálico. Luego, se suman los 15 cm adicionales por jerarquía de tensión si corresponde.

## D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- Priorizar la ubicación de zanjas en zonas no vehiculares (andenes y áreas verdes) para facilitar mantenimiento y reducir riesgo de daño.
- Emplear separadores tipo TDP para garantizar la correcta disposición de los ductos, evitando desplazamientos durante el relleno.
- Instalar cinta plástica de señalización con leyenda "PELIGRO" a 30 cm por encima de los ductos, conforme a lo indicado en el RETIE.
- Incorporar sistemas de drenaje obligatorios en todas las cajas, con tuberías de 2" y rejillas anticucarachas para evitar taponamientos.
- Rematar los ductos en las cajas con terminal tipo campana para evitar daños durante el jalado del cable.
- Las cajas con profundidad mayor o igual a 1,20 m deben contar con peldaños cada 0,30 m para facilitar el ingreso del operario.
- Las cajas eléctricas y de comunicaciones deben estar separadas, ya sea físicamente o mediante barreras dieléctricas.

### IMPORTANTE

- La adecuada planificación y ejecución de las obras civiles subterráneas para redes eléctricas de media tensión garantiza la seguridad, durabilidad, mantenibilidad y eficiencia del sistema. La estandarización de componentes como cajas, ductos, drenajes e identificación mejora sustancialmente la calidad de la infraestructura eléctrica y reduce riesgos operacionales.

## 1.2.2.4 AFLORAMIENTOS Y TRANSICIONES AÉREO-SUBTERRÁNEAS EN MEDIA TENSIÓN

### A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Las transiciones aéreo-subterráneas son puntos críticos donde una red de media tensión cambia de configuración, pasando de una instalación aérea a una subterránea o viceversa. Este tipo de implementación se emplea comúnmente en entornos urbanos, industriales o residenciales, donde se busca armonizar criterios técnicos, de seguridad operativa y de integración arquitectónica con el entorno. Estas transiciones pueden realizarse en niveles de tensión de 13,2 kV y 34,5 kV, según la configuración del sistema. Su adecuada planificación e instalación asegura la continuidad del servicio, la protección de las personas y la preservación de la integridad funcional de todos los elementos involucrados.

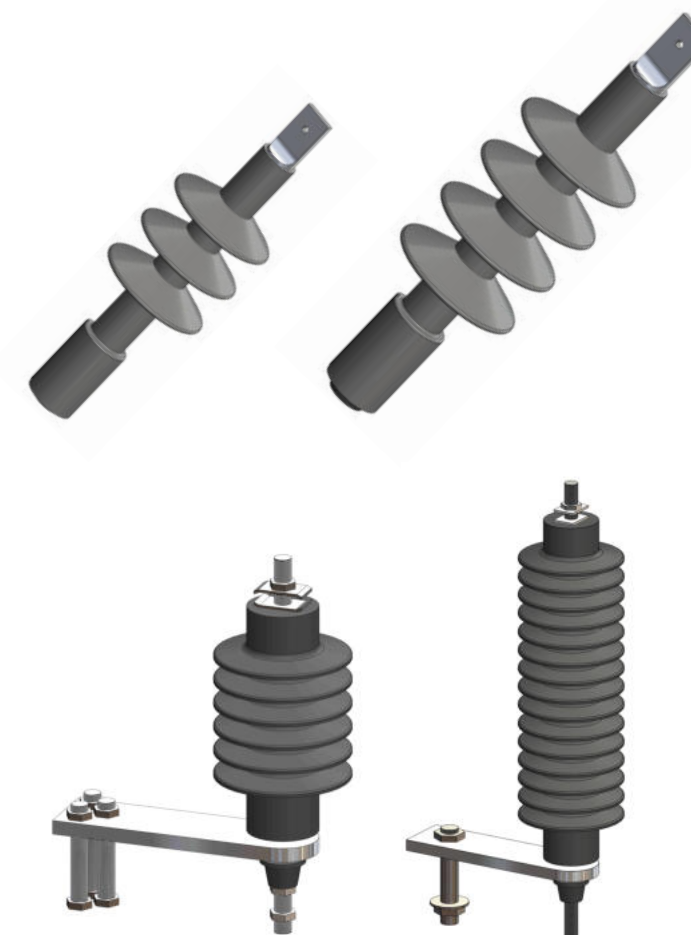
### B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

