

CAPITULO 1

TÍTULO 3: CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

EBSA 1.3-CT

ÍNDICE

1.3.1

SECCIÓN 1: CONCEPTOS DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

SECCIÓN 2: CLASIFICACIÓN CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

1.3.2

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN
AÉREOS

1.3.2.1

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN
TIPO PEDESTAL

1.3.2.2

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN
TIPO LOCAL

1.3.2.3

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN
SEMISUMERGIBLE

1.3.2.4

1.3.3

SECCIÓN 3: DIAGRAMAS UNIFILARES EN CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

SECCIÓN

1.3.1 CONCEPTOS DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN



A continuación, se presentan las definiciones principales integradas en un marco conceptual sólido para comprender los términos clave relacionados con los centros de transformación. Estas definiciones abarcan aspectos como tipos de instalaciones, niveles de tensión y componentes principales, proporcionando una comprensión integral de los elementos involucrados en este tipo de infraestructura eléctrica.

1.3.1.1 INTRODUCCIÓN

En un entorno donde la expansión y modernización de las redes eléctricas cobra cada vez mayor relevancia, los centros de transformación se consolidan como un componente esencial para garantizar el suministro eficiente y seguro de energía. Esta norma técnica se presenta como una herramienta clave para EBSA, proporcionando una guía integral sobre los aspectos constructivos, técnicos y de seguridad necesarios para la adecuada instalación y operación de estas infraestructuras.

La norma técnica EBSA establece los requisitos y pautas para la construcción, montaje e instalación segura de centros de transformación, abarcando desde criterios civiles básicos hasta aspectos eléctricos y mecánicos fundamentales. Este documento se enfoca principalmente en garantizar la correcta ejecución de obras civiles asociadas, el cumplimiento de las especificaciones técnicas y la aplicación de buenas prácticas en el proceso constructivo.

Adicionalmente, se incluyen los conceptos técnicos más relevantes que definen la infraestructura asociada a los centros de transformación, abarcando aspectos como tipos de subestaciones, configuraciones típicas, accesos, ventilación, drenajes y requerimientos estructurales. Se destacan también las normas técnicas y estándares aplicables que deben cumplirse para asegurar la seguridad operativa y la sostenibilidad de las obras.

Así mismo, se aborda la planificación y diseño constructivo, ofreciendo ejemplos específicos de soluciones típicas empleadas en entornos urbanos, suburbanos y rurales. Se proporcionan planos civiles de referencia y hojas técnicas de componentes estructurales y eléctricos, buscando estandarizar el diseño, construcción y puesta en servicio de centros de transformación, contribuyendo al fortalecimiento y crecimiento sostenible de la red eléctrica en Boyacá.

1.3.1.2 NORMAS Y ESTÁNDARES

Normativa/Estándar	Descripción
RETIE resolución 40117 de 2024	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, establece requisitos técnicos para la instalación segura de sistemas eléctricos en Colombia.
NTC 2050, Sección 625 segunda actualización	Norma Técnica Colombiana que proporciona especificaciones detalladas para ciertos aspectos de instalaciones eléctricas en Colombia.
IEEE C57.12.20	La norma IEEE C57.12.20 establece los requisitos estándar para transformadores de distribución tipo pedestal (pad-mounted), enfocados principalmente en aplicaciones en redes subterráneas de media tensión. Esta norma cubre aspectos relacionados con el diseño, construcción, características eléctricas, mecánicas y de seguridad de los transformadores tipo pedestal.

Tabla 1. Documentos de referencia, normas y reglamentos adicionales



1.3.1.3 GENERALIDADES



A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Los **centros de transformación** son instalaciones eléctricas encargadas de realizar la conversión de energía desde niveles de media tensión (típicamente 13,2 kV) a niveles de baja tensión (como 208/120 V o 240/120 V), utilizando transformadores de distribución. Estas instalaciones integran equipos de protección, seccionamiento, conexiones y puesta a tierra, y permiten alimentar redes secundarias que suministran energía a usuarios finales residenciales, comerciales o industriales. Su objetivo es garantizar una transformación segura, eficiente y confiable de la energía eléctrica, adecuándose a diversos entornos físicos y técnicos mediante diferentes configuraciones constructivas, según criterios de capacidad, accesibilidad, seguridad, espacio disponible y condiciones ambientales.

B) APLICACIÓN Y SELECCIÓN

La elección del tipo de centro de transformación debe basarse en un análisis técnico integral que contemple:

- Naturaleza del entorno: Considerar si se trata de una zona rural, urbana, industrial o patrimonial, así como sus condiciones geográficas y ambientales.
- Espacio disponible: Evaluar restricciones físicas para definir si se requiere instalación aérea, en pedestal, local o subterránea.
- Nivel de carga y expansión futura: Determinar la demanda energética actual y proyectada, con el fin de seleccionar la capacidad adecuada del transformador y su configuración estructural.
- Condiciones de seguridad y cumplimiento normativo: Garantizar que la solución elegida cumpla con los requisitos del RETIE y demás reglamentaciones vigentes.
- Facilidad de operación y mantenimiento: Priorizar configuraciones que permitan un acceso seguro y eficiente a los equipos para tareas de inspección, maniobra o sustitución.
- Impacto visual y restricciones estéticas: Considerar la armonía con el entorno urbano, arquitectónico o ambiental, especialmente en zonas con valor patrimonial.

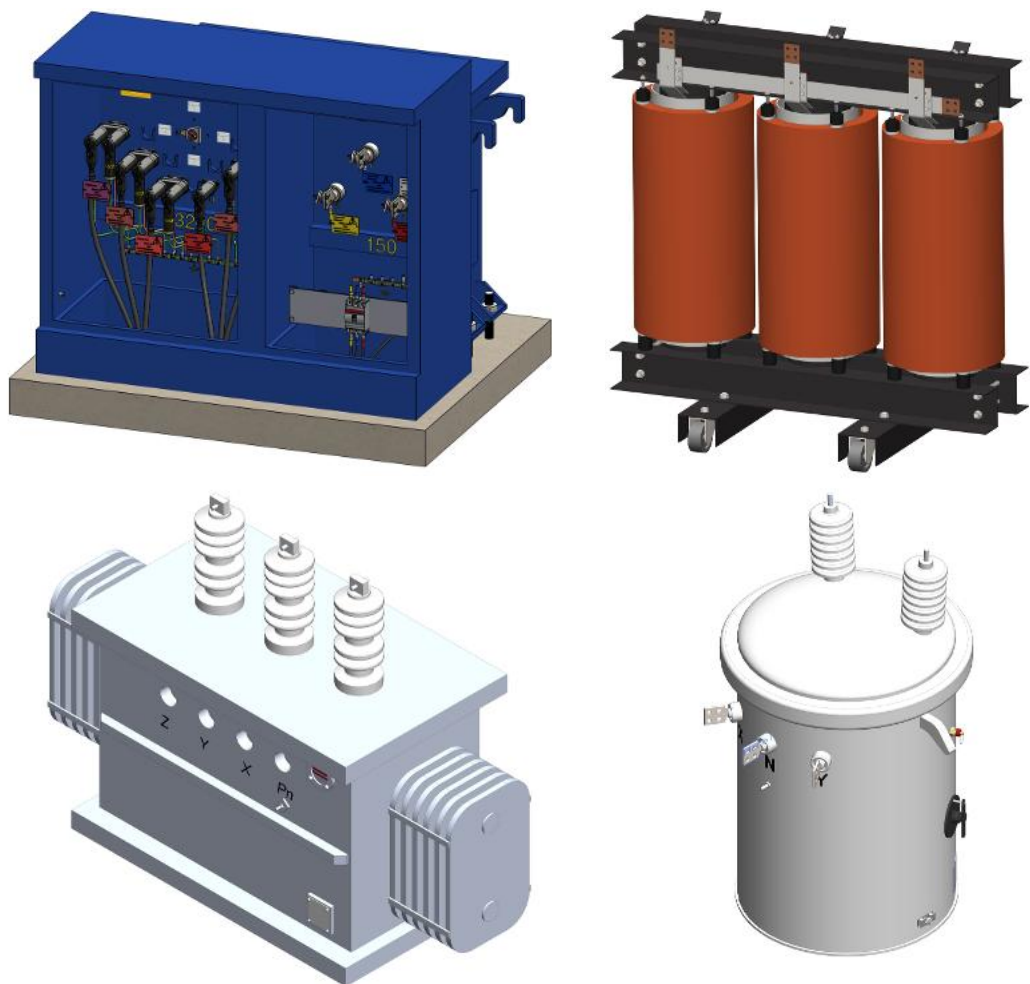


Figura 1. Tipos de transformadores

C) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- Realizar un estudio previo del sitio, incluyendo topografía, condiciones climáticas, riesgo de inundación y accesos.
- Identificar aspectos como impactos ambientales para posibles talas o podas, junto con el requerimiento de permisos de ingreso a predio y uso de servidumbres según se requiera.
- Cumplir rigurosamente con las distancias mínimas de seguridad establecidas en el RETIE, tanto para personas como para edificaciones y otras redes.
- Diseñar accesos seguros para inspección y mantenimiento periódico, considerando espacio libre y señalización visible.
- Garantizar condiciones adecuadas de ventilación natural o forzada, drenaje pluvial y protección mecánica para los equipos.
- Utilizar materiales certificados y adecuados para intemperie, como aisladores poliméricos, gabinetes con grado IP e IK adecuados, y conectores resistentes a la corrosión.
- Dar cumplimiento estricto a la implementación de las 6 reglas de oro.
- Verificar, antes de la energización, la correcta ejecución de pruebas de aislamiento, resistencia de puesta a tierra, continuidad eléctrica y polaridad.

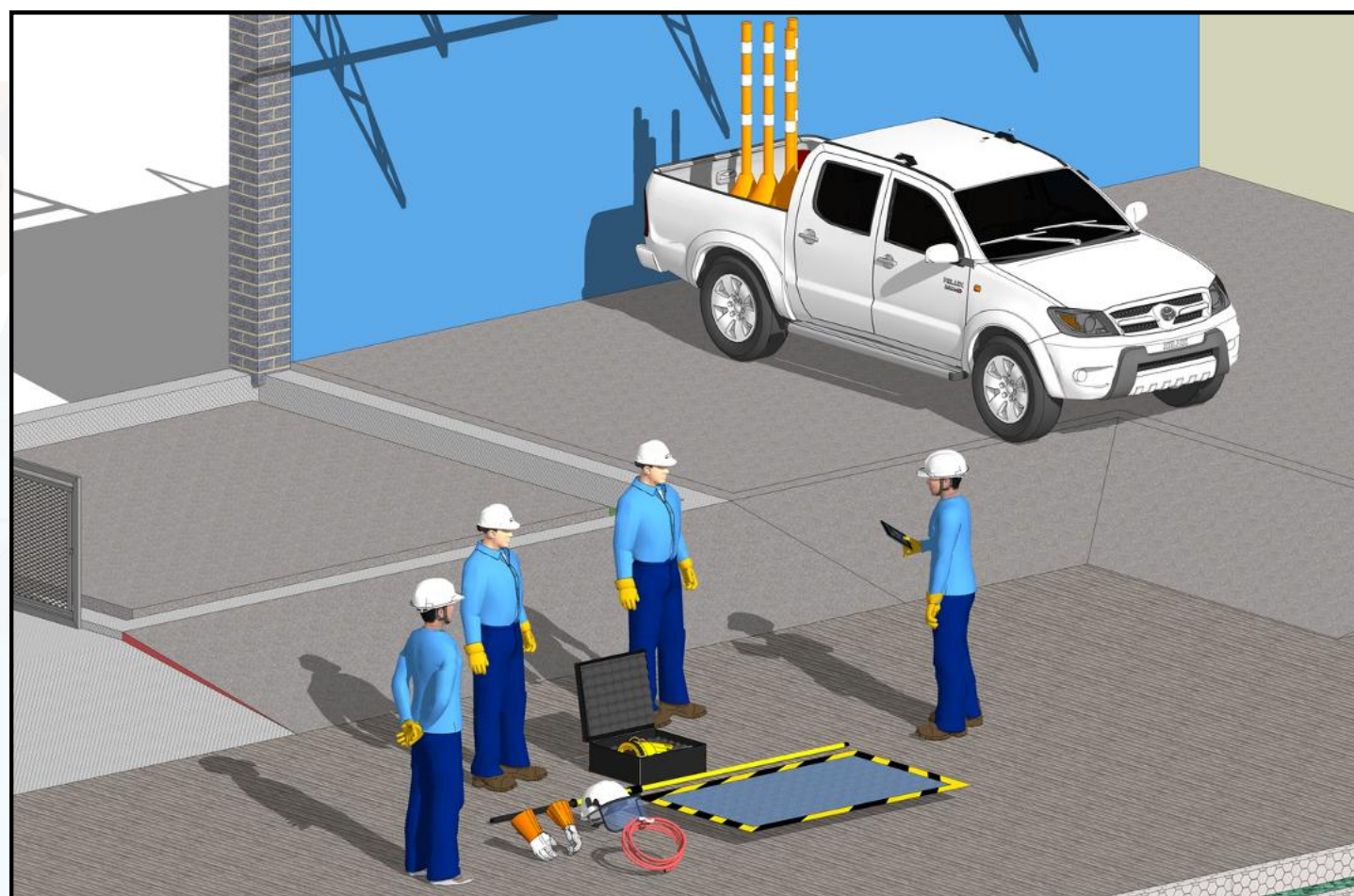


Figura 2. Planificación y verificación de herramientas críticas en sede operativa

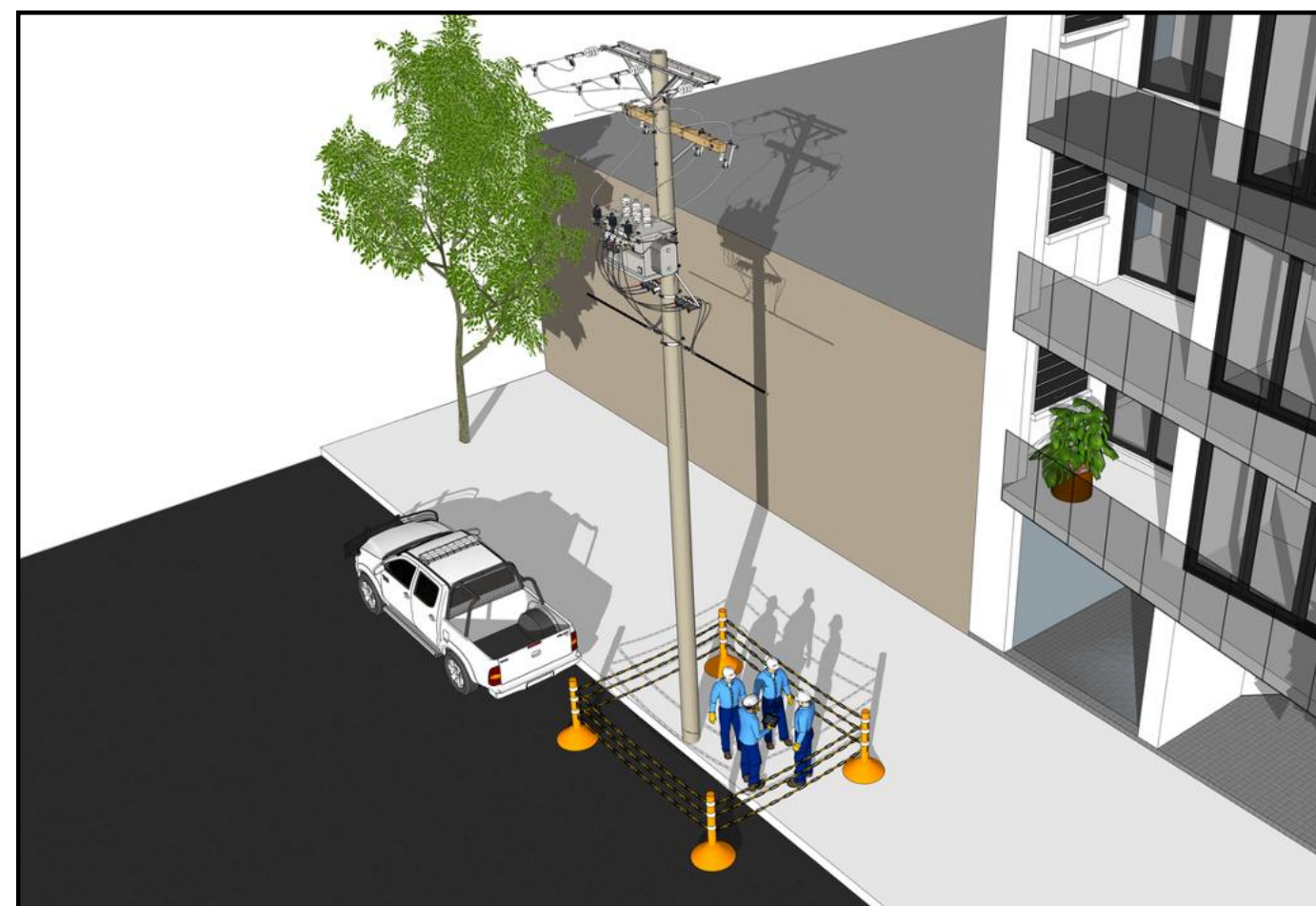


Figura 3. Planeación en sitio de trabajo para la ejecución de actividades.

D) CLASIFICACIÓN GENERAL

Tipo	Descripción	Aplicación típica	Ilustración
Aéreo	El transformador se monta sobre estructuras elevadas tipo poste, quedando expuesto a la intemperie junto con los elementos de protección y conexión.	Zonas rurales, suburbanas o urbanas.	
Tipo pedestal	El transformador está encapsulado dentro de un gabinete metálico ubicado sobre una base de concreto a nivel del suelo, accesible desde el exterior.	Urbanizaciones, zonas comerciales o sectores con control de acceso.	
Tipo local	Instalado en un cuarto eléctrico, construida en obra o prefabricada, que aloja el transformador y sus accesorios en un entorno controlado.	Instalaciones industriales, edificios habitacionales, centros comerciales, hospitales o grandes consumidores.	
Semi-sumergible	El transformador se ubica en una cámara bajo tierra o sellado en envoltente sumergible, con acceso restringido y conexiones mediante ductos.	Centros históricos, zonas patrimoniales, áreas de alta densidad urbana.	

Tabla 2. Clasificación centros de transformación

SECCIÓN

1.3.2 CLASIFICACIÓN CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

2

A continuación, se presenta la clasificación de los centros de transformación, diferenciándolos según su configuración constructiva, ubicación y características operativas. Esta clasificación permite entender las distintas soluciones técnicas disponibles, facilitando la selección adecuada según las condiciones del proyecto y los requerimientos del sistema eléctrico.



1.3.2.1 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN AÉREOS



A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Los centros de transformación aéreos son instalaciones destinadas a transformar la tensión del sistema de media tensión (comúnmente 13,2 kV) a niveles de baja tensión (como 208/120 V o 240/120 V), mediante transformadores instalados sobre estructuras elevadas tipo poste. Su objetivo principal es ofrecer una solución funcional, de bajo costo y rápida implementación para suministrar energía eléctrica en zonas rurales, suburbanas o urbanas con baja densidad de carga o con limitaciones técnicas para otras configuraciones de subestaciones.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

Para la selección y dimensionamiento del centro de transformación aéreo, se debe seguir una metodología técnica que garantice la adecuación de la solución a las necesidades del servicio y a las condiciones del entorno:

B.1. Estimación de la Demanda Máxima: Se fundamenta en el análisis detallado de la carga instalada y proyectada, considerando el tipo de usuarios (residenciales, comerciales, institucionales e industriales), así como la ubicación (urbana o rural). Para esta evaluación, se aplican factores de demanda y simultaneidad específicos, ajustados al comportamiento real del consumo energético. Este proceso debe apoyarse en las curvas de demanda proporcionadas por la Empresa de Energía de Boyacá (EBSA), las cuales reflejan el perfil típico de consumo por estrato y uso del servicio, permitiendo una aproximación más precisa del valor máximo de potencia requerida, expresado en kilovoltamperios (kVA). Este enfoque garantiza una planeación eficiente de la infraestructura eléctrica, acorde con las condiciones operativas y proyecciones de crecimiento de cada zona del sistema.

B.2. Selección del transformador: Capacidades estándar desde 15 a 300 kVA para centros de transformación aéreos urbanos, principalmente con transformadores trifásicos y con Tensiones típicas de salida de 208-120 V. Para zonas rurales, se consideran capacidades desde 3 hasta 37.5 kVA, con transformadores monofásicos con salidas de 240/120 V, incluyendo la posibilidad de instalar transformadores trifásicos según la demanda del sector y la configuración de la red. En ambos casos se debe considerar eficiencia, pérdidas y adaptación al tipo de carga según la ubicación. En áreas urbanas, se prioriza la cobertura a sectores de densidad media o alta, mientras que en zonas rurales se atiende demanda dispersa y usuarios de baja densidad con condiciones de difícil acceso, priorizando soluciones robustas y de fácil mantenimiento.

La elección debe basarse en el perfil de demanda del sector, asegurando cobertura a cargas concentradas o expansiones futuras en sectores de densidad media o alta. No obstante, se permite la instalación de transformadores monofásicos en el sector urbano únicamente para alimentar sistemas de alumbrado público, siempre que se garantice el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos, incluyendo el equilibrio de cargas entre fases, y que dicha solución esté previamente evaluada y aprobada por la dirección de zona EBSA correspondiente, en función de la topología del sistema y la planificación de la red de distribución.

B.3. Verificación del BIL (Nivel Básico de Aislamiento): el nivel básico de impulso (BIL) mínimo aceptado para transformadores tipo poste debe ser de 95 kV por media tensión, conforme a las condiciones climáticas adversas y alto nivel cerámico que se presenta en el Departamento de Boyacá, es esencial verificar que dichos valores se ajusten y se coordinen correctamente con descargadores tipo óxido de zinc clase 10 kA, de modo que la tensión residual del DPS sea inferior al BIL del transformador, permitiendo la protección efectiva del transformador frente a sobretensiones transitorias. La selección y coordinación del BIL con el descargador debe garantizar que la tensión residual del DPS sea menor al BIL del equipo protegido.

B.4. Criterios para la Selección de la Estructura de Soporte:

La instalación de transformadores tipo aéreo debe fundamentarse en su capacidad nominal (expresada en kVA), el peso total del conjunto (incluyendo transformador, herrajes, seccionadores, conectores, DPS, fusibles y accesorios), así como en la carga mínima de rotura del poste, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 3.23.3.a del Libro 3 del RETIE 2024.

B.4.1. Para transformadores de hasta 112,5 kVA con un peso menor o igual a 600 kgf, se permite su montaje sobre un solo poste de concreto, siempre que este tenga una carga mínima de rotura no inferior a 750 kgf.

NOTA IMPORTANTE

Se permite instalar transformadores mayores de 45 kVA y menores o iguales a 112,5 kVA en un único poste de fibra de vidrio con capacidad igual o superior a 750 kgf, siempre que se incorpore silleta y que los cálculos estructurales demuestren el factor de seguridad mínimo exigido, sin exceder las cargas ni la deflexión admisible del fabricante o la normativa vigente.

B.4.2. En el caso de transformadores con capacidad entre 150 kVA y 250 kVA, y peso total no superior a 800 kg, su instalación en un solo poste es admisible únicamente si el poste presenta una resistencia mínima de rotura de 1.050 kgf. Adicionalmente, se debe validar que el transformador disponga de soportes adecuados para montaje con collarín sobre un solo poste. En caso de que los radiadores u otros elementos estructurales imposibiliten esta configuración, deberá optarse por una estructura tipo H que garantice el soporte mecánico adecuado y el cumplimiento normativo.

B.4.3. Cuando el transformador tiene una capacidad superior a 250 kVA o el conjunto excede los 800 kgf, se requiere la utilización de una estructura tipo H o doble poste, en la cual cada uno debe tener una carga mínima de rotura de 1.050 kgf, debiendo evaluarse el diseño estructural de manera integral para asegurar la estabilidad mecánica, el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad y la conformidad con el RETIE 2024.

B.5. Protecciones eléctricas:

B.5.1. Protecciones en Media Tensión: Es obligatorio instalar cortacircuitos portafusible y descargadores de sobretensión (DPS) en el primario del transformador tipo poste/pedestal. El RETIE exige, como mínimo, protección contra sobrecorriente en el primario (DPS) e instalados lo más cerca posible de los borneras de MT del transformador.

B.5.1. Protecciones en Baja Tensión: instale DPS y fusibles NH (limitadores de corriente) en estructura metálica, con selección de calibre basada en estudio de carga, corriente nominal y capacidad de ruptura; aplicar criterios de la NTC 2050 / Sección 450 para transformadores (protecciones en primario y secundario cuando aplique).

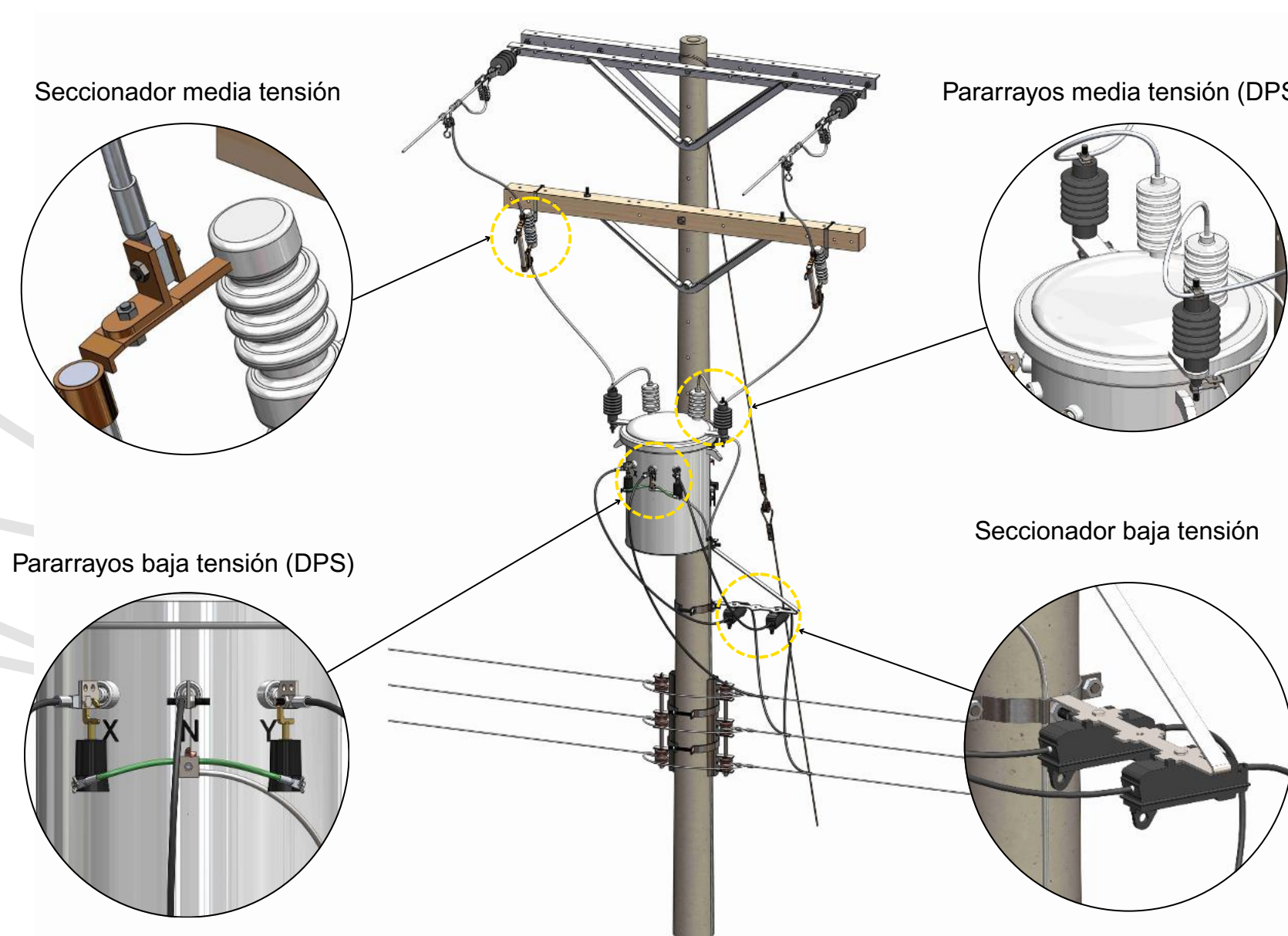


Figura 4. Ejemplo de implementación de protecciones eléctricas en transformadores monofásicos.

B.6. Condiciones generales Centros de Transformación Aéreos Rurales: Todo transformador en zona rural debe contar con un punto de arranque independiente que permita su seccionamiento o maniobra sin afectar otras cargas o transformadores conectados al sistema. En zonas rurales, los transformadores deben ubicarse en sitios de fácil acceso para labores de operación y mantenimiento, garantizando al mismo tiempo que no representen riesgo para personas no autorizadas ni para el entorno circundante. Asimismo, debe asegurarse la facilidad de operación de los dispositivos de seccionamiento, permitiendo su accionamiento seguro, visible y sin interferencias físicas, cumpliendo con las distancias mínimas de seguridad establecidas y permitiendo su maniobrabilidad directa desde la vía pública o camino de acceso.

NOTA IMPORTANTE

No se permite la instalación de centros de transformación tipo aéreo directamente bajo el corredor de red eléctrica de un alimentador principal rural, con el fin de evitar interferencias operativas e interrupciones a de más transformadores aguas abajo que dependan del mismo circuito y que afecten los indicadores de calidad del servicio de EBSA. De igual forma busca mitigar los riesgos asociados al incumplimiento de las distancias mínimas de seguridad permitiendo condiciones adecuadas para labores de mantenimiento, maniobras operativas y la protección del personal técnico, conforme a las disposiciones del RETIE 2024 en materia de distancias de seguridad y accesibilidad.

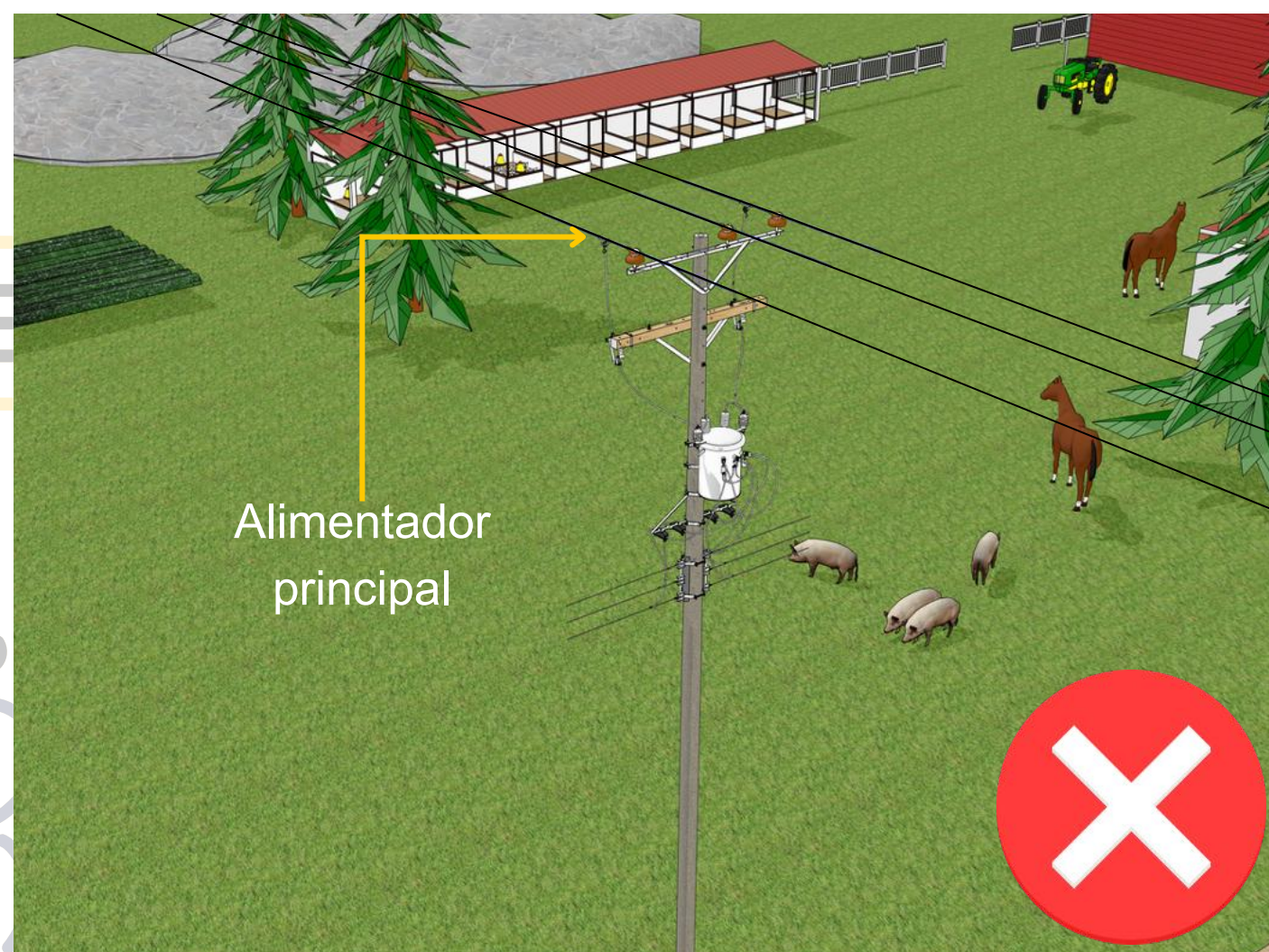


Figura 5. Ejemplo de restricción en instalación de transformadores rurales bajo el corredor de red del alimentador principal

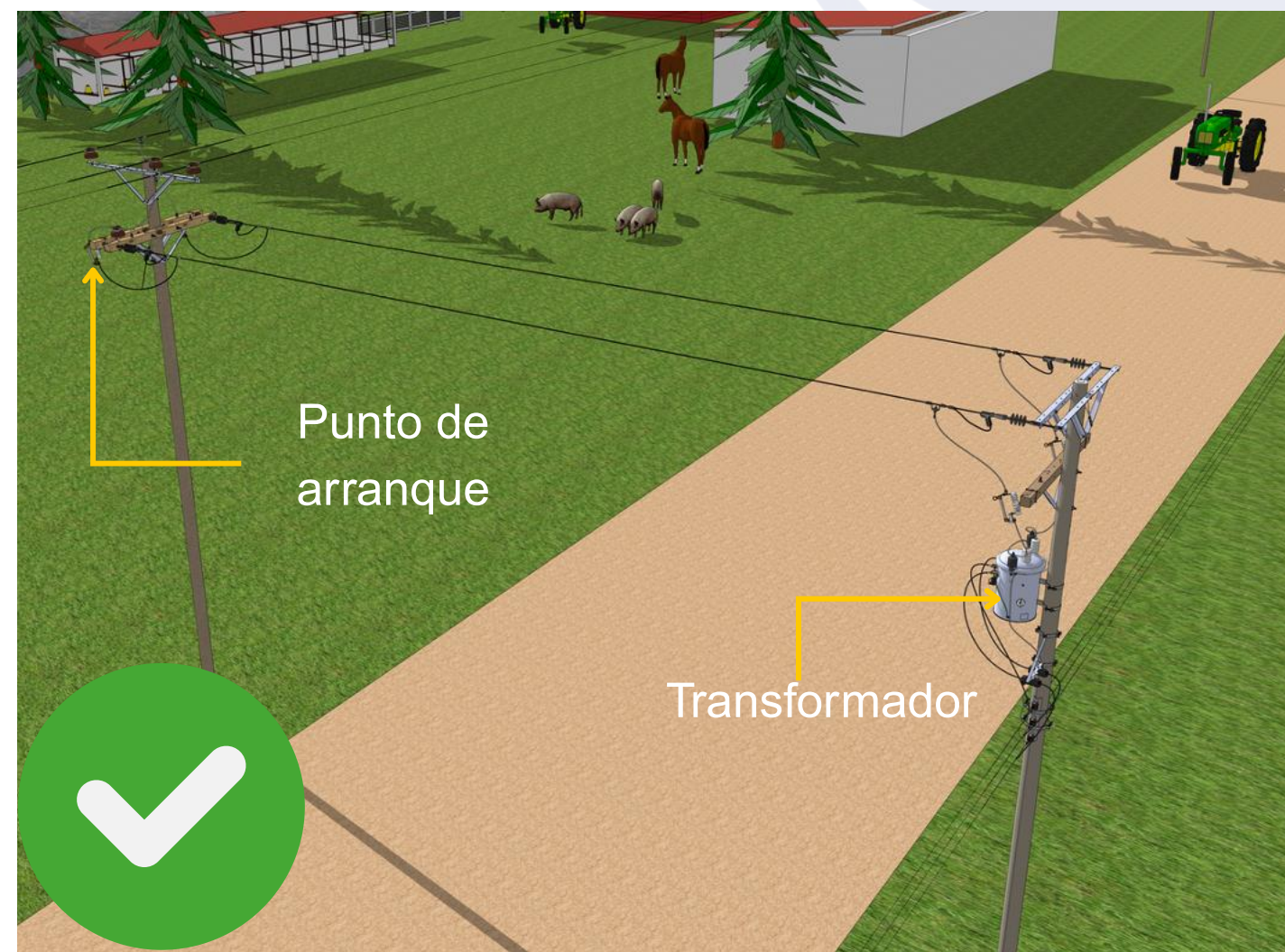


Figura 6. Ejemplo de diseño de transformador con protección independiente al corredor de red principal. (Arranque)

NOTA IMPORTANTE

En zonas rurales, se recomienda evitar la instalación de transformadores en los puntos topográficos más elevados del terreno, con el objetivo de minimizar la exposición directa a descargas atmosféricas. Esta medida se basa en que los puntos más altos del terreno tienen mayor probabilidad de ser alcanzados por descargas atmosféricas, lo que incrementa el riesgo de sobreTensiones transitorias. Al ubicar los transformadores en zonas menos expuestas, se disminuye este riesgo, se mejora la confiabilidad del sistema y se facilita el acceso para labores de mantenimiento, operación y seguridad del personal operativo.

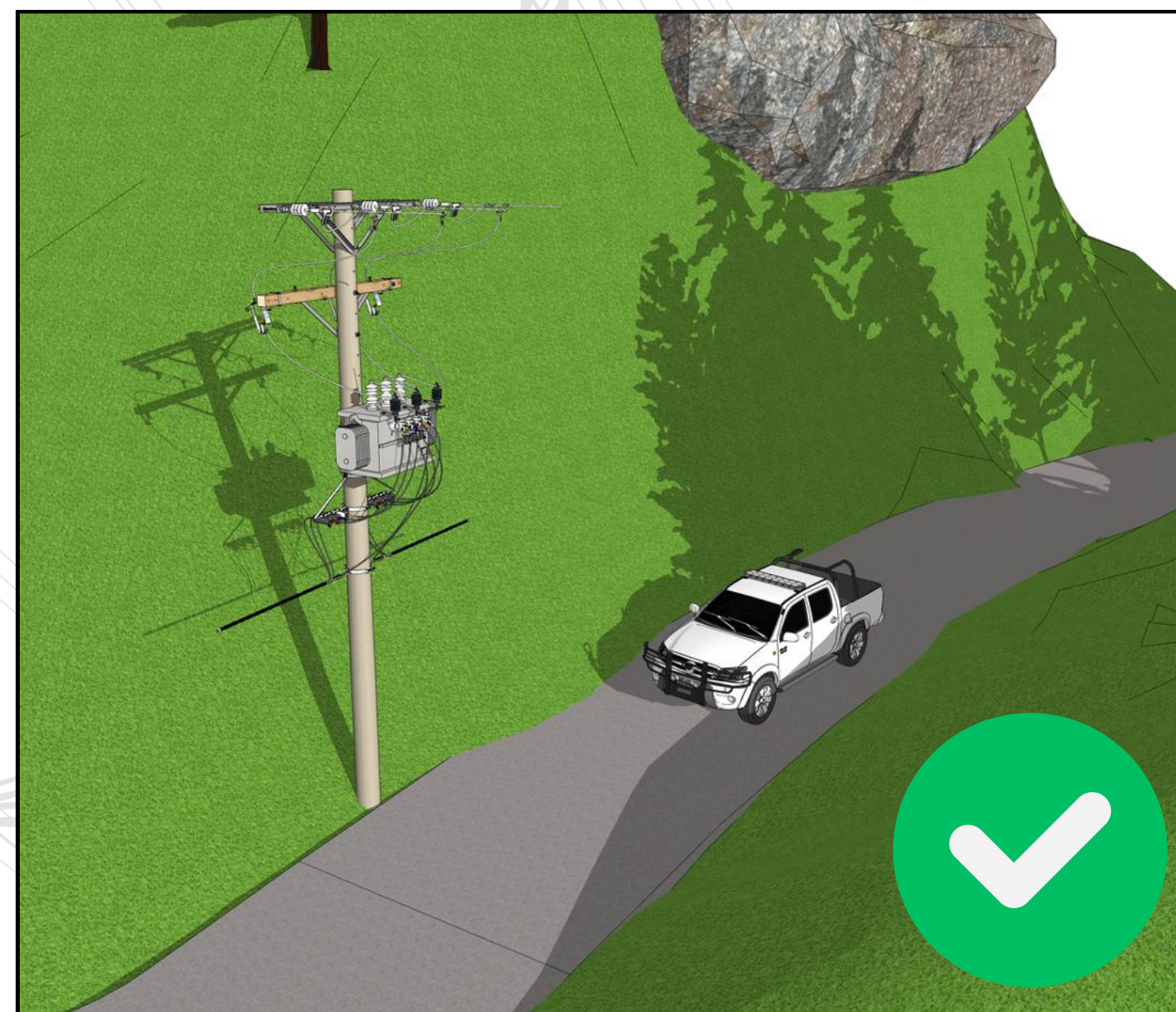
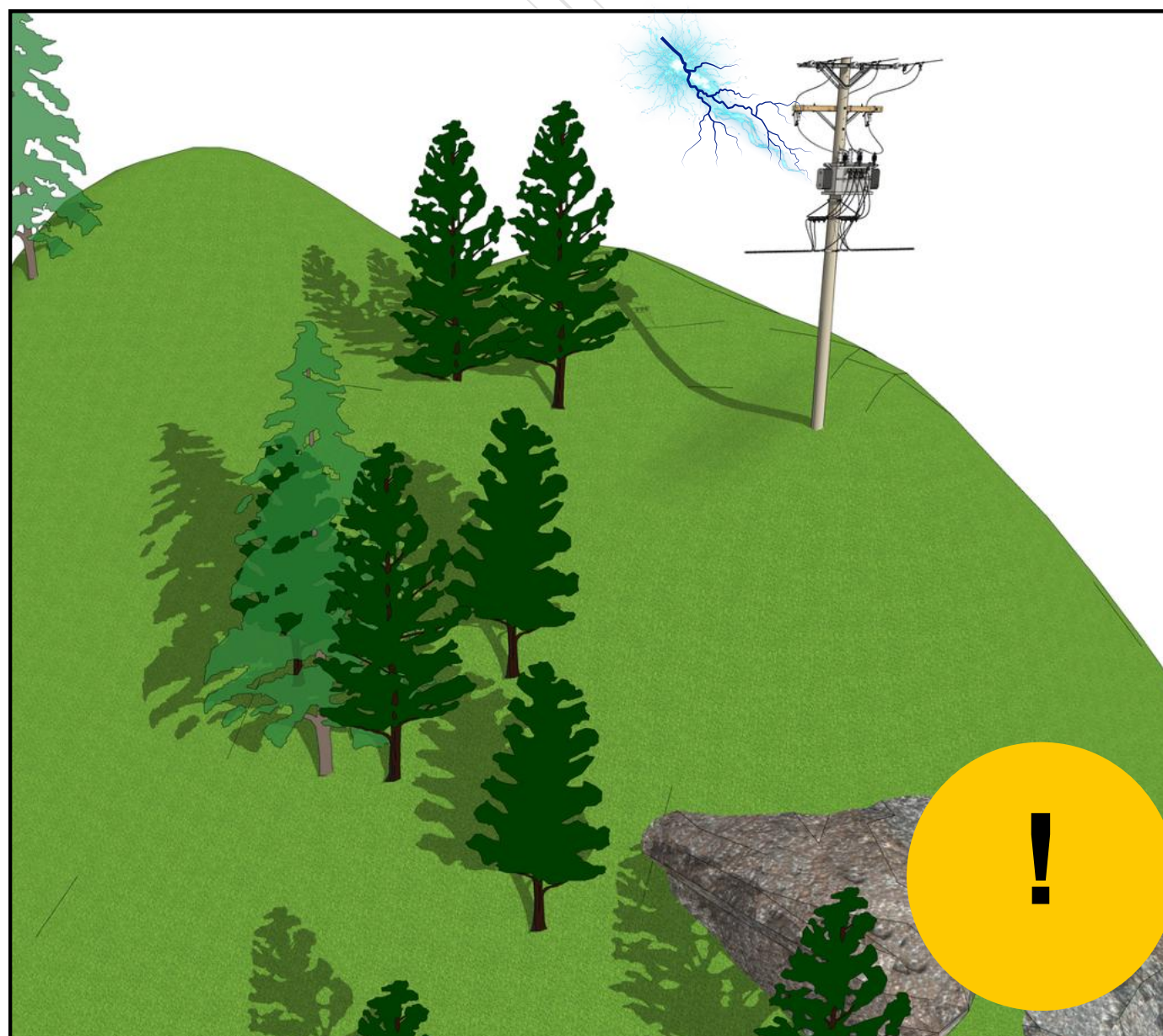