#### B.1. TERMINAL PREMOLDEADA TIPO EXTERIOR:

Se empleará en instalaciones a la intemperie, diseñada para operación en condiciones ambientales expuestas. Este tipo de terminal incorpora una serie de campanas que garantiza la adecuada protección contra el ingreso de humedad y contaminación. La transición se realiza habitualmente en un poste de retención dotado de herrajes y dispositivos de conexión final como terminales premoldeados tipo exterior, los cuales deben estar especificados para operar de manera segura en niveles de tensión de 13,2 kV y 34,5 kV. Se deben utilizar terminales certificados con nivel de aislamiento igual o superior al de la red, conforme a los estándares técnicos aplicables y a las recomendaciones del fabricante. El apantallamiento del cable que llega a la terminal debe estar conectado a tierra de forma segura y confiable, asegurando la continuidad del sistema de puesta a tierra y la protección frente a sobretensiones o fallas de aislamiento.

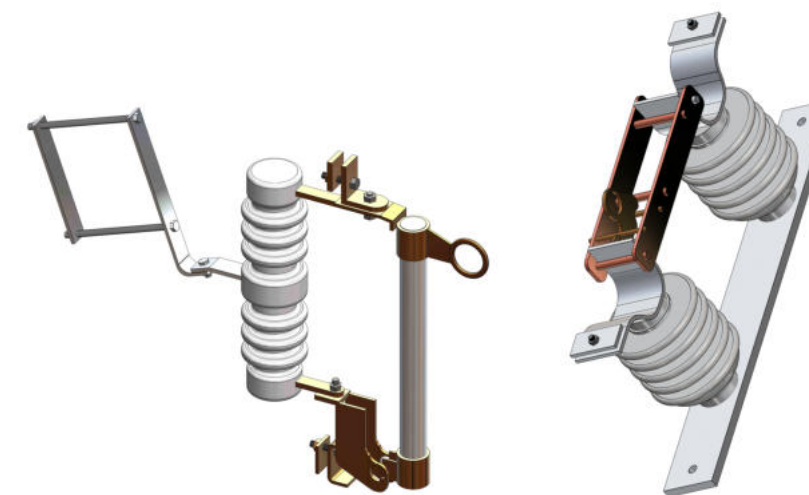
#### B.2. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES:

La protección contra sobretensiones en los puntos de transición aéreo-subterránea deberá realizarse mediante la instalación de pararrayos de línea (descargadores de sobretensión – DPS), ubicados en el mismo herraje o estructura donde se instalan los terminales del cable a proteger. Se deberá disponer un juego completo de pararrayos por fase, asegurando su correcta conexión a tierra y su coordinación con el nivel de aislamiento del sistema, con el fin de limitar sobretensiones de origen atmosférico o transitorio y preservar la integridad del cable y sus terminales.



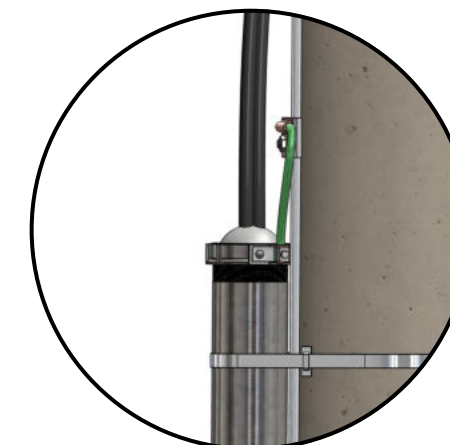
### B.1. ELEMENTOS DE CORTE - SECCIONADORES CORTOCIRCUITO O TIPO CUCHILLA:

En los puntos de transición entre redes aéreas y subterráneas se deberán instalar elementos de corte que permitan el aislamiento seguro del tramo subterráneo y la adecuada coordinación de protecciones del sistema. Los seccionadores tipo cortocircuito (fusibles) cumplen la función de protección contra sobrecorrientes y fallas permanentes, interrumpiendo automáticamente el circuito cuando se presentan corrientes superiores a las nominales establecidas. Por otra parte, los seccionadores tipo cuchilla permiten el seccionamiento visible del circuito para labores de operación y mantenimiento, usualmente utilizados en afloramientos de circuitos, garantizando un punto de apertura seguro y verificable. Ambos dispositivos deberán instalarse de forma que faciliten la maniobra desde la red aérea, aseguren la continuidad del servicio y protejan el cable subterráneo ante fallas en el sistema.