Figura 7. Altura del terreno como factor de riesgo para descargas atmosféricas

B.7. Condiciones generales Centros de Transformación Aéreos Urbanas: En zonas urbanas, los transformadores deben ubicarse en sitios de fácil acceso desde la vía pública para labores de operación y mantenimiento, evitando interferencias con edificaciones, vías peatonales o redes existentes, y garantizando el cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad.



Figura 8. Transformador mal ubicado: dificultad en accesibilidad, inseguridad operativa y cruce de peatones



Figura 9. Ubicación adecuada del transformador: optimización del espacio peatonal, seguridad operativa y libre circulación del espacio público.

- Todo transformador en zona urbana debe contemplar la plena independización de su ramal de conexión instalando protecciones de línea y del equipo transformador con el fin de permitir su seccionamiento o maniobra sin afectar otras cargas o transformadores conectados al sistema.
- Se debe asegurar la facilidad de operación de los dispositivos de seccionamiento, permitiendo su maniobrabilidad segura, visible y sin interferencias físicas, directamente desde la vía o andén.
- No se permite la instalación de transformadores tipo aéreo directamente bajo alimentadores principales o redes troncales, con el fin de evitar interferencias operativas y mitigar riesgos asociados a mantenimiento o fallas.
- En zona urbana se deben instalar exclusivamente transformadores trifásicos.



Figura 10. Ejemplo de diseño de transformador con protección independiente al corredor de red principal. (Arranque)

NOTA IMPORTANTE

En zonas urbanas, la instalación de estructuras tipo H está sujeta a restricciones establecidas por el OR EBSA, principalmente debido al impacto que generan sobre el espacios públicos, los andenes y las franjas de servidumbre. Este tipo de estructura solo podrá emplearse cuando se demuestre la inviabilidad técnica del diseño en la implementación de un solo poste. No obstante, su instalación podrá ser permitida en áreas con uso industrial, donde las condiciones del entorno no generan conflictos significativos con el espacio público y en cumplimiento de las distancias mínimas de seguridad regidas por el RETIE.

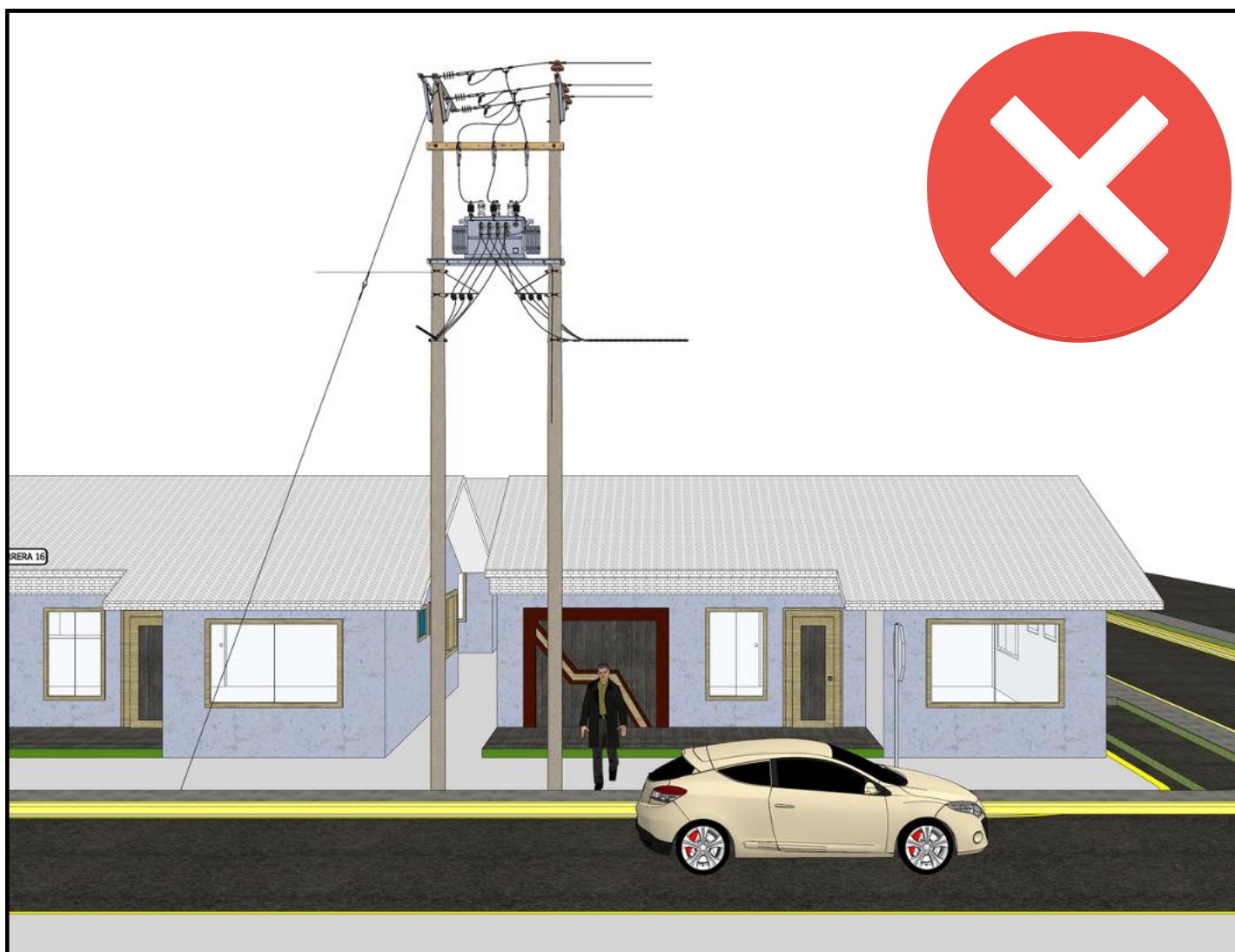


Figura 11. Uso restringido de estructuras tipo H en zonas urbanas

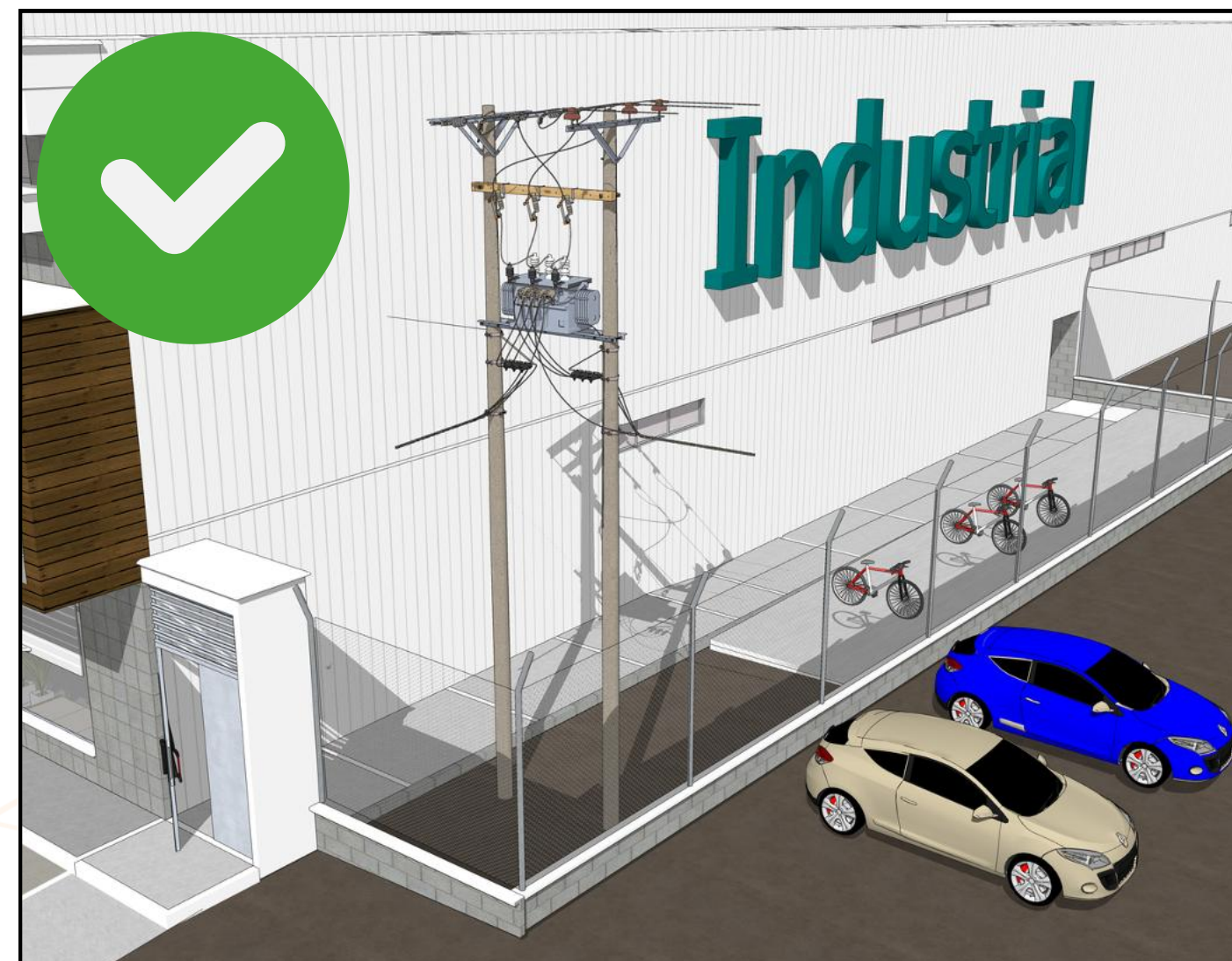


Figura 12. Instalación viable: Estructura tipo H en zona urbana con uso industrial.

C) TABLAS DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

A continuación, en la tabla 3 se presentan los criterios de diseño estructural asociados a los tipos de centros de transformación aéreos más comunes en EBSA para instalación en sectores rurales o urbanos, conforme a los requisitos establecidos en el RETIE 2024.

Tipo de Transformador	Capacidad del Transformador (kVA)	Cantidad Postes / Estructura Recomendada		Resistencia Mínima del Poste (kgf)	Peso del Transformador	Tipo de Estructura
		Concreto 12 m	Fibra Vidrio 12 m			NORMA EBSA
Monofásico rural	Menor o igual a 37,5 kVA	1	1	Mayor o igual a 510 kgf	Menor a 600 kg	CT-2012/CT2022
Trifásico Rural	Menor o igual a 45 kVA	1	1	Mayor o igual a 510 kgf	Menor a 600 kg	CT-2014/CT-2022
Trifásico Rural	Mayor 45 kVA y Menor o Igual a 112,5 KVA	1	2 (*)	Mayor o igual a 750 kgf	Menor a 700 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Rural	Mayor 112,5 kVA y Menor o Igual a 150 KVA	1	2	Mayor o igual a 1050 kgf	Menor a 800 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Rural	Mayor 150 kVA y Menor o Igual a 250 kVA	1	2	Mayor o igual a 1050 kgf	Menor a 800 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Rural	Mayor 250 kVA y Menor o Igual a 300 kVA	2	2	Mayor o igual a 1050 kgf	Menor a 800 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Urbano	Mayor 45 kVA y Menor o Igual a 112,5 kVA (*)	1	N/A	Mayor o igual a 750 kgf	Menor a 700 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Urbano	Mayor 112,5 kVA y Menor o Igual a 150kVA	1	N/A	Mayor o igual a 750 kgf	Menor a 700 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Urbano	Mayor 150 kVA y Menor o Igual a 250 kVA	1	N/A	Mayor o igual a 1050 kgf	Menor a 800 kg	CT-2014/CT-2024
Trifásico Urbano	Mayor 250 kVA y Menor o Igual a 300 kVA	2	N/A	Mayor o igual a 1050 kgf	Menor a 800 kgf	CT-2014/CT-2024

Nota:

- Los centros de transformación instalados sobre postería de fibra deben contar con templetes de línea de soporte, independientemente de la resistencia estructural del poste
- Se permite instalar de transformadores mayores de 45 kVA y menores o iguales a 112,5 kVA en un único poste de fibra de vidrio, siempre que se incorpore silleta y que los cálculos estructurales demuestren el factor de seguridad mínimo exigido, sin exceder las cargas ni la deflexión admisible del fabricante o la normativa vigente.

Tabla 3. Criterios de selección del tipo de estructura recomendada para centros de transformación aéreos.

La siguiente tabla muestra la a selección de los dispositivos de protección contra sobreTensiones (DPS) tanto en media como en baja tensión el cual se basa en: el nivel de corriente de cortocircuito del sistema, el nivel básico de impulso (BIL) soportado por los equipos, la adecuada coordinación entre los dispositivos de protección y los estándares de confiabilidad exigidos para la instalación. Este proceso debe seguir los lineamientos técnicos establecidos en el RETIE 2024 y los estándares IEEE aplicables, con el fin de garantizar una respuesta eficaz ante eventos transitorios y preservar la integridad de los activos eléctricos.

Nivel de Tensión del Transformador tipo aéreo	Nivel de BIL (kV)	Tipo de DPS Recomendado	Corriente Nominal de Descarga (In)	Tensión Nominal del DPS (Uc)	Up (Nivel de Protección Residual)
13,2 kV	95 kV	Ciclo pesado, óxido de zinc 10kA – 15 kV	10 kA	15 kV	≤ 75 kV
208/120 V	30 kV	Ciclo ligero 5kA – 275 V	5 kA	275 V	≤ 1,4 kV

Tabla 6. Recomendaciones de selección de DPS para transformadores tipo aéreo según nivel de tensión y BIL

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

D.1. Selección de ubicación

- D.1.1.** En zonas rurales, se debe evitar la instalación de transformadores en los puntos topográficos más altos del terreno, debido a su mayor exposición a descargas atmosféricas. En caso de que no haya alternativa, se deben implementar medidas adicionales de protección como apantallamiento o descargadores de alta energía.
- D.1.2.** En zonas urbanas, se recomienda ubicar los transformadores en puntos cercanos a vías vehiculares o peatonales, facilitando el acceso para labores de operación, inspección y mantenimiento por parte del personal técnico.
- D.1.3.** Es obligatorio asegurarse de que el transformador no se ubique directamente bajo redes troncales o alimentadores principales, con el fin de prevenir interferencias operativas y reducir riesgos durante labores de mantenimiento o maniobra por parte del personal técnico.

D.2. Protección y seccionamiento

- D.2.1.** Cada transformador debe contar con un punto de arranque independiente, que permita su seccionamiento sin afectar la continuidad del servicio a otros usuarios o transformadores vecinos.
- D.2.2.** Se deben instalar descargadores de sobretensión (DPS) debidamente coordinados con el nivel básico de impulso (BIL) del transformador, asegurando que la tensión residual del DPS esté por debajo del valor de impulso soportado por el equipo.
- D.2.2.** En el lado de baja tensión, se recomienda utilizar fusibles tipo NH con portafusibles de montaje horizontal, lo que facilita su reemplazo y garantiza una desconexión rápida y segura en caso de cortocircuito.

D.3. Balance y planificación de carga

D.3.1. En zonas urbanas, se deben instalar exclusivamente transformadores trifásicos. El uso de transformadores monofásicos queda restringido únicamente a sistemas de alumbrado público, previa justificación técnica y autorización de la Dirección de Zona de EBSA.

D.3.2. En zonas rurales, es indispensable mantener un balance adecuado de cargas entre fases, con el fin de evitar desbalances que puedan comprometer el rendimiento y la vida útil del transformador.

IMPORTANTE

- **La ubicación del transformador es determinante para garantizar la seguridad eléctrica y la eficiencia operativa:** En zonas rurales, se debe evitar su instalación en puntos topográficamente elevados por su mayor exposición a descargas atmosféricas. En zonas urbanas, no deben ubicarse directamente bajo alimentadores principales, para prevenir interferencias operativas y facilitar las maniobras técnicas.
- **Cada transformador debe contar con un punto de arranque independiente:** Esto permite su seccionamiento sin afectar el suministro a otros usuarios o transformadores, contribuyendo a una operación segura y continua del sistema.
- **Es fundamental la adecuada coordinación entre el BIL del transformador y los DPS:** La tensión residual del descargador debe ser inferior al nivel de impulso soportado por el equipo, asegurando así su protección efectiva frente a sobreTensiones.
- **En baja tensión se debe priorizar el uso de fusibles NH:** Su instalación en portafusibles horizontales facilita el reemplazo y permite una desconexión rápida ante fallas, elevando el nivel de seguridad y operatividad del sistema



1.3.2.2 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN TIPO PEDESTAL O PAD-MOUNTED



A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Los centros de transformación tipo pedestal, también denominados subestaciones pad-mounted, son unidades compactas prefabricadas diseñadas para instalación en interiores o exteriores sobre base de concreto, y orientados a sistemas de distribución subterránea residencial y comercial. Su principal objetivo es proporcionar una solución segura, eficiente y confiable para la transformación y distribución de energía eléctrica en sistemas subterráneos o combinados, integrando en un solo equipo la funcionalidad de una subestación tradicional, pero en un formato compacto, seguro y estéticamente adecuado para espacios públicos.

Estas subestaciones cuentan con envoltentes herméticos en materiales resistentes que protegen los componentes internos frente a agentes ambientales, vandalismo y corrosión (Figura 13), en cumplimiento con las normas IEEE C57.12.28 y C57.12.29. Incorporan refrigeración mediante aceite dieléctrico, que asegura el control térmico del núcleo y los devanados, favoreciendo su operación segura y prolongando su vida útil.