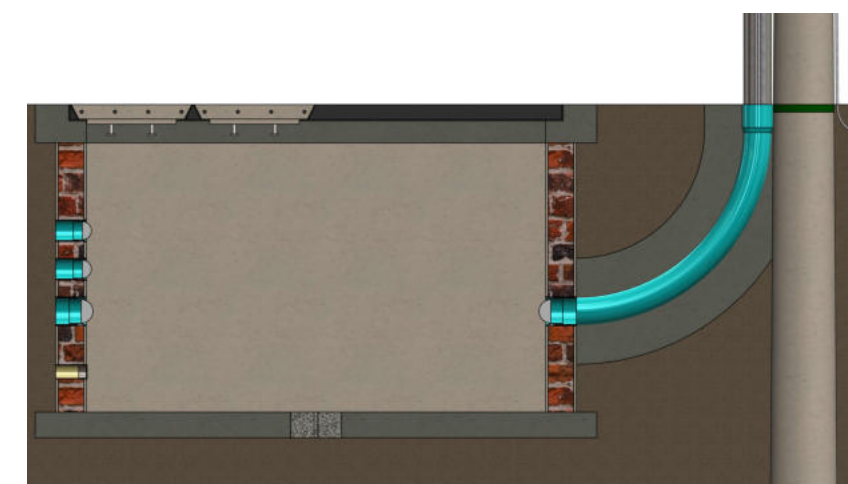
### B.1. DUCTO O CANALIZACIÓN DE LA BAJANTE PARA CONDUCTORES:

Todo afloramiento primario deberá ejecutarse mediante ducto conduit metálico galvanizado tipo IMC, dimensionado de tal manera que garantice una ocupación máxima del 40 %, dejando como mínimo el 60 % del área interna libre. El ducto estará compuesto por 2 tubos unidos de 3 m de longitud y deberá fijarse al poste mediante mínimo cuatro (4) amarres de cinta de acero de 5/8". Se debe garantizar una sola canalización por circuito ósea una sola bajante dentro de un solo ducto y debe estar debidamente conectado al sistema de puesto a tierra.



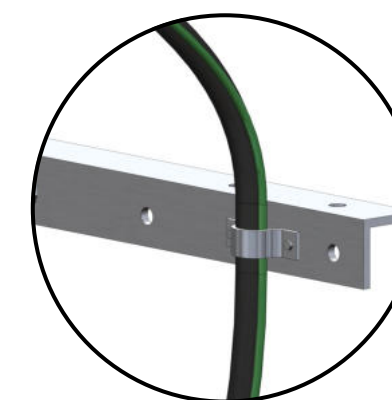
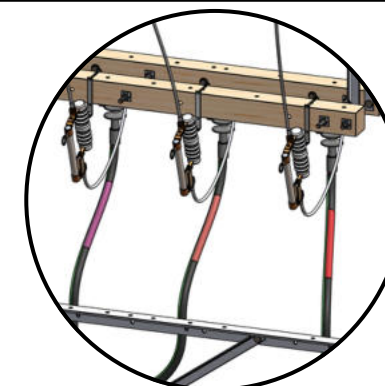
### B.1. CAJAS DE INSPECCIÓN EN TRANSICIONES:

Las cajas de inspección utilizadas en los afloramientos o transiciones deben estar dimensionadas y construidas en mampostería de ladrillo, de acuerdo con el nivel de tensión del sistema (13,2 kV o 34,5 kV), o con base a la norma de construcción de redes subterráneas de media tensión de EBSA. Estas cajas deben cumplir con los requisitos establecidos por el RETIE y la NTC 2050 en cuanto a accesibilidad, ventilación, resistencia mecánica, y una adecuada disposición del conexionado interno. Además, deben permitir el empalme o la derivación del cable sin comprometer la integridad dieléctrica ni mecánica del sistema, asegurando continuidad en la protección y facilitando futuras inspecciones o mantenimientos.



### B.1. MARCACIÓN Y SEÑALIZACIÓN:

Las transiciones o afloramientos deben contar con identificación visible que incluya el código de colores para cada fase, el nivel de tensión y el número del circuito. Esta marcación debe ubicarse tanto en la parte superior del poste en el cable que llega a las terminales premoldeadas de uso exterior, como en la caja de inspección asociada a la transición. Los colores y convenciones deben ajustarse a lo exigido por el RETIE y la NTC 2050.