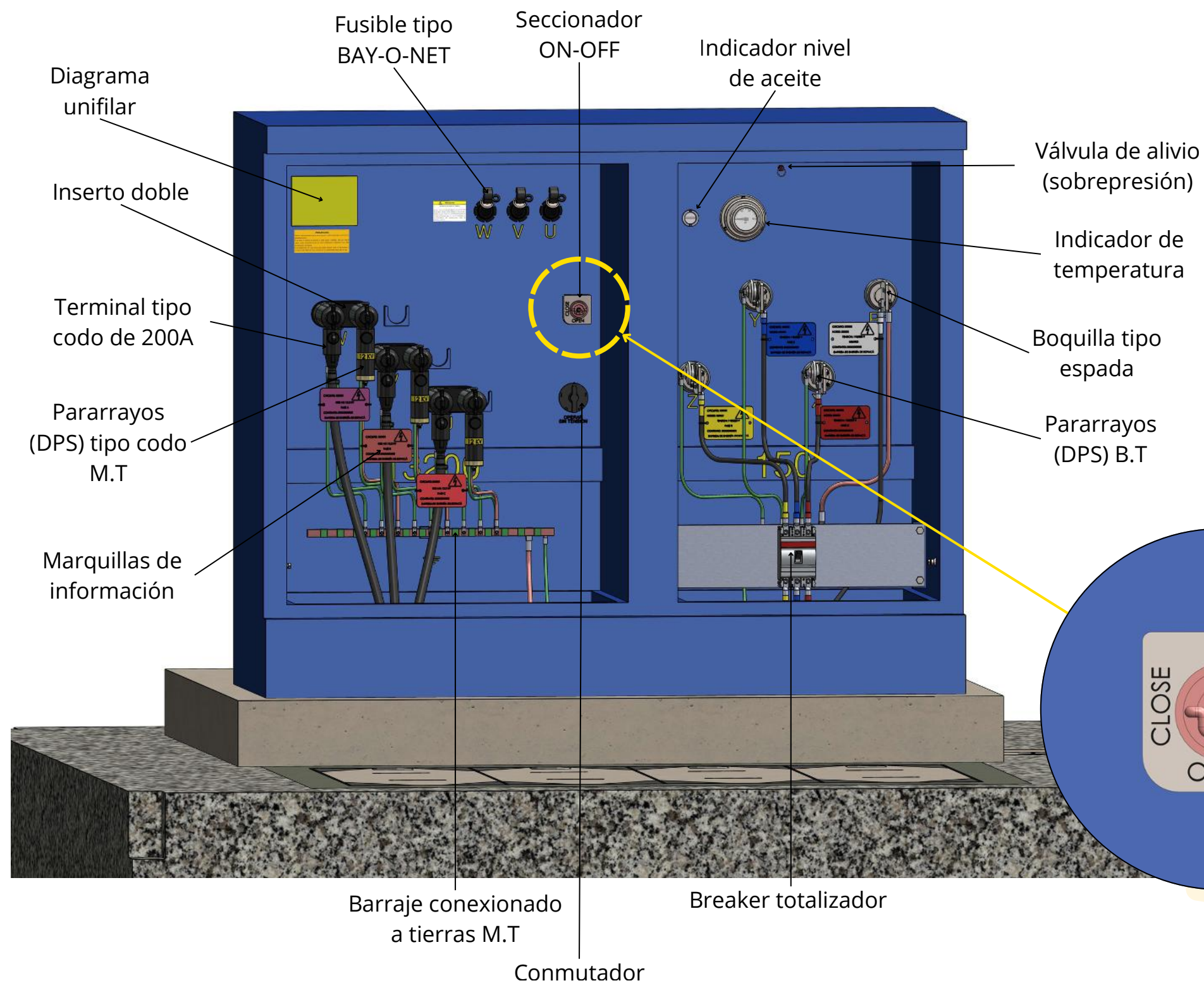
El diseño debe cumplir estrictamente con los requisitos de seguridad definidos en el RETIE 2024, Libro 3, Título 22 y Artículo 3.23.4, garantizando:

- Protección mecánica adecuada.
- Accesibilidad restringida a personal calificado.
- Adecuada ventilación para disipación térmica natural o forzada.
- Coordinación de protecciones internas en media y baja tensión.
- Sistema de puesta a tierra integral.
- Distancias mínimas de seguridad y señalización visible.

Los centros de transformación tipo pedestal pueden ser de dos configuraciones principales:



Figura 13. Encerramiento para transformador tipo pedestal.



A.1. Tipo Radial: configuración donde el transformador es alimentado por una sola fuente de energía, sin continuidad hacia otros equipos. Si la fuente de alimentación falla o se interrumpe, el suministro eléctrico del transformador también se interrumpe.

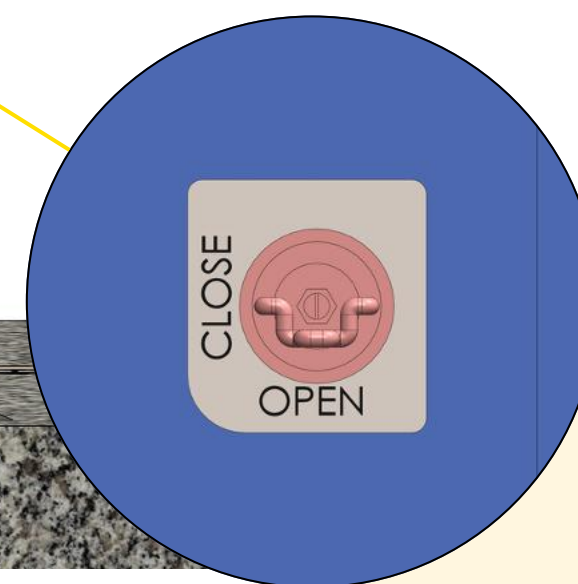
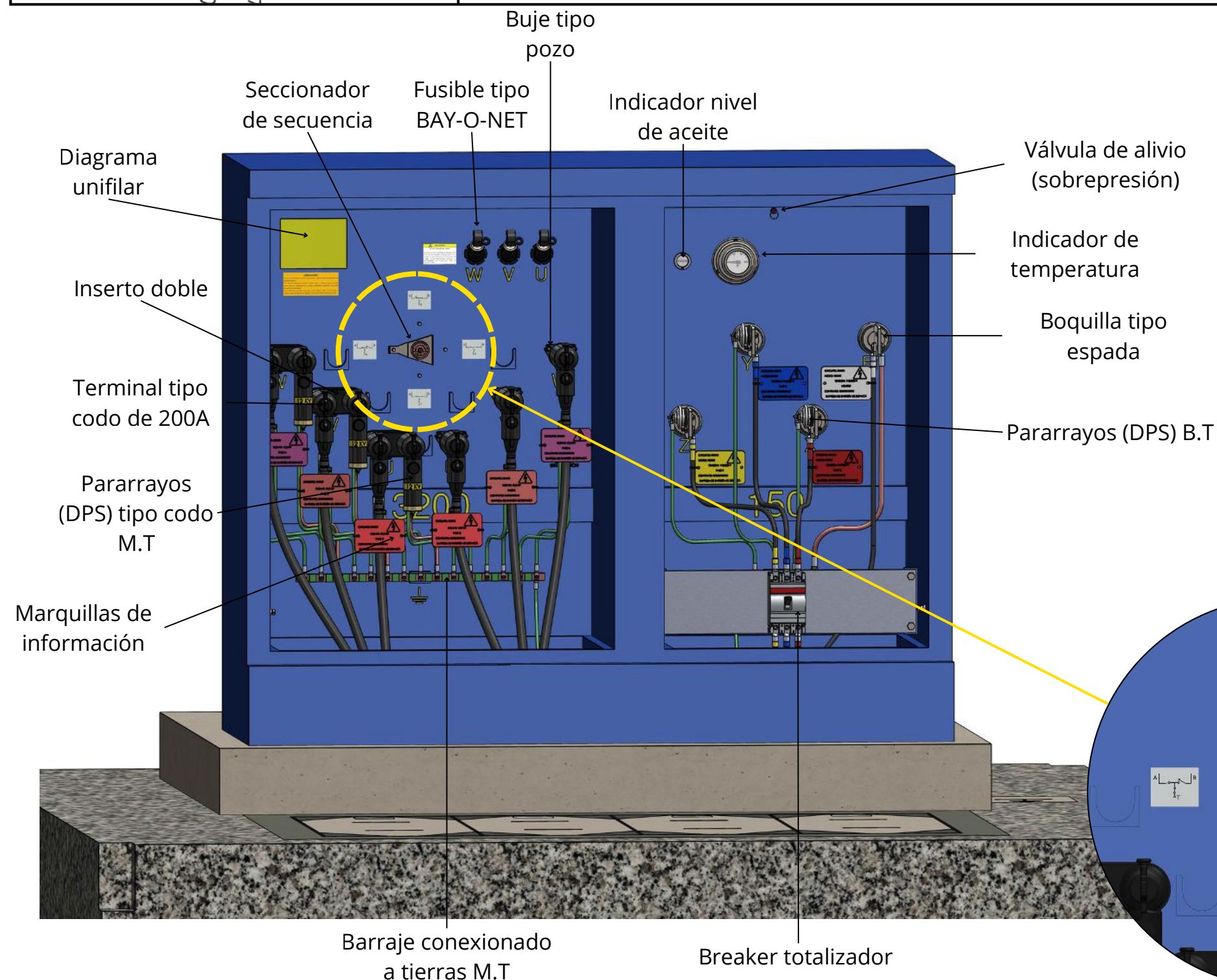


Figura 14. Transformador tipo radial.



A.2. Tipo Malla o Anillo: El transformador puede ser alimentado por dos fuentes diferentes y formar parte de un sistema de distribución interconectado con otros transformadores. La ventaja de esta configuración es que, si una de las fuentes falla, la otra puede mantener energizados y operativos los transformadores interconectados mientras se corrige la falla. De igual manera, si el transformador afectado es uno de los que conforman el anillo, la interrupción será únicamente por el tiempo necesario para seccionarlo y aislarlo, manteniendo en funcionamiento el resto del sistema. Esta disposición asegura la continuidad operacional de la red, siendo ideal para cargas críticas o de alta confiabilidad.

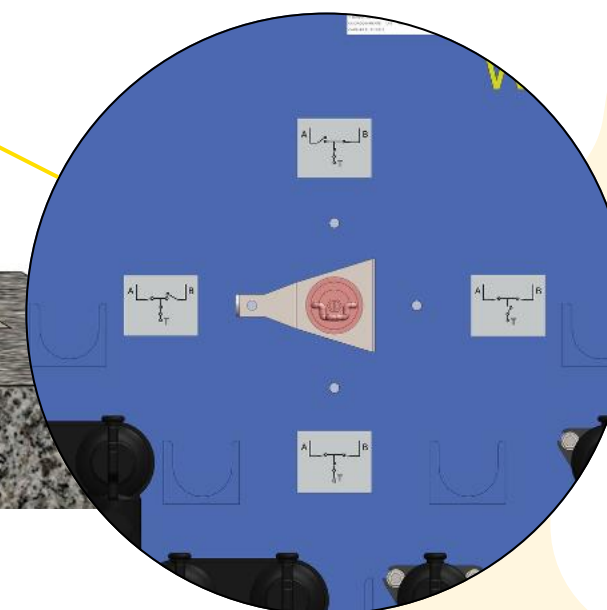
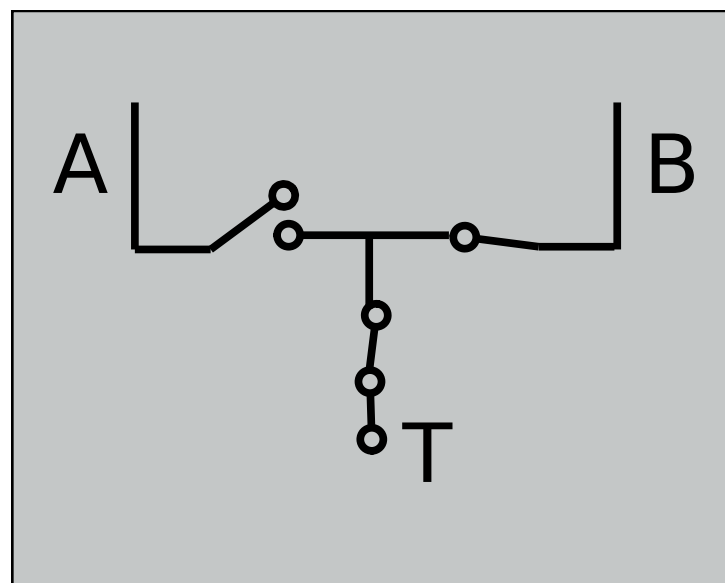


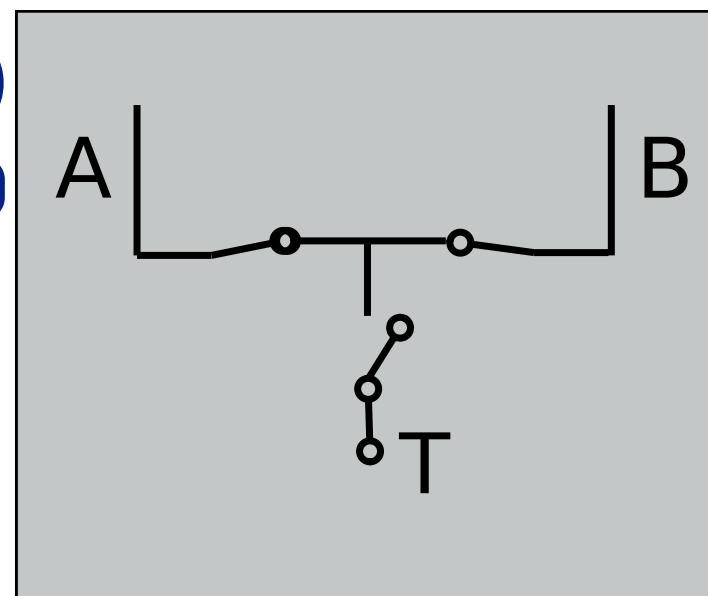
Figura 15. Transformador tipo malla.

1



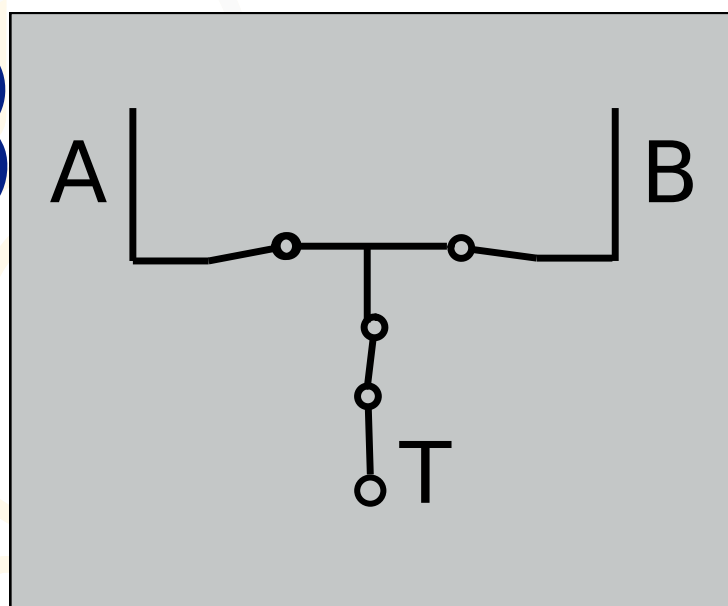
Entrada B y transformador energizado, entrada A desenergizada.

2



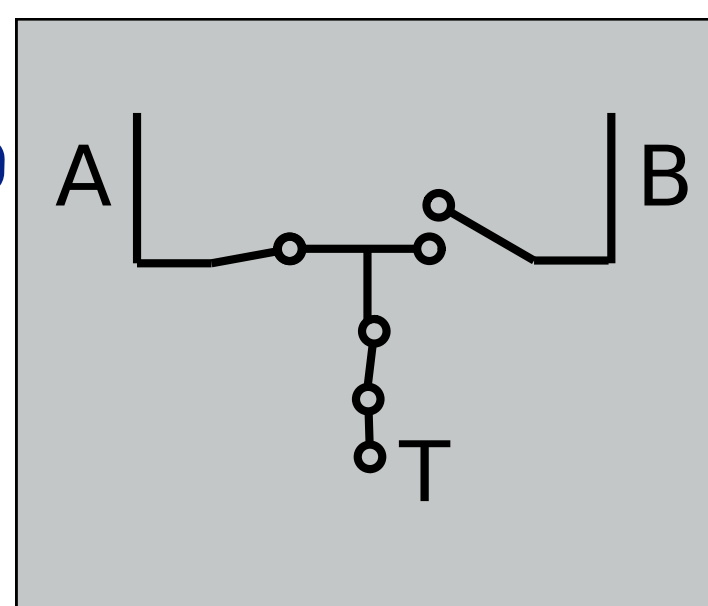
Transformador abierto desenergizado y anillo cerrado energizado.

3



Transformador y anillo cerrado energizado.

4



Entrada A y transformador energizado, entrada B desenergizada.

A.2.1. Configuración de transformador tipo pedestal en malla: La figura 16, ilustra las configuraciones típicas del seccionador de secuencia en transformadores pedestal tipo malla, utilizadas para controlar la alimentación del transformador y gestionar el flujo de energía dentro del anillo de media tensión:

- En la primera configuración, el transformador es alimentado únicamente desde la entrada B, mientras la entrada A permanece desenergizada. Esta disposición permite alimentar el transformador desde un solo extremo del anillo.
- En la segunda configuración, el transformador permanece abierto y desenergizado, mientras el anillo se mantiene cerrado y energizado. Esta posición se usa cuando es necesario realizar mantenimiento al transformador sin interrumpir la continuidad eléctrica del anillo.
- En la tercera configuración, tanto el transformador como el anillo permanecen cerrados y energizados, permitiendo el paso continuo de energía a través de ambas entradas y asegurando redundancia en la alimentación.
- En la cuarta configuración, el transformador es alimentado desde la entrada A, mientras la entrada B queda desenergizada, operando de forma inversa a la primera posición.

Nota:

- Las configuraciones del seccionador de secuencia en el transformador pedestal tipo malla varían según el fabricante.

Figura 16. Configuraciones seccionador de secuencia transformador pedestal tipo malla.

B) CONSIDERACIONES RELEVANTES

La instalación del transformador tipo pedestal, tanto en interiores como en exteriores, debe realizarse en un sitio de fácil acceso que permita el ingreso y retiro del equipo mediante el uso de vehículo grúa o montacargas. Conforme a la misma normativa, no se debe permitir el uso del área de acceso al encerramiento como parqueadero, zona de almacenamiento ni depósito de materiales, garantizando así su libre disponibilidad para maniobras, inspecciones y mantenimientos.

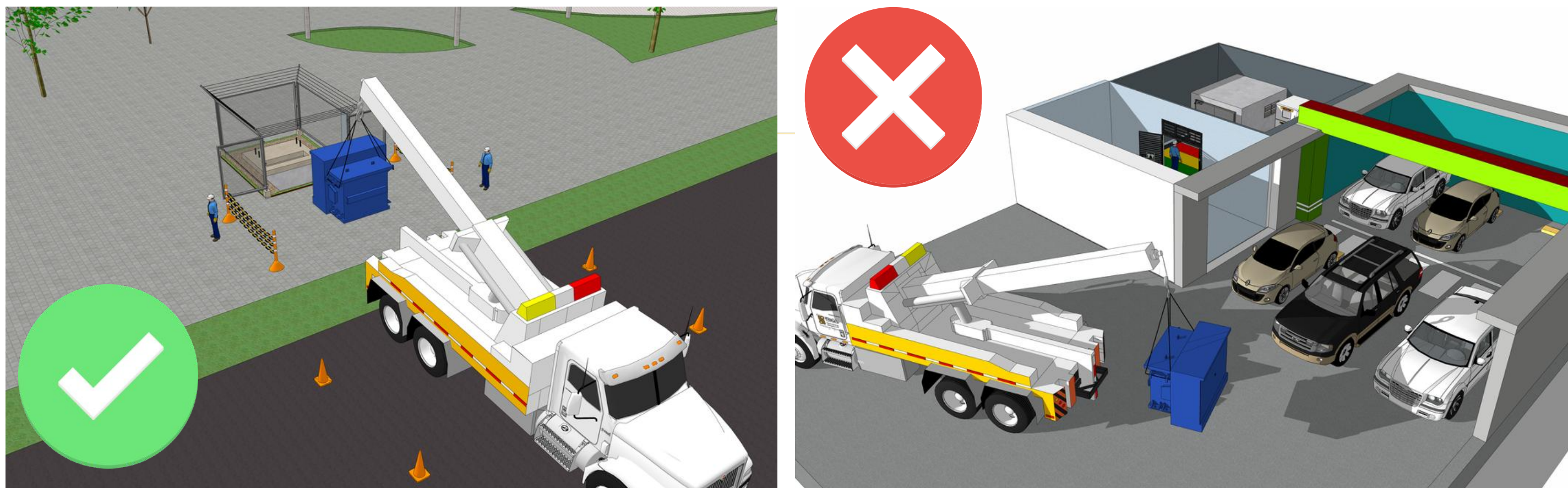


Figura 17. Acceso despejado para instalación de transformador tipo pedestal VS acceso obstaculizado para instalación.