### B.4. CONDICIONES MECÁNICAS:

El cable subterráneo debe estar firmemente anclado a estructuras metálicas o de concreto mediante grapas o abrazaderas mecánicas, asegurando que el cable no transmita esfuerzos de tracción, torsión o flexión a los empalmes, terminales o puntos de conexión. Este anclaje debe considerar también la correcta alineación del cable hacia la terminal para evitar concentraciones de esfuerzos mecánicos que comprometan la integridad del sistema.

### B.1. CLASIFICACIÓN DE TRANSICIONES:

A continuación, se presentan la norma EBSA los diferentes tipos de transiciones clasificadas según su aplicación en campo y las condiciones de operación requeridas. Esta clasificación considera los criterios técnicos asociados a la configuración del sistema, nivel de tensión, tipo de conductor, condiciones ambientales y requerimientos de protección eléctrica y mecánica. Dentro de estas se incluyen las derivaciones en puntos de transición aéreo-subterránea de alimentadores principales, las transiciones directas entre red aérea y red subterránea, y los afloramientos de conductores subterráneos hacia estructuras aéreas.

1. **TR-2001:** Derivación en Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Tangencial Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
2. **TR-2002:** Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Tangencial Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
3. **TR-2003:** Afloramiento Red Subterránea - Aérea con Seccionamiento Tipo Cuchilla Media Tensión 13.2 kV Trifásica
4. **TR-2011:** Derivación en Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Bandera Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
5. **TR-2012:** Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Bandera Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
6. **TR-2013:** Arranque en Transición Red Área -Subterránea Auto protegido Tipo Tangencial para Subestaciones Tipo Local o Pedestal Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
7. **TR-2014:** Arranque en Transición Red Área -Subterránea Auto protegido Tipo Bandera para Subestaciones Tipo Local o Pedestal Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
8. **TR-2015:** Arranque en Transición Red Área -Subterránea Auto protegido con Red Compacta para Subestaciones Tipo Local o Pedestal Media Tensión 13.2 kV Trifásica.
9. **TR-2004:** Montaje de Transformador Trifásico Auto protegido en un solo Poste con Transición Red Subterránea - Aérea Media Tensión 13.2 kV Trifásico.
10. **TR-2004:** Montaje de Transformador Trifásico Auto protegido en Estructura en H con Transición Red Subterránea - Aérea Media Tensión 13.2 kV Trifásico.
11. **TR-3001:** Derivación en Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Semibandera Media Tensión 34.5 kV Trifásica.
12. **TR-3002:** Transición o Afloramiento Red Aérea - Subterránea Tipo Semibandera Media Tensión 34.5 kV Trifásica.