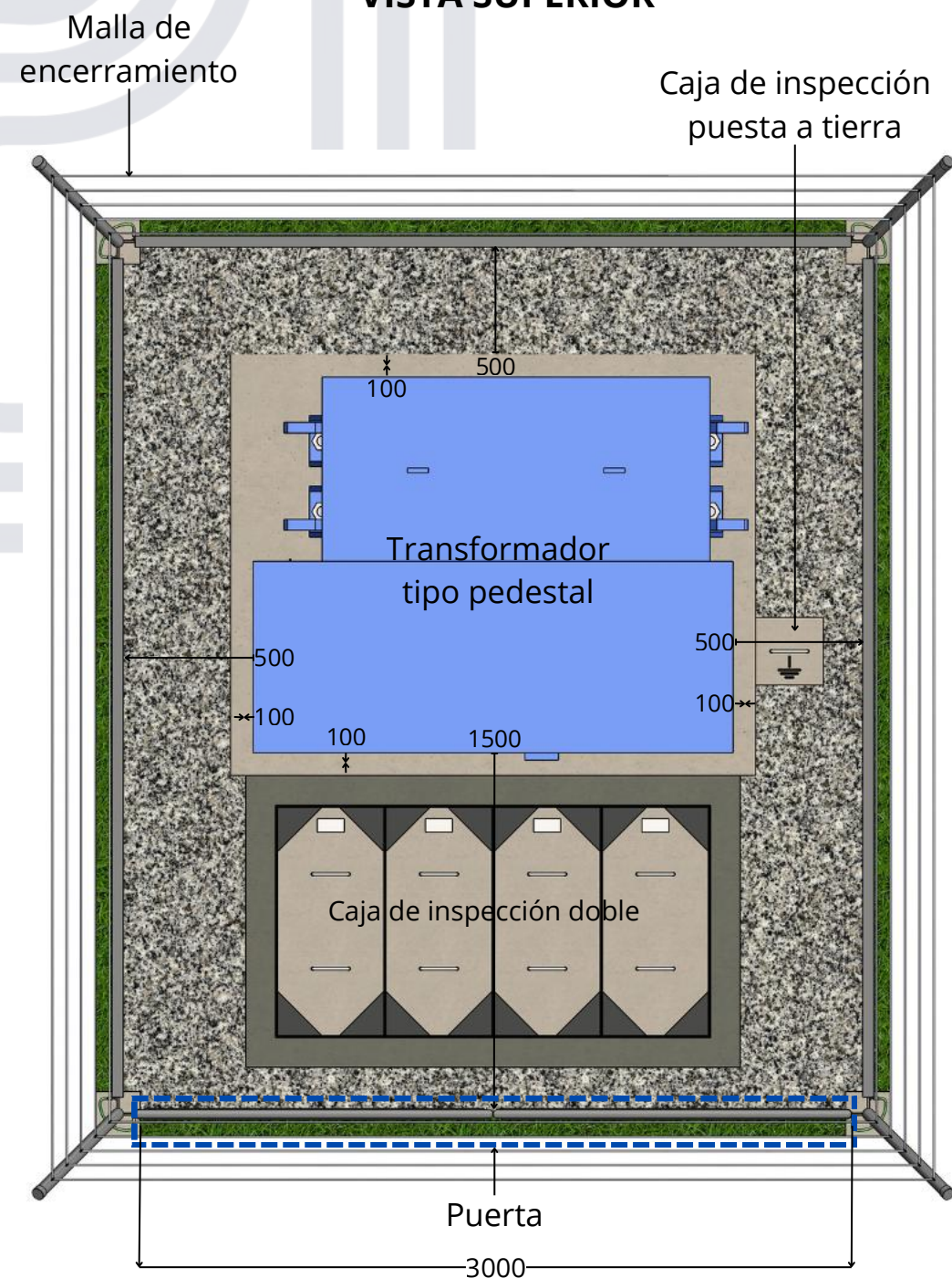
Cuando el transformador se ubique en interiores, el cuarto eléctrico debe contar con ventilación adecuada, acceso restringido, medios de desconexión visibles, y debe cumplir con los requisitos establecidos en el RETIE y la NTC 2050 en cuanto a espacios de trabajo, confinamiento térmico, y seguridad eléctrica. Para transformadores refrigerados en aceite, se deberá garantizar que el cuarto eléctrico cuente con resistencia al fuego mínima de tres horas, drenaje para contención de líquidos, puertas cortafuego con resistencia mínima de tres horas, dampers cortafuego para ductos de ventilación, y pasamuros sellados resistentes al fuego para el paso de conductores eléctricos, todo conforme a lo exigido por el artículo 450.23 de la NTC 2050 y el artículo 3.23.4 del RETIE 2024.

Los transformadores tipo pedestal en exteriores deben contar con un encerramiento perimetral que limite el acceso de personas no autorizadas y brinde protección física al equipo. El RETIE 2024, Libro 3, Título 22, exige que este encerramiento sea una barrera física resistente. Esta barrera física es obligatoria para las instalaciones eléctricas expuestas al público y debe cumplir adicionalmente con las condiciones de señalización, protección contra vandalismo y fácil inspección visual del equipo.

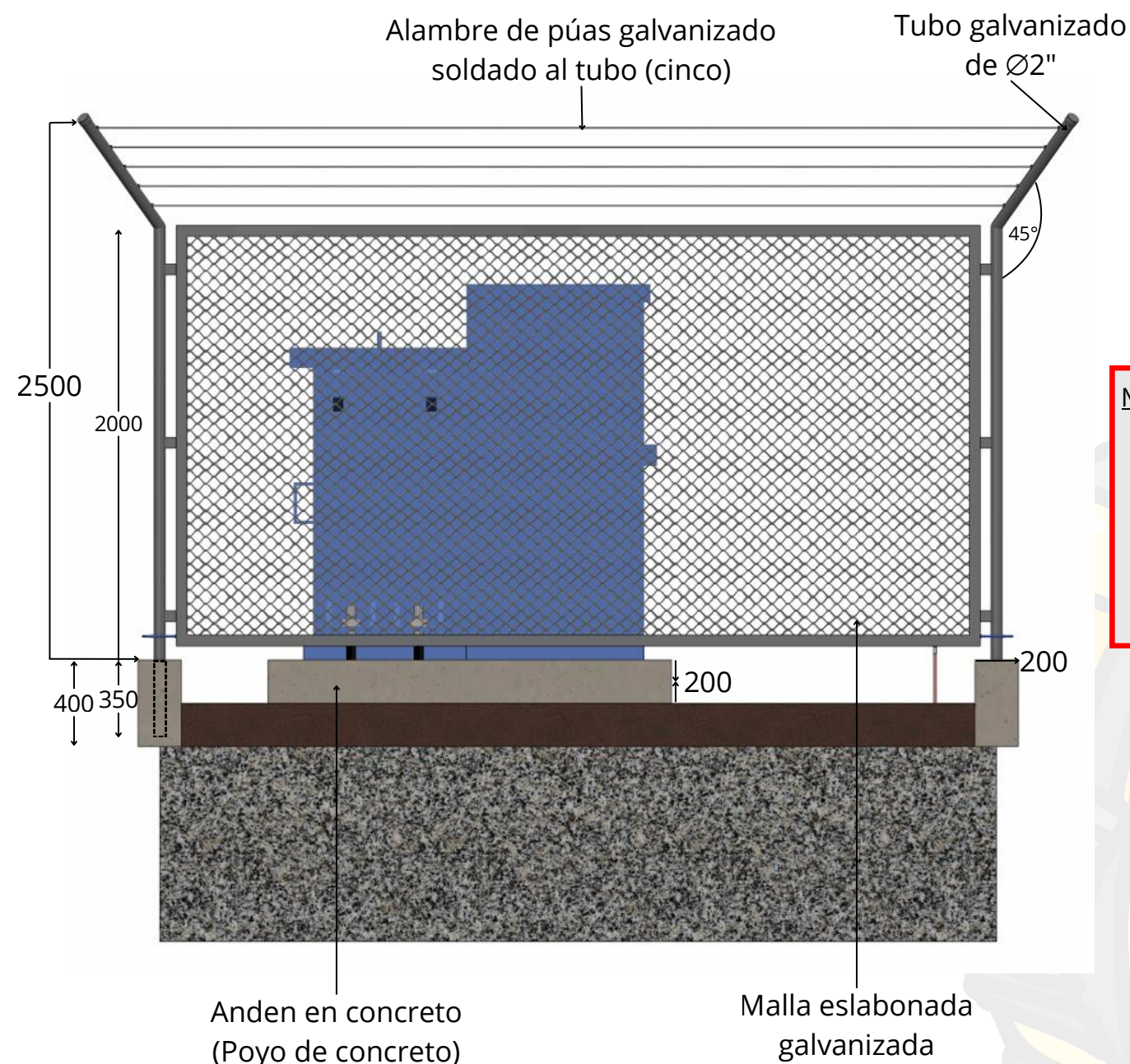


Figura 18. Ejemplo de seguridad perimetral en subestación tipo pedestal: Caso de aceptación VS caso de prohibición.

VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



Nota:

- Todas las medidas están expresadas en milímetros (mm).
- El diseño del encerramiento varía según las dimensiones del transformador.

Figura 19. Detalle constructivo de encerramiento para transformador tipo pedestal.

C) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

C.1. Selección del Transformador

C.1.1. La estimación de la demanda máxima: Se fundamenta en el análisis detallado de la carga instalada y proyectada, considerando el tipo de usuarios (residenciales, comerciales, institucionales e industriales), así como la ubicación (urbana o rural). Para esta evaluación, se aplican factores de demanda y simultaneidad específicos, ajustados al comportamiento real del consumo energético. Este proceso debe apoyarse en las curvas de demanda proporcionadas por la Empresa de Energía de Boyacá – EBSA, las cuales reflejan el perfil típico de consumo por estrato y uso del servicio, permitiendo una aproximación más precisa del valor máximo de potencia requerida, expresado en kilovoltamperios (kVA). Este enfoque garantiza una planeación eficiente de la infraestructura eléctrica, acorde con las condiciones operativas y proyecciones de crecimiento de cada zona del sistema.

C.1.2. Evaluación detallada de las condiciones ambientales del sitio de instalación, considerando factores como altitud, temperatura ambiente promedio y máxima, humedad relativa, exposición solar directa, velocidad y dirección predominante de vientos, presencia de atmósferas corrosivas (por ejemplo, zonas de alta humedad como el municipio de Puerto Boyacá en Boyacá), y riesgos de inundaciones o acumulación de agua. Estos parámetros influyen directamente en la selección de recubrimientos especiales, tipo de aceite dieléctrico, ventilación adicional y protecciones mecánicas del centro de transformación, garantizando su operación segura y su vida útil prolongada.

C.2. Coordinación del Transformador y Protecciones

C.2.1. Verificación del nivel básico de aislamiento (BIL): consiste en asegurar que el transformador y sus componentes asociados tengan la capacidad de soportar sobretensiones transitorias originadas por descargas atmosféricas o maniobras de conmutación. El BIL debe ser seleccionado de acuerdo con el nivel de tensión del sistema y conforme a las recomendaciones establecidas en las normas técnicas internacionales, incluyendo IEEE C57.12.00 (requisitos generales para transformadores de distribución), IEEE C57.12.90 (procedimientos de prueba) y IEEE C57.91 (guía de carga de transformadores sumergidos en aceite), garantizando la integridad dieléctrica y la confiabilidad operativa del centro de transformación tipo pedestal. A continuación, se presenta una tabla con valores típicos de BIL recomendados, considerando la ubicación geográfica en Boyacá y el nivel de tensión del transformador:

C.2.2. Protecciones en MT: Instalación de dispositivos de protección primaria en media tensión:

- **Fusibles limitadores de corriente:** El fusible limitador de corriente, también conocido como fusible de respaldo o ELSP (Energy-Limiting Surge Protector), es un componente de protección instalado internamente en el compartimiento de media tensión del transformador tipo pedestal. Su principal objetivo es limitar la energía liberada durante condiciones de falla de alta corriente, interrumpiendo el paso de corriente antes de que la falla cause daños catastróficos al transformador o a la red. Este tipo de fusible está diseñado para una operación interna, sellada dentro del transformador, y no es reemplazable en campo, lo cual implica que su activación requiere inspección técnica y posible sustitución del equipo o del tanque según los protocolos del fabricante.

- **Fusibles de expulsión tipo bayoneta:** es un dispositivo de protección contra sobrecorrientes instalado internamente en transformadores de distribución, particularmente en transformadores tipo pedestal con compartimiento sellado. Su propósito es interrumpir el paso de corriente cuando se presentan fallas de baja magnitud o sobrecargas sostenidas, evitando daños en el devanado del transformador y otros equipos de la red. Opera como un elemento de expulsión que abre el circuito mediante la generación y extinción de un arco eléctrico interno. Los fusibles seleccionados están diseñados para soportar 12 veces la corriente nominal durante 0.1 s, cumpliendo la curva de inrush de transformadores de distribución.

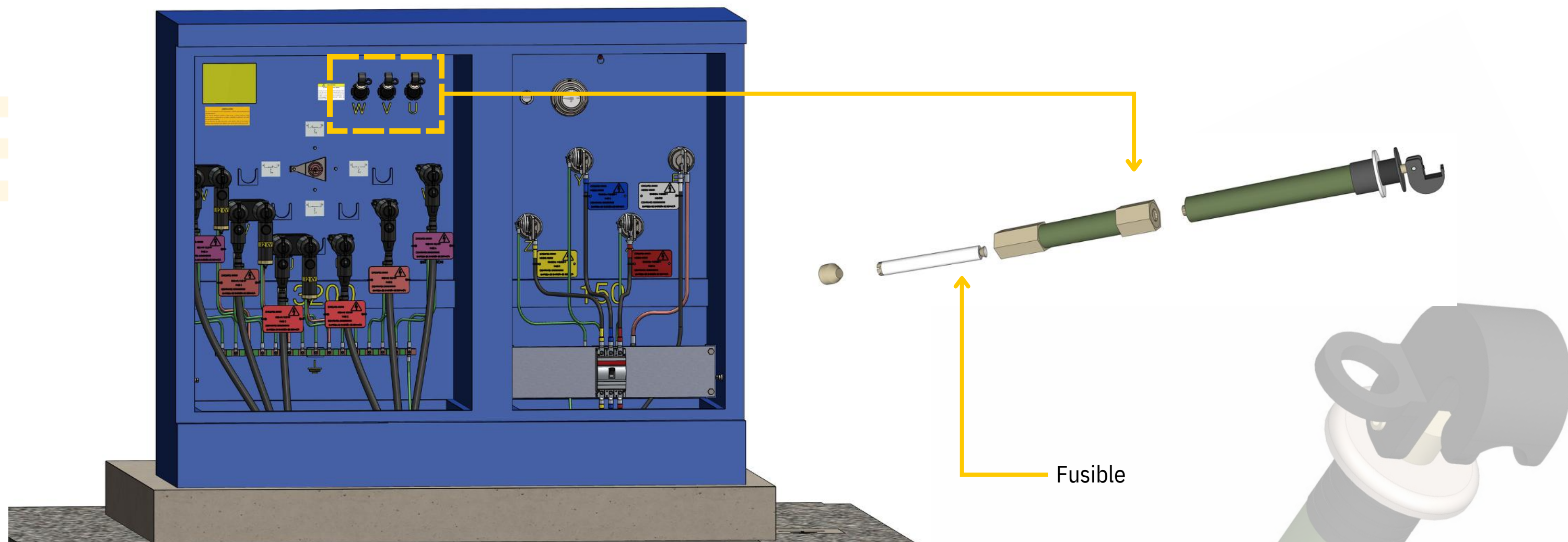


Figura 20. Detalle fusible tipo bayoneta.

- **Dispositivos de protección contra sobreTensiones (DPS):** Los Dispositivos de Protección contra SobreTensiones (DPS) son equipos diseñados para proteger instalaciones eléctricas (figura 21) y equipos sensibles frente a sobreTensiones transitorias, ya sea de origen atmosférico (rayos) o generadas por maniobras en la red eléctrica (como energización o desconexión de cargas inductivas). Su función es derivar a tierra o limitar la magnitud del voltaje transitorio, evitando que dichos eventos sobrepasen el nivel de aislamiento de los equipos. Deben conectarse a tierra mediante una conexión equipotencial adecuada, de baja impedancia, preferiblemente directa a la malla de puesta a tierra del transformador.

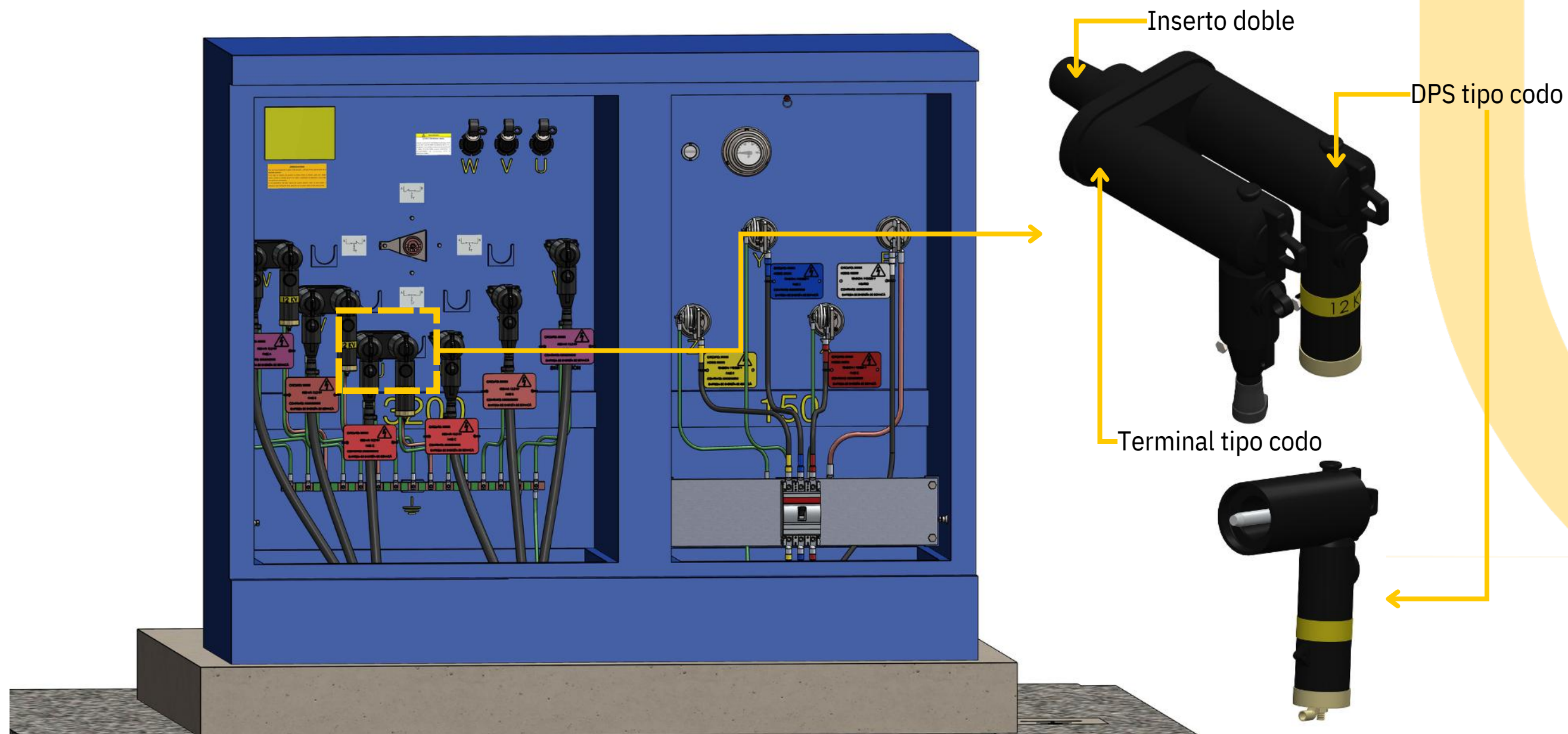


Figura 21. Detalle DPS tipo codo

C.2.3. Protecciones en BT: En transformadores tipo pedestal se deben instalar las siguientes protecciones:

- **Interruptores termomagnéticos:** El interruptor termomagnético (figura 22) es un dispositivo de protección que combina dos mecanismos: uno térmico (para sobrecargas) y otro magnético (para cortocircuitos), y cuya función principal es proteger los conductores y equipos aguas abajo del transformador tipo pedestal ante condiciones anormales de corriente. Este interruptor se instala generalmente en el lado de baja tensión del transformador, ya sea en el compartimiento BT del gabinete pedestal o en un tablero cercano, y actúa de forma automática desconectando el circuito cuando se exceden los valores seguros de operación. En transformadores tipo pedestal (de distribución), el interruptor termomagnético debe ser de curva D, dimensionado de acuerdo con la corriente secundaria, para evitar disparos por inrush y cumplir con los tiempos de respuesta adecuados ante cortocircuito

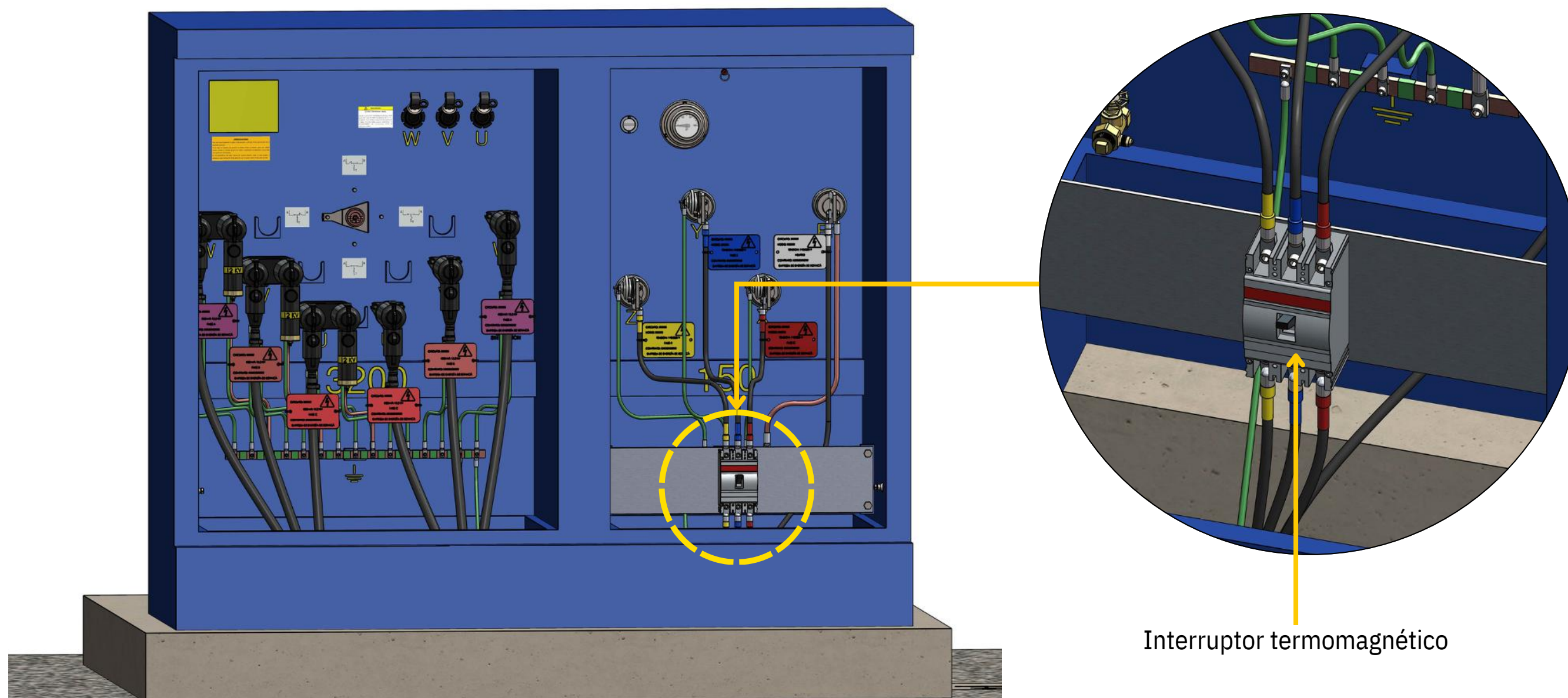


Figura 22. Ubicación del interruptor termomagnético en la cámara de baja tensión del transformador tipo pedestal

- **Dispositivos de protección contra sobreTensiones (DPS) baja tensión:** Son aparatos diseñados para proteger los sistemas eléctricos y los equipos conectados contra sobreTensiones transitorias generadas por descargas atmosféricas indirectas o por maniobras en la red (como el arranque de motores o conmutación de cargas inductivas). Capacidad típica: Corrientes de descarga nominales entre 5–20 kA.

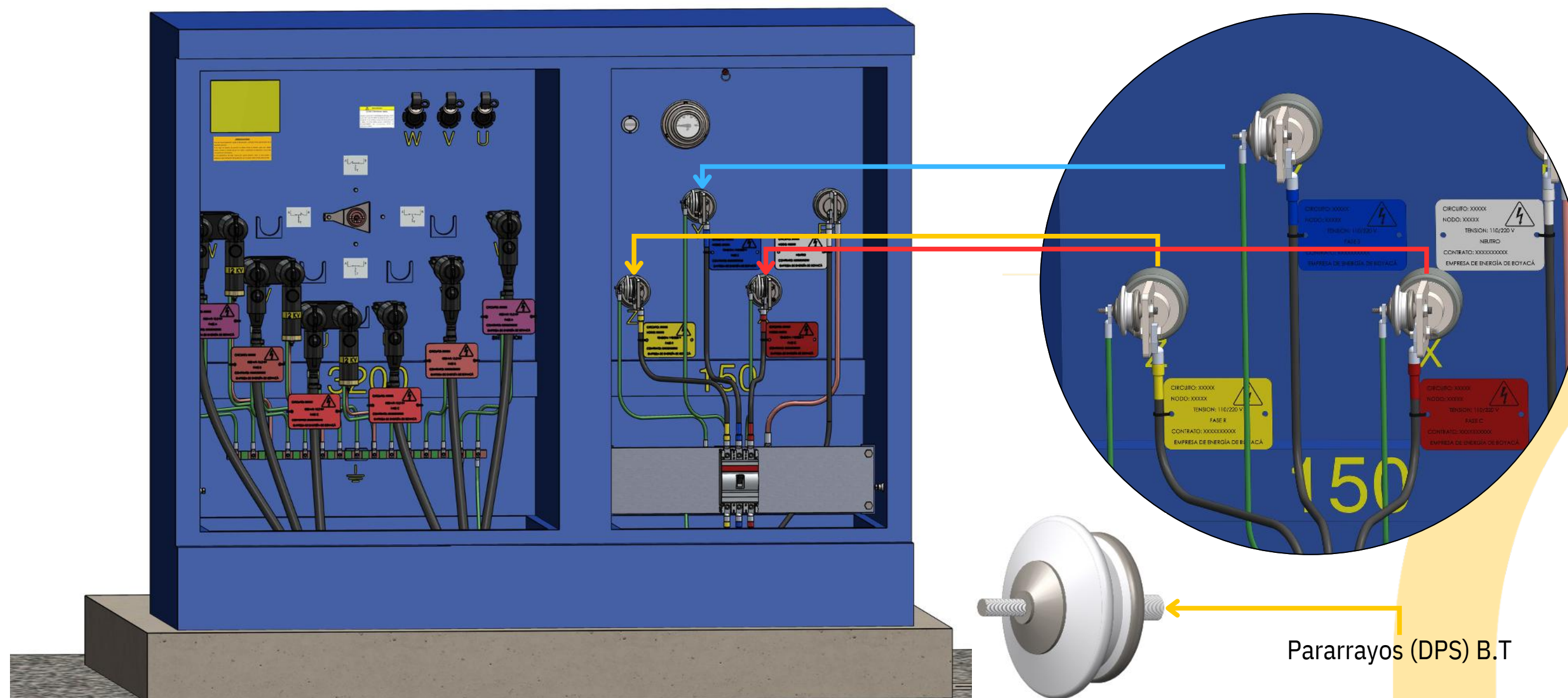


Figura 23. Conexión de DPS en la cámara de baja tensión de transformador tipo pedestal

Nota:

- Todos los DPS Clase 1 deben tener una conexión equipotencial efectiva a tierra, preferiblemente mediante barraje directo al sistema de puesta a tierra del transformador.

C.3. Conexión de puesta a tierra

C.3.1 Conexión equipotencial de todas las partes metálicas expuestas del centro de distribución tipo pedestal, incluyendo gabinetes, encerramientos, estructuras de soporte, así como los componentes específicos de media tensión como codos, dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) y tapones, además del neutro del transformador, a la malla de tierra. Esta conexión debe cumplir con los requisitos establecidos en el RETIE 2024 y las normas internacionales IEC 61643-1. Además, se debe instalar un barraje de tierras adecuado para realizar todas las conexiones equipotenciales necesarias, asegurando que cada equipo se aterrice de manera independiente, conforme a las mejores prácticas de seguridad eléctrica y confiabilidad del sistema.

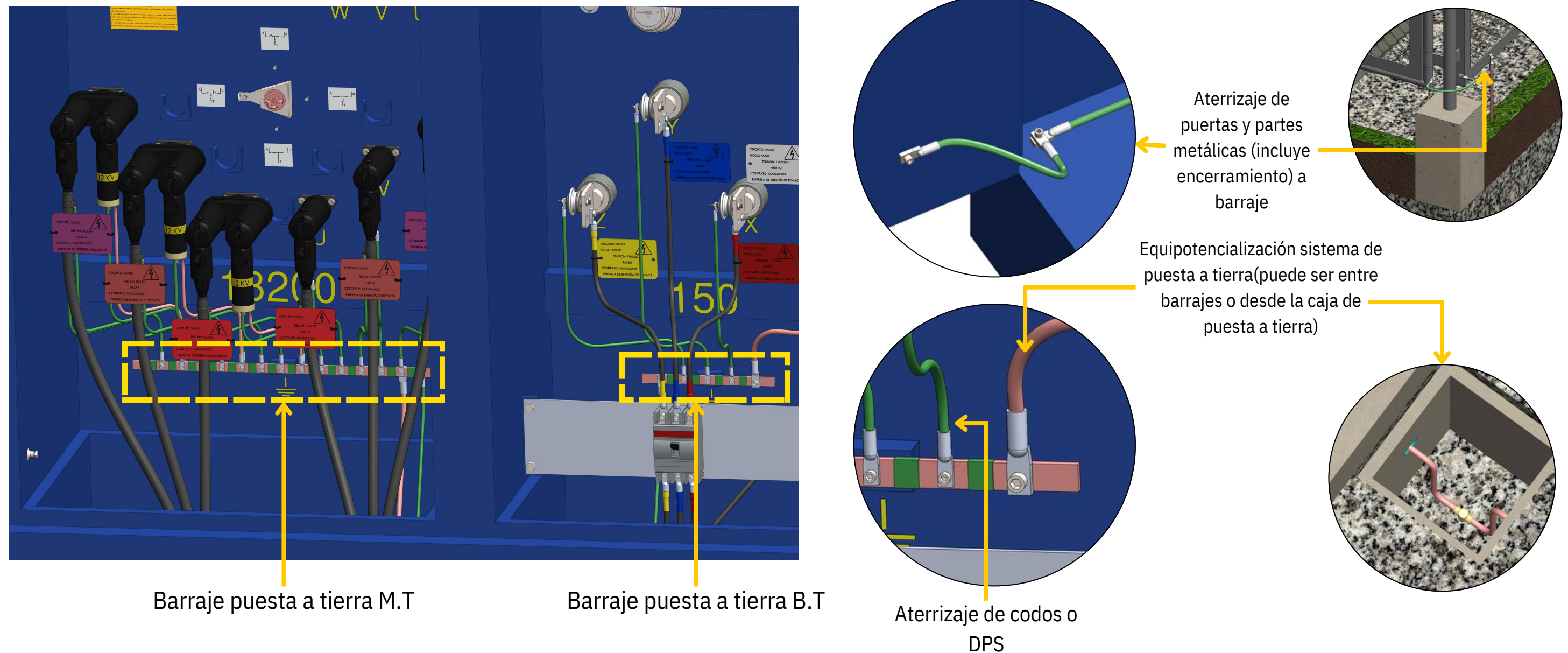
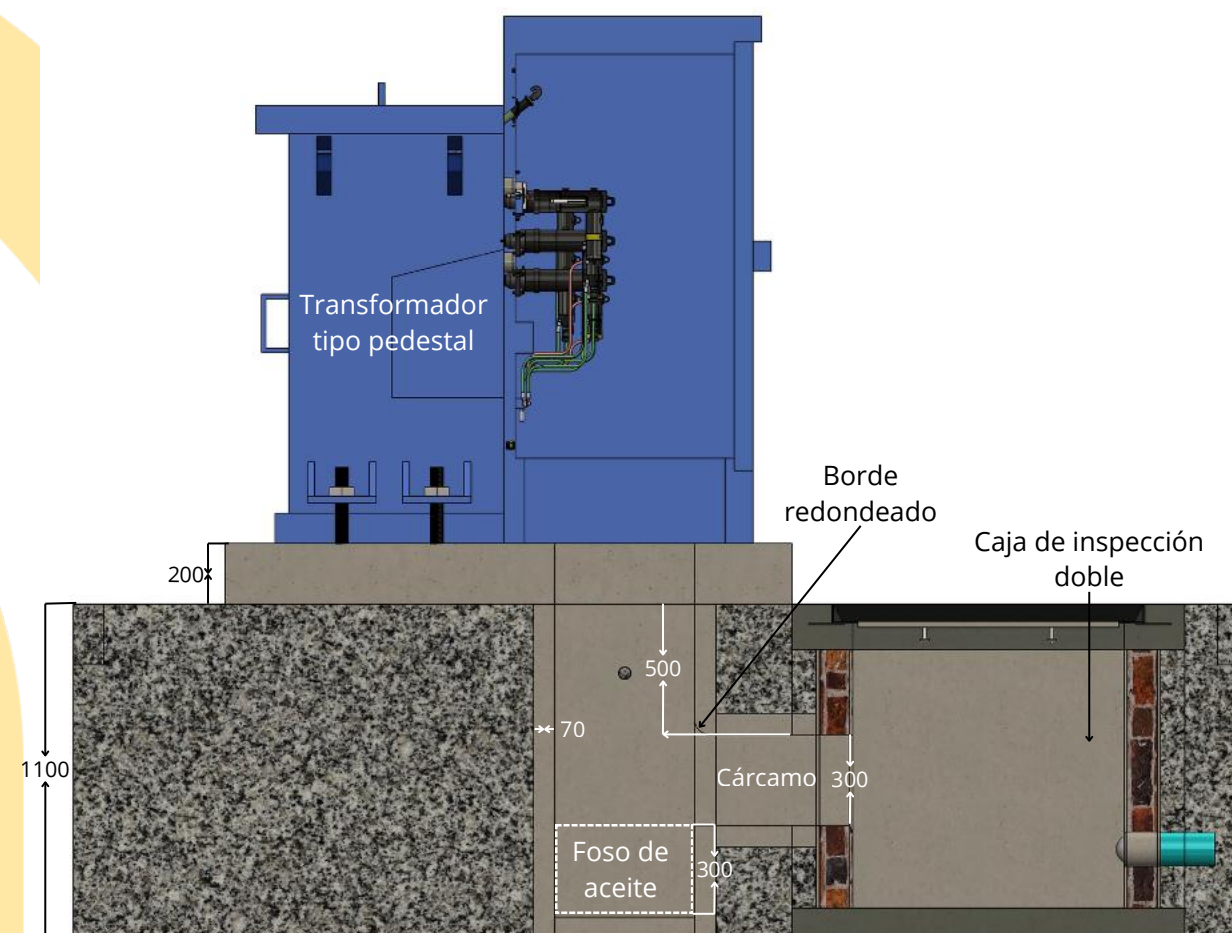


Figura 24. Organización de barrajes y conexiones principales a tierra en compartimientos de MT y BT

C.4. Diseño de la Obra Civil

C.4.1. Diseño e instalación de una base de concreto estructural nivelada, con pendiente adecuada para garantizar el drenaje de aguas lluvias y evitar acumulaciones debajo del centro de transformación tipo pedestal. Además, se debe incluir la implementación de un pozo de aceite diseñado para contener cualquier posible derrame o fuga de aceite dieléctrico, asegurando la integridad del equipo y cumpliendo con las normativas de seguridad y ambientales aplicables. La base debe ser dimensionada para soportar el peso total del transformador y los esfuerzos adicionales por impacto o vibraciones externas, conforme a los requisitos del RETIE 2024 y buenas prácticas de diseño civil.

VISTA LATERAL



VISTA 3D

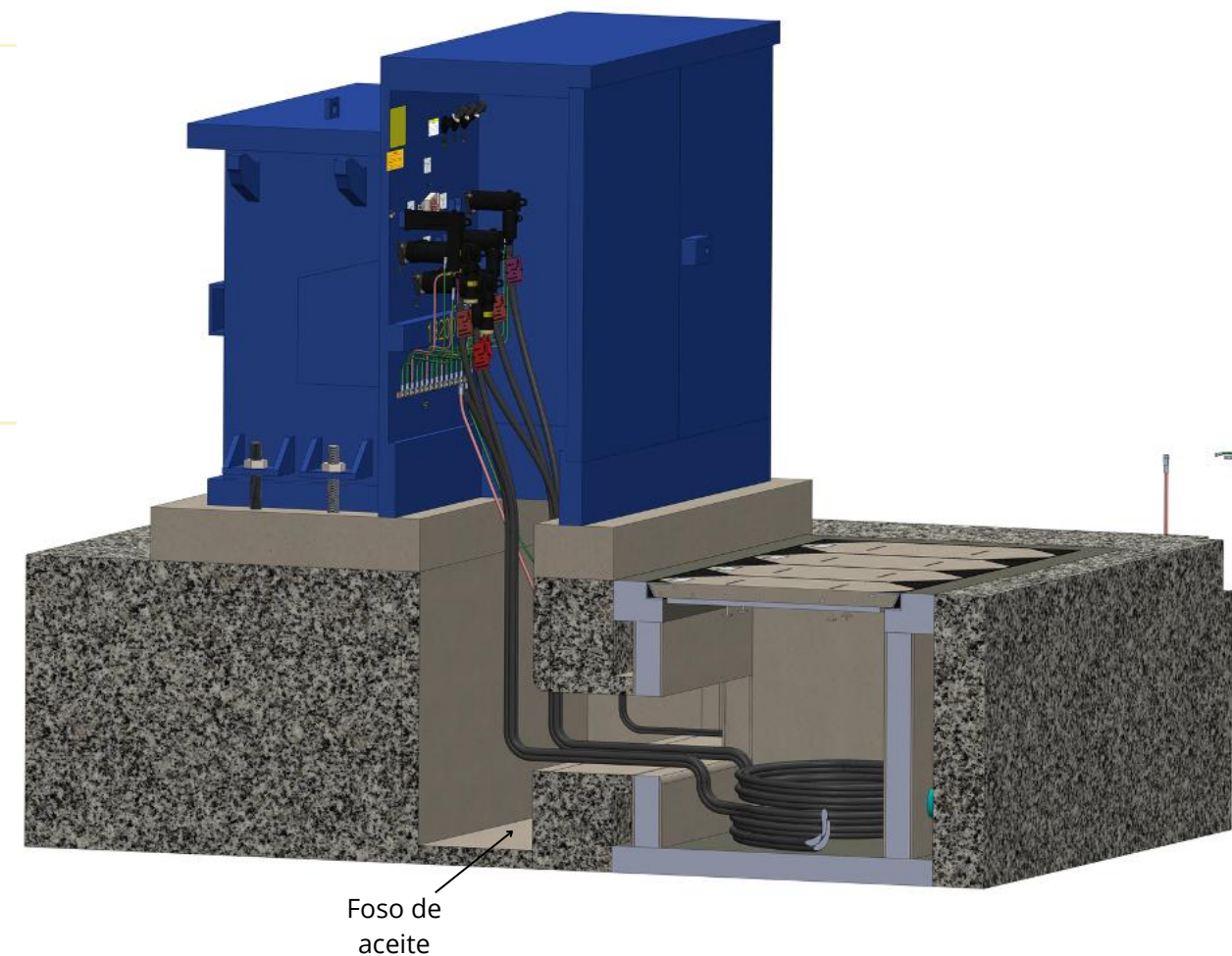


Figura 25. Detalle constructivo de obra civil para cárcamo y fosa de retención de aceite en transformador tipo pedestal

Nota:

- Todas las medidas están expresadas en milímetros (mm).
- El diseño y construcción del cárcamo varían según las dimensiones del transformador.

- Todas las medidas están expresadas en milímetros (mm).
- El diseño y construcción del cárcamo varían según las dimensiones del transformador.

C.4.2. Definición de una zona perimetral libre de obstrucciones de mínimo 1 metro alrededor del pedestal, permitiendo el acceso seguro para operación, inspección y mantenimiento.

C.4.3. La protección mecánica perimetral en centros de transformación tipo pedestal debe implementarse mediante un encerramiento construido con malla eslabonada galvanizada, de al menos 2.5 metros de altura. Esta barrera garantiza:

- La integridad física del transformador.
- La seguridad de las personas.
- La restricción del acceso a personas no autorizadas.
- Protección efectiva contra actos vandálicos.

C.4.4. Evaluación de las condiciones geotécnicas del terreno para determinar la necesidad de refuerzos adicionales, anclajes o sistemas de drenaje complementarios en suelos de baja capacidad portante o de alta humedad.

C.5. Conexiones Eléctricas

C.5.1. Terminales tipo codo en media tensión

(MT): Los terminales tipo codo en media tensión (MT) son elementos de conexión utilizados para unir el conductor a los terminales del transformador, asegurando una transición eléctrica segura y eficiente. Estos codos deben ser seleccionados según la corriente nominal del transformador y la configuración de la red (radial o malla). Los conectores tipo codo clase 15 kV, con capacidades de 200 A o 600 A, deben ser elegidos en función de la corriente de operación prevista y el tipo de red, garantizando una integración adecuada y segura dentro del sistema eléctrico

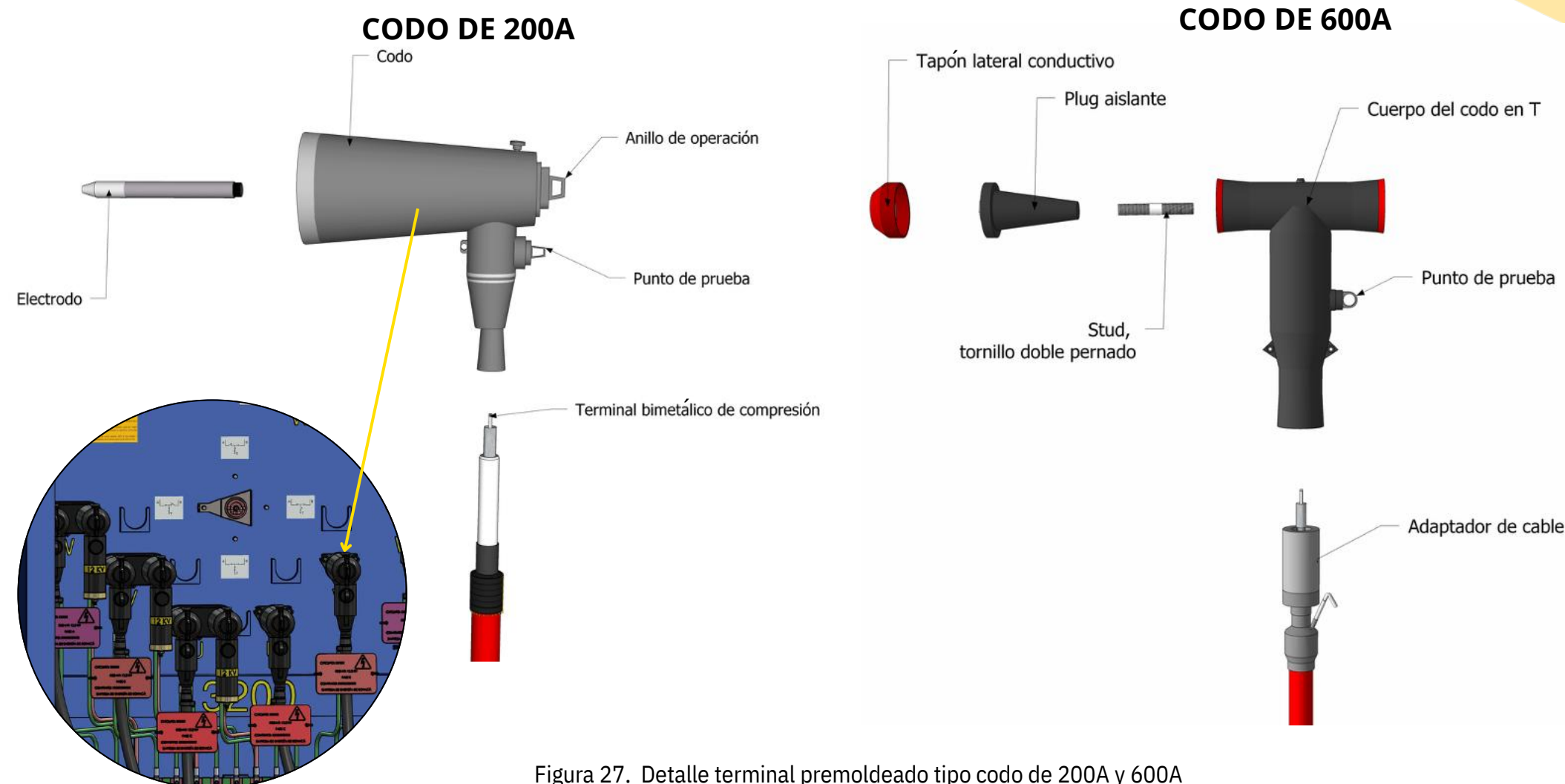


Figura 27. Detalle terminal premoldeado tipo codo de 200A y 600A

C.5.2. Tapones aislados en salidas no utilizadas: Cuando existan salidas del transformador que no estén en uso, estas deben ser cerradas mediante tapones aislados compatibles. Esta medida garantiza el mantenimiento de la integridad dieléctrica del sistema, evita la entrada de humedad y reduce el riesgo de contactos eléctricos accidentales.