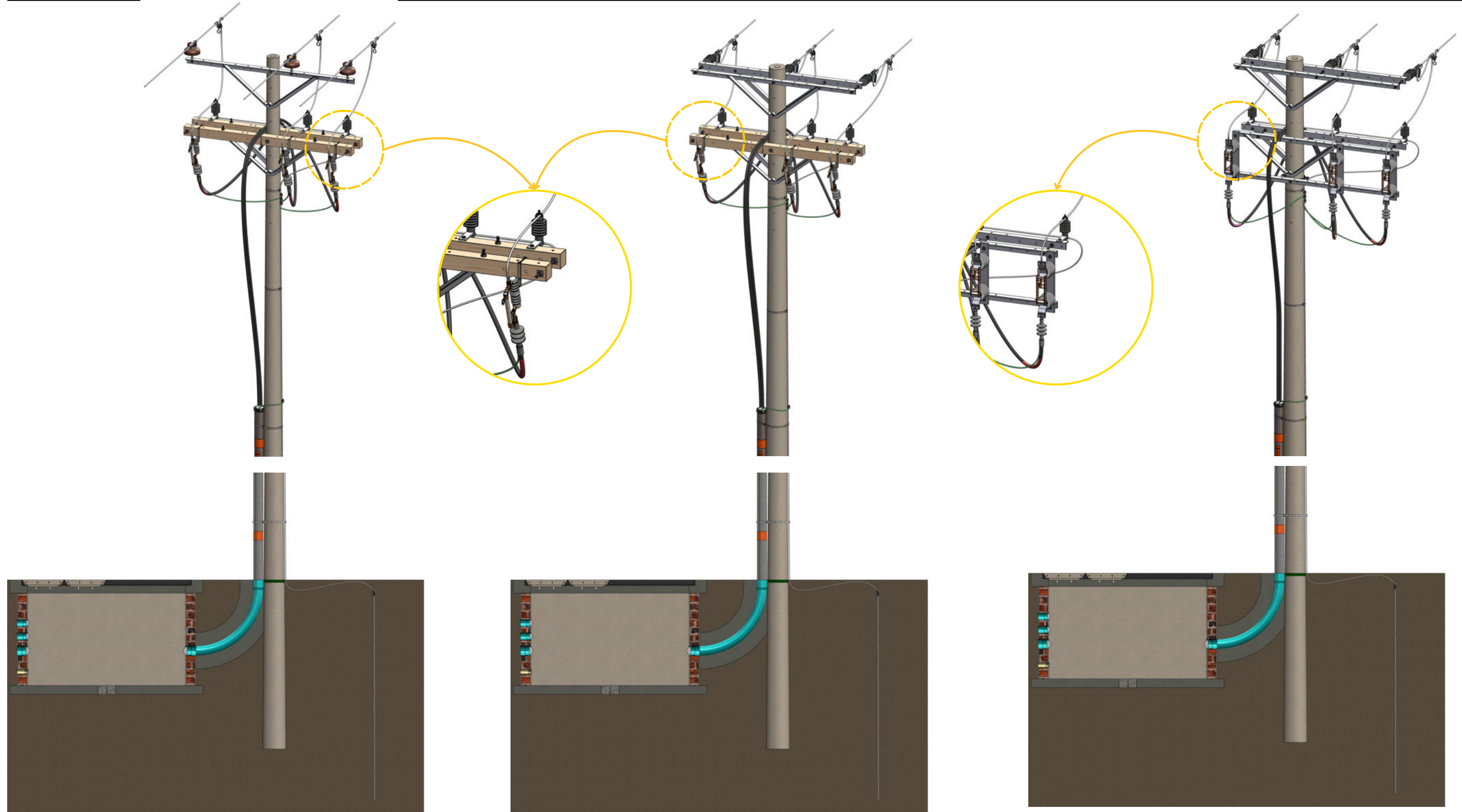


Figura 40. Derivación en Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Tangencial Media Tensión 13.2 kV Trifásica. (TR-2001)

Figura 41. Transición Red Aérea - Subterránea Tipo Tangencial Media Tensión 13.2 kV Trifásica. (TR-2002)

Figura 42. Afloramiento Red Subterránea - Aérea con Seccionamiento Tipo Cuchilla Media Tensión 13.2 kV Trifásica

## C) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- Implementar señalización visible y duradera en todos los puntos de afloramiento, tanto en el poste como en la caja de inspección, empleando el código de colores establecido en el RETIE para identificar fases, nivel de tensión y número de circuito.
- Garantizar que la conexión a tierra incluya el apantallamiento del cable, los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) y cualquier otro componente que pueda representar un potencial eléctrico. Esta conexión debe ejecutarse con conductores adecuados, puntos de conexión inspeccionables y continuidad eléctrica verificada, manteniendo valores de resistencia dentro de los límites establecidos por el RETIE ( $<25\Omega$  o  $<10\Omega$  según corresponda).
- Verificar que las cajas de inspección construidas en mampostería de ladrillo cumplan con las condiciones de accesibilidad, ventilación y resistencia mecánica, evitando filtraciones de agua, acumulación de humedad y deterioro estructural.
- Realizar el anclaje mecánico del cable en el poste de forma que se eviten esfuerzos indebidos sobre los dispositivos de conexión, asegurando alineación y fijación con grapas o soportes dieléctricos que mantengan la integridad mecánica del conjunto.
- Verificar que las terminales premoldeadas instaladas sean específicas para uso exterior y estén certificadas para operar en el nivel de tensión correspondiente (13,2 kV o 34,5 kV), manteniendo el apantallamiento del cable correctamente aterrizado.

### IMPORTANTE

- La correcta implementación de las transiciones aéreo-subterráneas en sistemas de 13,2 kV y 34,5 kV garantiza la compatibilidad entre tecnologías de red, mitiga riesgos operativos y mejora la continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico. Para ello, se deben aplicar criterios técnicos estandarizados en cuanto a dispositivos de conexión final, anclajes mecánicos, condiciones de empalme, señalización reglamentaria y sistemas de puesta a tierra, asegurando la integridad eléctrica, mecánica y operativa del sistema, así como la seguridad del personal técnico.