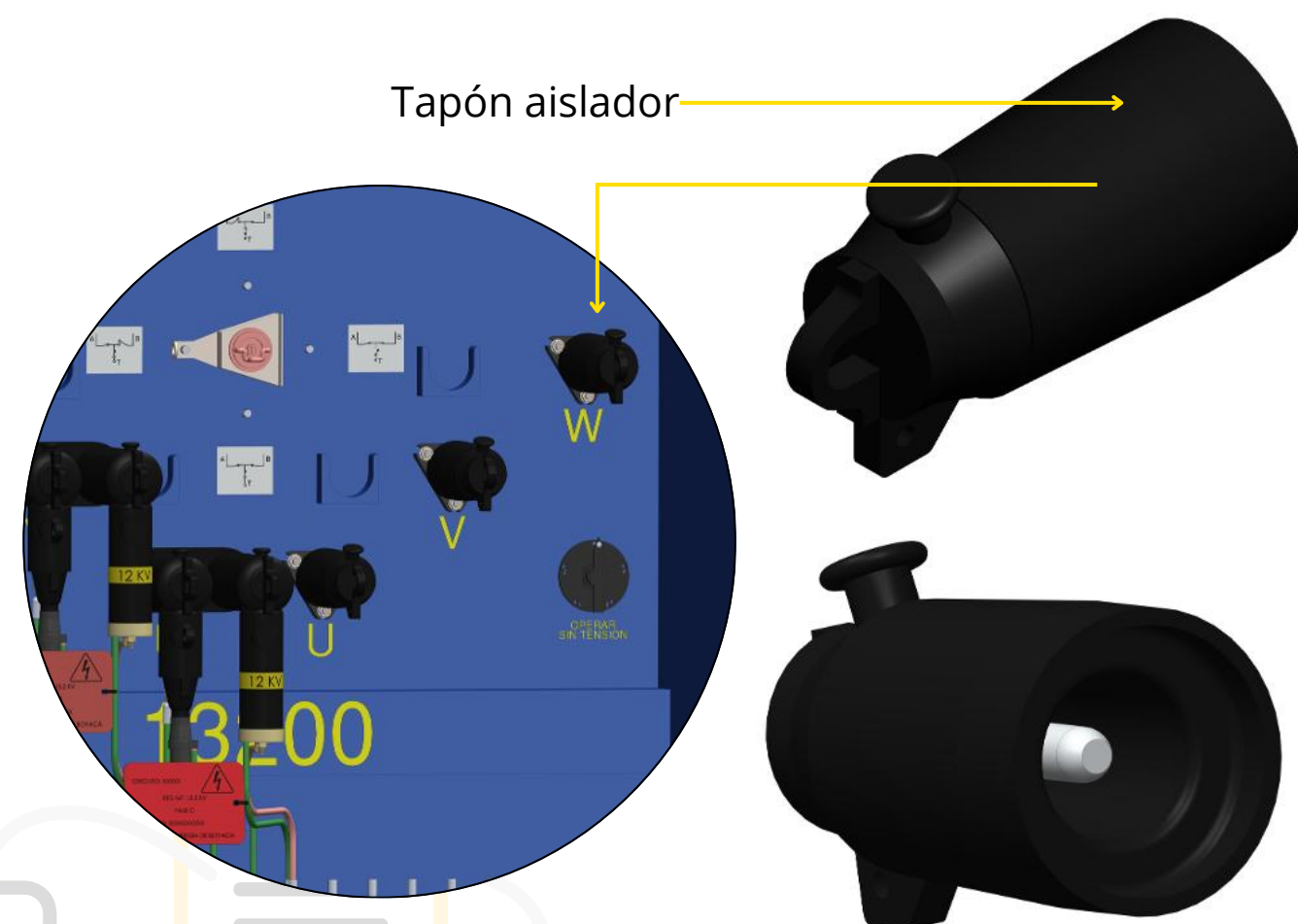


Figura 28. Detalle tapón aislador

C.5.3 Insertos dobles para conexión: Se recomienda la instalación de insertos dobles en cada una de las salidas del transformador, permitiendo la conexión simultánea de terminales tipo codo y descargadores de sobretensión (DPS). Esta configuración mejora la confiabilidad del sistema, garantiza una conexión segura y facilita el mantenimiento sin necesidad de interrupciones adicionales.

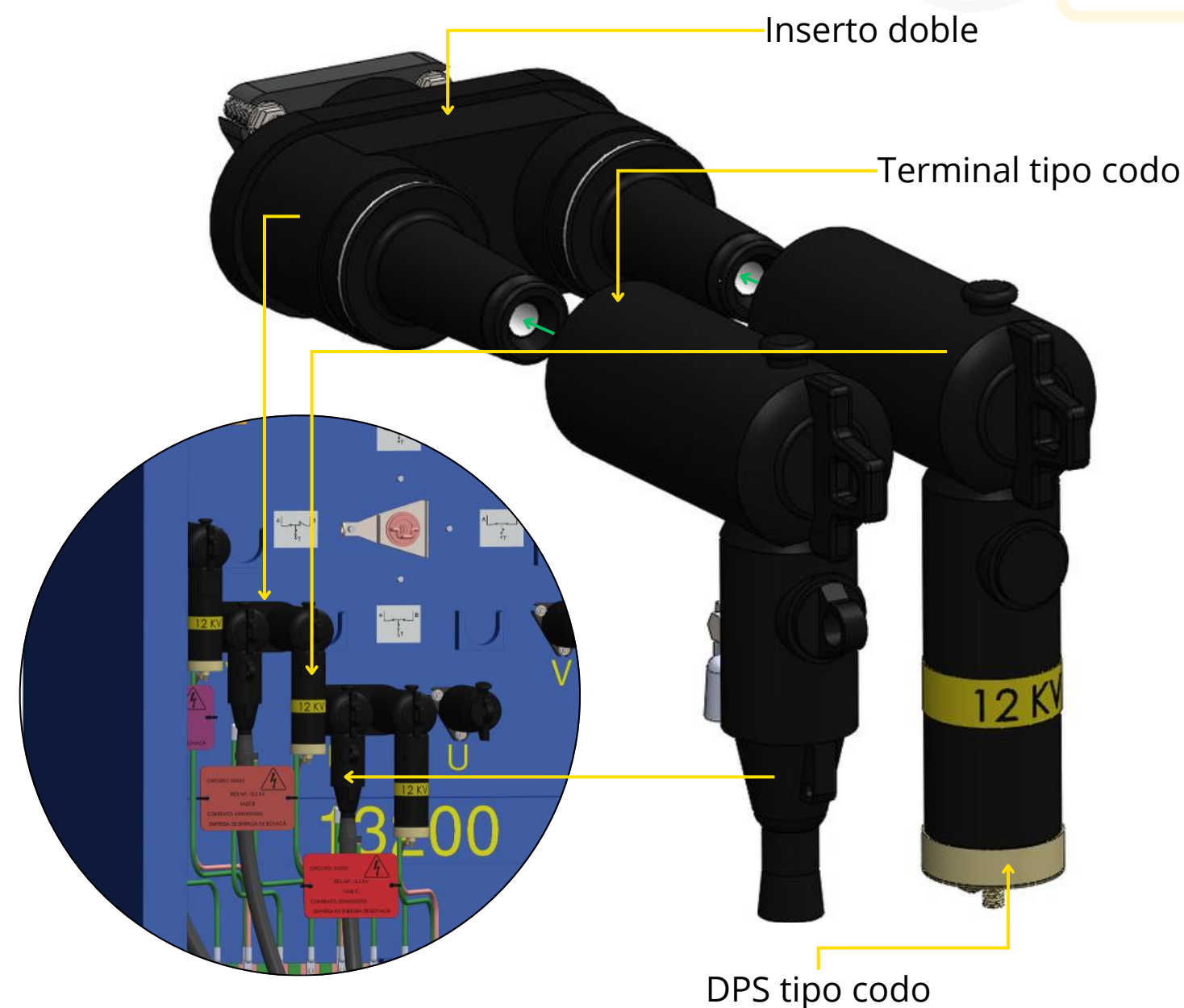


Figura 29. Detalle inserto doble

C.5.4. Buenas prácticas de instalación: Las conexiones deben realizarse con herramientas especializadas, garantizando transiciones suaves, sin puntos calientes ni zonas de estrangulamiento. Se deben seguir procedimientos técnicos normalizados y las recomendaciones del fabricante.

C.6. Distancias de trabajo y de Seguridad

C.6.1. El centro de transformación tipo pedestal debe ubicarse garantizando la protección de las personas, edificaciones colindantes y zonas de circulación pública, evitando el contacto directo o indirecto con partes energizadas.

C.6.2. Conforme al principio de seguridad establecido en el Artículo 450 y la Sección 110 de la NTC 2050 – Segunda Actualización, deben respetarse las distancias mínimas requeridas para permitir la operación, inspección y mantenimiento seguro del transformador.

C.6.3. Dentro del encerramiento del transformador tipo pedestal, está estrictamente prohibido cualquier tipo de almacenaje, ya sea permanente o temporal. Las áreas interiores deben mantenerse limpias, despejadas y en condiciones óptimas que permitan maniobras seguras durante las labores de operación, inspección y mantenimiento. Este espacio, así como el frente del encerramiento, debe permanecer libre y despejado para permitir el uso de herramientas o equipos como grúas, gatos o montacargas, sin presencia de elementos que obstruyan el acceso, la circulación o las rutas de evacuación, garantizando así el cumplimiento de los principios de seguridad establecidos en la normativa vigente.

C.6.4. En caso de ubicarse próximo a edificaciones, debe dejarse una distancia mínima de 1 metro (figura 28) para prevenir interferencias con estructuras y reducir el riesgo de arcos eléctricos, conforme al análisis de riesgo eléctrico y recomendaciones de fabricantes .



Figura 30. Distancia mínima de seguridad alrededor del encerramiento del transformador tipo pedestal

C.6.5. Como criterio general, se debe dejar un espacio libre mínimo de 500 mm en todo el perímetro del transformador pedestal, especialmente entre el gabinete del transformador y el cerramiento, muro u obstáculo físico. En el caso del frente del transformador, por donde se encuentra la puerta de acceso al encerramiento, esta distancia debe incrementarse a 1.5 metros como mínimo, para cumplir con los requerimientos de espacio de trabajo y permitir una operación segura del equipo.

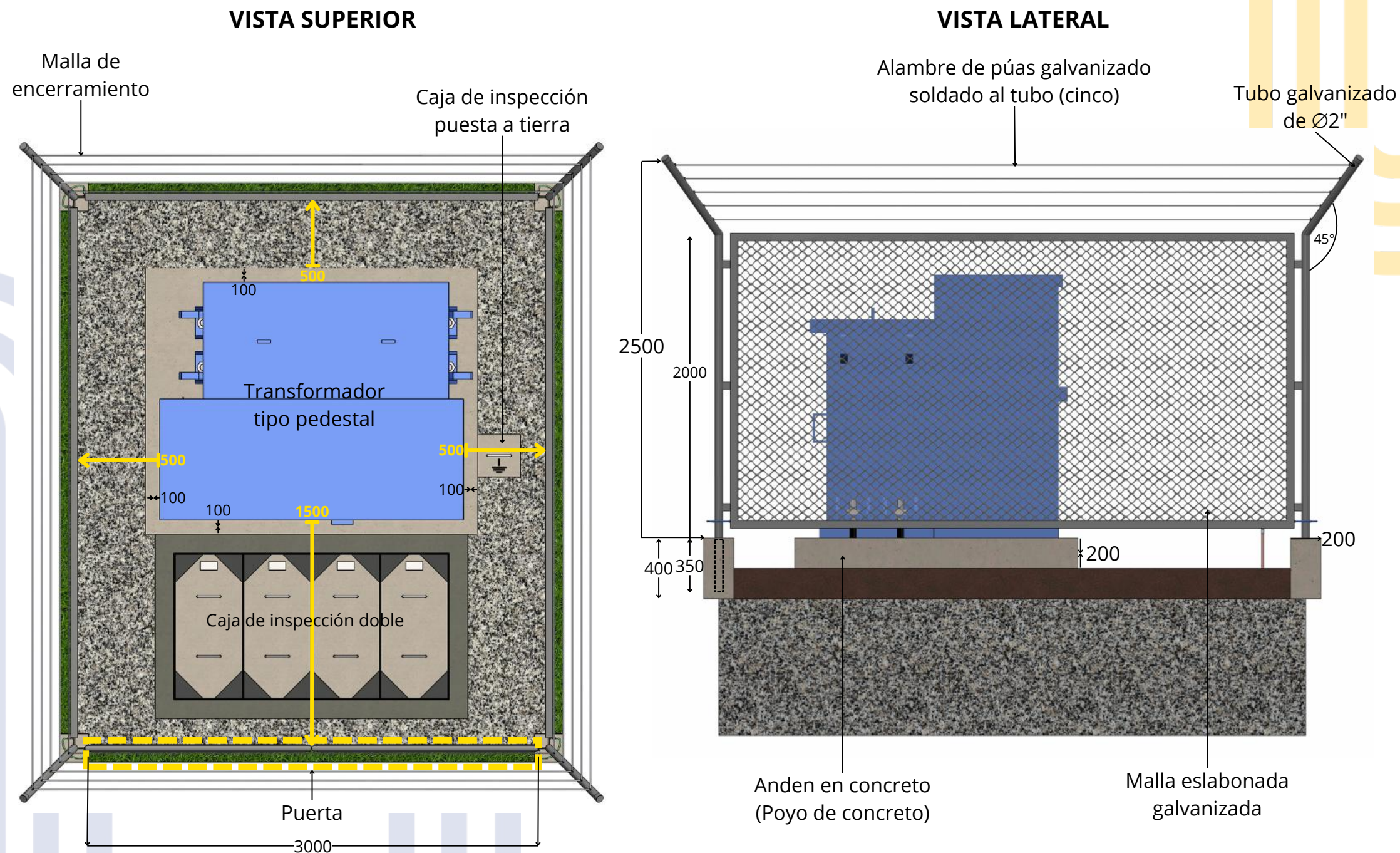


Figura 31. Disposición constructiva y criterios de separación para encerramiento de transformador tipo pedestal

D) TABLAS DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

La siguiente tabla presenta los valores típicos de corriente en media tensión (MT) y baja tensión (BT), junto con la selección sugerida de fusibles e interruptores, aplicables a transformadores tipo pedestal operando a 13,2 kV en MT y 208 [O1] V en BT:

Potencia del Transformador Trifásicos	Tensión Nominal lado del primario	Corriente Nominal en MT	Fusible Limitador de Corriente en MT (A)	Corriente de Protección (125%)	Fusible Tipo k de Expulsión MT por Fase	Tensión Nominal lado del secundario (208/127 V)	Corriente Nominal en BT	Corriente de Protección (125%)	Interruptor termomagnético (curva D) en BT (A)
30 kVA	13,2 kV	1,31 A	40	1,64 A	2 A	208 V	83,27 A	104,09 A	110 A
45 kVA	13,2 kV	1,97 A	40	2,46 A	3 A	208 V	124,91 A	156,13 A	160 A
75 kVA	13,2 kV	3,28 A	40	4,10 A	5 A	208 V	208,18 A	260,22 A	260 A
112,5 kVA	13,2 kV	4,92 A	40	6,15 A	7 A	208 V	312,27 A	390,34 A	400 A
150 kVA	13,2 kV	6,56 A	50	8,20 A	9 A	208 V	416,36 A	520,45 A	530 A
225 kVA	13,2 kV	9,84 A	80	12,30 A	13 A	208 V	624,54 A	780,67 A	790 A
250 kVA	13,2 kV	10,93 A	80	13,67 A	14 A	208 V	693,93 A	867,41 A	870 A
300 kVA	13,2 kV	13,12 A	80	16,40 A	17 A	208 V	832,72 A	1040,90 A	1100 A

Tabla 7. Corrientes típicas y selección de fusibles e interruptores para transformadores tipo pedestal (13,2 kV MT y 208 V BT)

La selección de las protecciones de MT y BT debe basarse en el nivel de corriente de cortocircuito del sistema, el nivel de impulso soportado por el equipo (BIL), la coordinación de protecciones y los requerimientos de confiabilidad de la instalación, siguiendo las recomendaciones técnicas del RETIE 2024 y estándares IEEE aplicables.

Nivel de Tensión del Transformador tipo pedestal	Nivel de BIL (kV)	Tipo de DPS Recomendado	Corriente Nominal de Descarga (In)	Tensión Nominal del DPS (Uc)	Up (Nivel de Protección Residual)
34,5 kV	150 kV	Ciclo ligero, tipo codo 10kA – 24 kV	10 kA	≥ 24 kV	≤ 75 kV
13,2 kV	95 kV	Ciclo ligero, tipo codo 10kA – 8,4 kV	10 kA	8,4 kV	≤ 45 kV
208/120 V	30 kV	Ciclo ligero, 5kA – 275 V	5 kA	275 V	≤ 20 kV

Tabla 8. Selección recomendada de DPS para transformadores tipo pedestal según nivel de tensión y BIL

La selección final de dispositivos de protección debe basarse en un estudio detallado de coordinación de protecciones, que incluya análisis de corrientes de cortocircuito y tiempos de respuesta.

E) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS EJEMPLOS PRÁCTICOS

E.1. La protección del transformador tipo pedestal debe contemplar un sistema selectivo, eficaz y rápido que evite el disparo simultáneo o el desbalance de tiempos de despeje. Para ello:

E.1.1. En media tensión, se deben instalar:

- Fusible tipo bayoneta, dimensionado para despejar fallas de baja corriente sin afectar el DPS.
- Fusible limitador de corriente (ELSP), que actúe ante fallas de alta magnitud ($I_{cc} > 5 \text{ kA}$), protegiendo al transformador de daños térmicos severos.
- DPS de ciclo pesado o tipo estación, con corriente de descarga 8.4 kA y $U_p \leq 45 \text{ kV}$, conectado entre fases y tierra.

E.1.2. En baja tensión, debe incluirse:

- Interruptor termomagnético curva D, calculado con base en la corriente secundaria del transformador, para evitar disparos por inrush.
- DPS tipo1, conectado entre fases y tierra, con $U_c \geq 275 \text{ V}$ y $U_p \leq 20 \text{ kV}$, especialmente si el BIL secundario es 30 kV .

E.1.3. El sistema debe garantizar:

- Coordinación entre curvas de tiempo-corriente de todos los dispositivos (TCC).
- Que el disparo del DPS no ocurra antes que el fusible limitador o el interruptor, preservando la selectividad y continuidad de servicio.
- Que el nivel de protección U_p del DPS sea al menos 30% inferior al BIL del equipo protegido, de acuerdo con IEC 61643-11.

E.1.4. Se recomienda incluir un estudio formal de coordinación de protecciones que contemple:

- Corrientes de cortocircuito (mínimas y máximas),
- Curvas de inrush,
- Coordinación entre los tiempos de despeje de todos los dispositivos,
- Condiciones de altitud y corrección del BIL por ubicación geográfica (ej. Tunja a $2820 \text{ msnm} \rightarrow \text{BIL} \times 1/0.83$).

E.2. Mantener mínimo 1 metro libre en todo el perímetro y 1.5 m en frente de puertas de acceso a compartimientos energizados. Este espacio debe estar libre de vegetación, mobiliario urbano o cerramientos que limiten el trabajo seguro.

E.3. No se debe proceder a la energización de un centro de transformación tipo pedestal sin haber realizado una verificación completa de las condiciones eléctricas y mecánicas de seguridad. Es obligatorio comprobar la integridad de la malla de puesta a tierra, la continuidad equipotencial entre todos los equipos, protecciones y estructuras metálicas, así como la resistencia total del sistema de tierra, garantizando que esté dentro de los valores aceptables según RETIE y normas IEC aplicables.

IMPORTANTE

- Una **correcta selección de protecciones en transformadores tipo pedestal** resulta fundamental para garantizar la seguridad operativa, proteger los equipos contra sobrecargas y fallas eléctricas, preservar la vida útil de los activos eléctricos y asegurar la continuidad del servicio.
- **La elección adecuada de fusibles en media tensión e interruptores en baja tensión**, dimensionados conforme a la carga y a las condiciones de operación, minimiza los riesgos de interrupciones no deseadas, fallos térmicos y daños mayores en la infraestructura de distribución. Este proceso debe basarse en el cumplimiento estricto de las normas técnicas vigentes, un análisis de coordinación de protecciones detallado y una evaluación rigurosa de las condiciones de instalación.
- **Los centros de transformación tipo pedestal permiten soluciones seguras, compactas y eficientes para la transformación de energía eléctrica.** Su diseño modular, su resistencia mecánica y su cumplimiento normativo aseguran continuidad operativa, optimización de espacios urbanos, facilidad de mantenimiento y reducción de riesgos eléctricos. El cumplimiento riguroso de las normas aplicables es esencial para su desempeño confiable y seguro.



1.3.2.3 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN TIPO LOCAL



A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

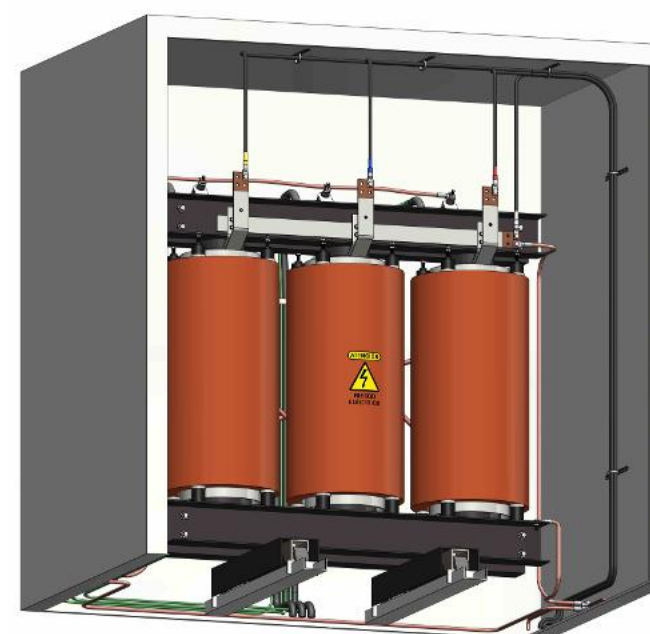
Los centros de transformación tipo local son instalaciones eléctricas permanentes destinadas a albergar uno o más transformadores, ya sean del tipo seco encapsulado en resina o sumergidos en aceite mineral o vegetal, junto con los equipos complementarios de seccionamiento, protección, medición y control. Estos se instalan dentro de un recinto cerrado, construido en obra civil y diseñado conforme a los requerimientos técnicos, normativos y de seguridad vigentes. Su propósito es permitir la transformación segura y confiable de energía eléctrica desde media a baja tensión, especialmente en contextos urbanos, industriales o institucionales donde se requiere protección contra agentes externos, control de accesos y cumplimiento estricto de los parámetros establecidos por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), la NTC 2050 y demás normas aplicables. La elección entre transformadores secos o en aceite dependerá de factores como el entorno de instalación, el nivel de riesgo de incendio, requisitos de mantenimiento, normativas ambientales y disponibilidad de espacio.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. Para Transformadores Tipo Seco



VISTA FRONTAL



VISTA POSTERIOR

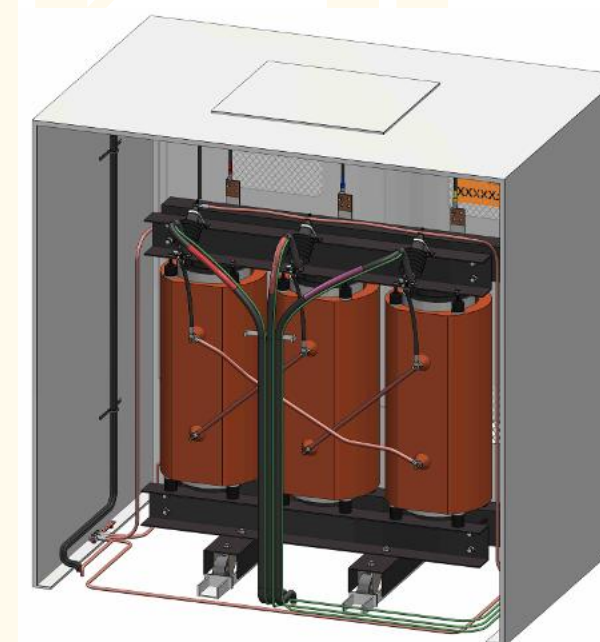


Figura 32. Transformador tipo seco en interiores

B.1.1. Selección del transformador: Este proceso debe fundamentarse en el análisis de las curvas de demanda proporcionadas por la Empresa de Energía de Boyacá – EBSA, las cuales representan el perfil típico de consumo por estrato y tipo de usuario. Estas curvas permiten estimar de manera precisa la potencia máxima probable en kilovoltamperios (kVA), lo que facilita seleccionar un transformador que responda efectivamente a la demanda real del servicio. Esta metodología asegura una planificación adecuada de la infraestructura eléctrica, optimizando la capacidad instalada y previendo el crecimiento proyectado en cada zona de servicio.

B.1.2. Control térmico: El cuarto eléctrico debe contar con un sistema de ventilación natural o forzada que garantice la evacuación del calor generado por el transformador seco, el cual debe estar confinado dentro de una celda metálica ventilada que cumpla con las condiciones de disipación térmica y protección mecánica. La evaluación térmica debe considerar la carga térmica total (núcleo y devanados) y calcular la tasa de intercambio de aire tanto dentro de la celda como en el recinto, con el fin de mantener la temperatura interna dentro del rango operativo permitido por el fabricante del transformador encapsulado.

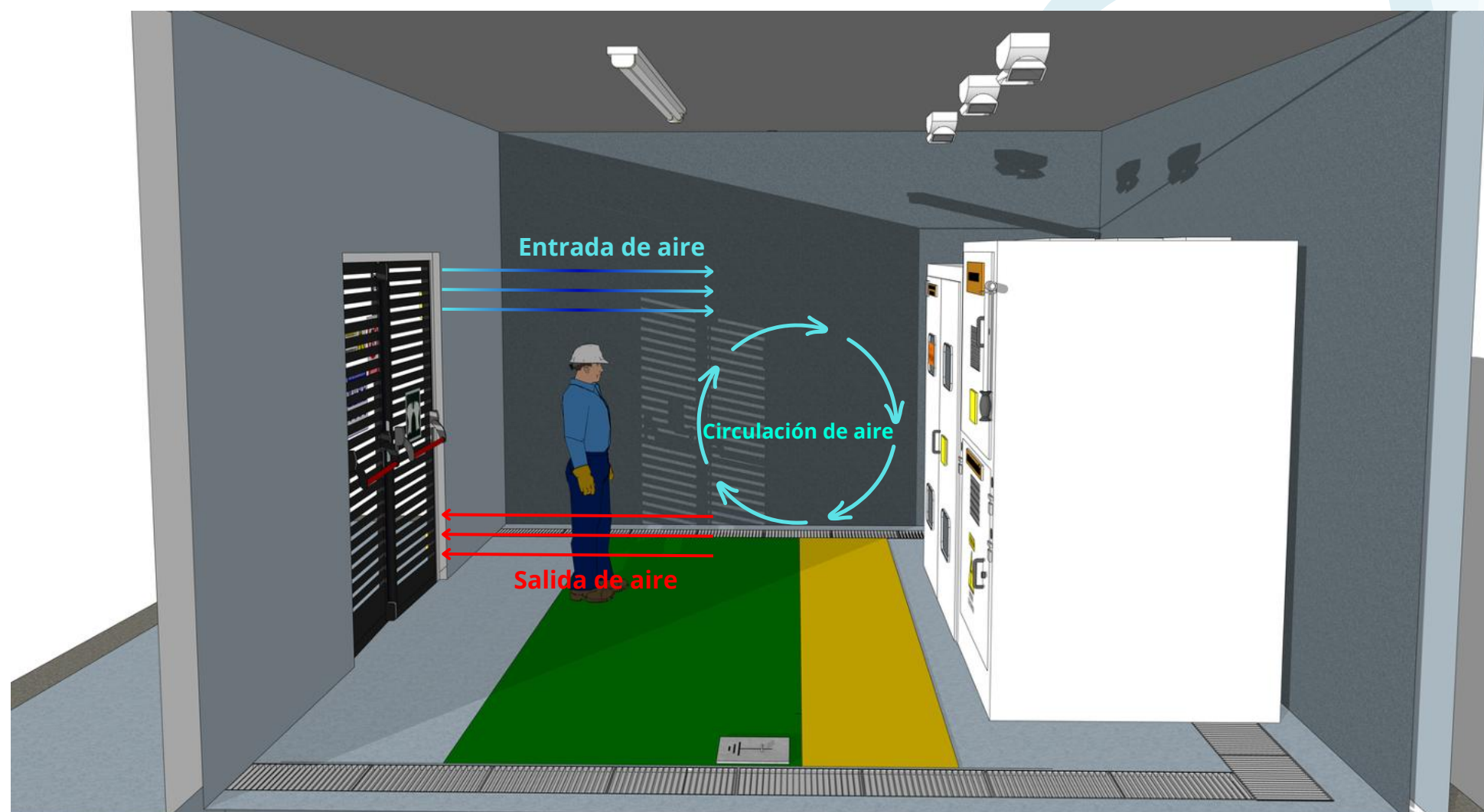
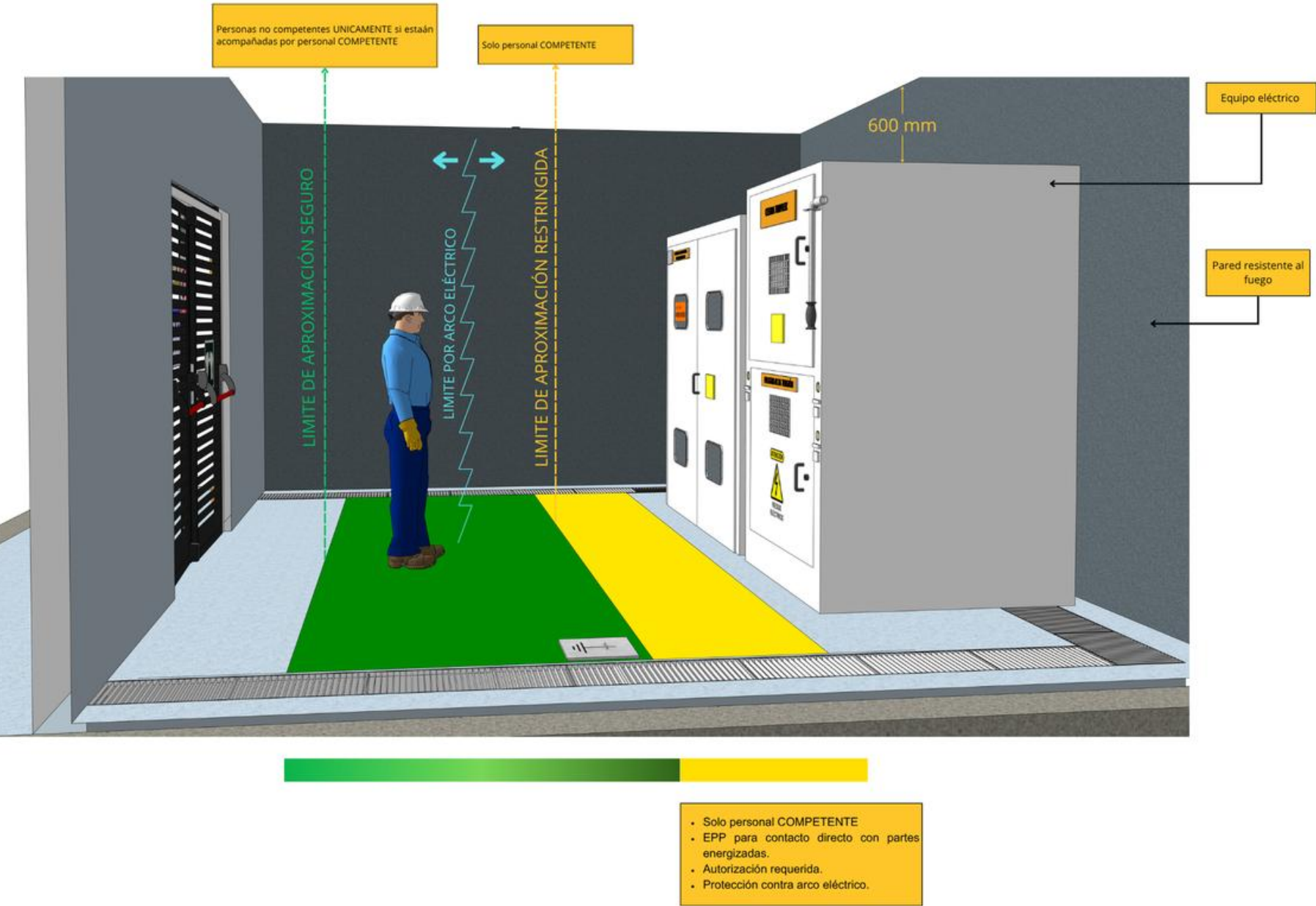


Figura 33. Sistema de ventilación natural

B.1.3. Distancias mínimas de seguridad:

- Frente de operación: mínimo 1.5 m. Esta distancia debe mantenerse libre frente a la celda metálica del transformador para permitir el acceso seguro a maniobras, inspecciones, instalación de terminales y apertura de puertas. Aplica exclusivamente a transformadores tipo seco instalados en cuartos eléctricos, conforme al RETIE y la NTC 2050. Esta medida debe aplicarse también frente a las celdas de conexión y protección, garantizando el acceso continuo a todos los equipos eléctricos, la operación segura de interruptores y seccionadores, así como la evacuación del personal en caso de emergencia. Debe contemplar el riesgo de arco eléctrico y cumplir con señalización visible, nivel de tensión, uso obligatorio de EPP, acceso restringido a personal autorizado y demarcación de zonas de restricción en el piso.



Tensión nominal	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida [m] – Incluye movimientos involuntarios
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta	
100 V – 300 V	3,0 m	1,0 m	0,3 m
301 V – 1 kV	3,0 m	1,0 m	0,3 m
1,1 kV – 5 kV	3,0 m	1,5 m	0,5 m
5,1 kV – 15 kV	3,0 m	1,5 m	0,7 m
15,1 kV – 45 kV	3,0 m	2,5 m	0,8 m
45,1 kV – 75 kV	3,0 m	2,5 m	1,0 m
75,1 kV – 150 kV	3,3 m	3,0 m	1,2 m
150,1 kV – 250 kV	3,6 m	3,3 m	1,6 m
250,1 kV – 500 kV	6,0 m	6,0 m	3,5 m
500,1 kV – 800 kV	8,0 m	8,0 m	5,0 m

Tabla 9. Distancia mínimas para trabajo en o cerca de partes energizadas en corriente continua.

IMPORTANTE

Las distancias indicadas en esta tabla son de carácter referencial y pueden variar según el nivel de tensión del sistema eléctrico. Para su correcta aplicación, se debe consultar la Tabla 3.10.5.c del RETIE 2024, donde se establecen los límites de aproximación seguro y restringido para diferentes niveles de tensión, de acuerdo con los criterios de seguridad vigentes.

Figura 34. Distancia mínima de seguridad: Frente de operación

- Distancias dieléctricas internas: Estas distancias corresponden al espacio mínimo de separación entre partes activas (fases) y entre fases y tierra dentro de la celda metálica que contiene el transformador seco. Dichas distancias garantizan el aislamiento eléctrico seguro, evitando descargas parciales o fallas dieléctricas, y deben verificarse especialmente durante el montaje de los terminales de media tensión:
 - a. Para 15 kV: mínimo 127 mm entre fases y 165 mm entre fase y tierra.
 - b. Para 36 kV: mínimo 229 mm entre fases y 330 mm entre fase y tierra. En todos los casos, estas distancias deben ser validadas conforme a lo indicado en los manuales técnicos de instalación del fabricante y deben cumplirse estrictamente dentro de la celda metálica. Cualquier ajuste o desviación deberá estar debidamente justificado mediante documentación técnica del fabricante o pruebas dieléctricas certificadas.

B.1.4. Requisitos constructivos y de seguridad cuarto eléctrico:

- El piso del cuarto eléctrico deberá diseñarse en concreto estructural armado con una resistencia mínima $f'c \geq 3,000$ psi, considerando la carga puntual resultante del peso total del transformador tipo seco (hasta 500 kVA) y su base. El espesor mínimo recomendado es de 15 cm o superior según cálculo estructural. Esta especificación asegura la estabilidad estructural y seguridad de la instalación.
- En instalaciones ubicadas dentro de edificios, el cuarto eléctrico debe localizarse preferiblemente en el primer piso para facilitar el acceso operativo, reducir riesgos estructurales y simplificar maniobras de mantenimiento y evacuación del transformador.
- El cuarto eléctrico debe estar ubicado en una zona libre transitable y de fácil acceso para permitir las labores de mantenimiento preventivo y correctivo del equipo instalado.
- Resistencia a impactos y vibraciones.
- Recubrimientos resistentes a contaminantes ambientales.
- Ubicación restringida: el acceso debe estar limitado solo a personal calificado.
- Todos los elementos metálicos deben estar equipotencializados (celda, terminales, puertas, canalizaciones, neutro, etc.) deben estar conectados a un barraje común de tierras.
- El cuarto eléctrico debe contar con niveles de iluminación permanentes de al menos 200 lux en condiciones normales y 5 lux mínimos en caso de emergencia, conforme a lo exigido por el RETILAP 2024 para áreas de operación eléctrica interior (figura 35).



Figura 35. Requisitos de iluminación en cuartos

- Se prohíbe la instalación de tuberías de agua, gas o vapor sobre el cuarto eléctrico que alberga el transformador y sus celdas de protección y maniobra, debido al riesgo que representan en caso de fugas o fallas eléctricas.



Figura 36. Prohibición: Instalación de tuberías de agua, gas o vapor.

- Puertas en celosía: deben abrir hacia afuera, incluir chapa antipánico y señalización visible.



Figura 37. Detalle de puerta celosía

B.1.5. Conexiones:

- Las conexiones del transformador, correspondientes al lado de media tensión, deben realizarse preferiblemente mediante cables tipo RHV o equivalentes, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), clase 15 kV o 36 kV según el nivel de tensión del sistema.

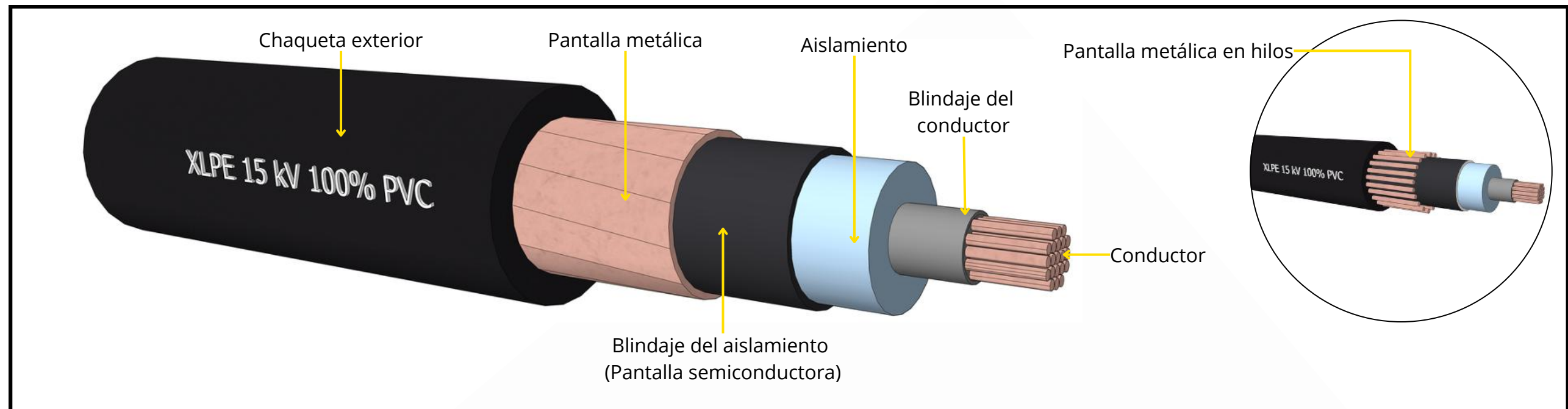


Figura 38. Cable de 35 kV y 15 kV

- Se deben emplear terminales premoldeados tipo interior, compatibles con el tipo de cable, que garanticen el cumplimiento de las distancias dieléctricas mínimas dentro de la celda metálica (ver apartado de seguridad).

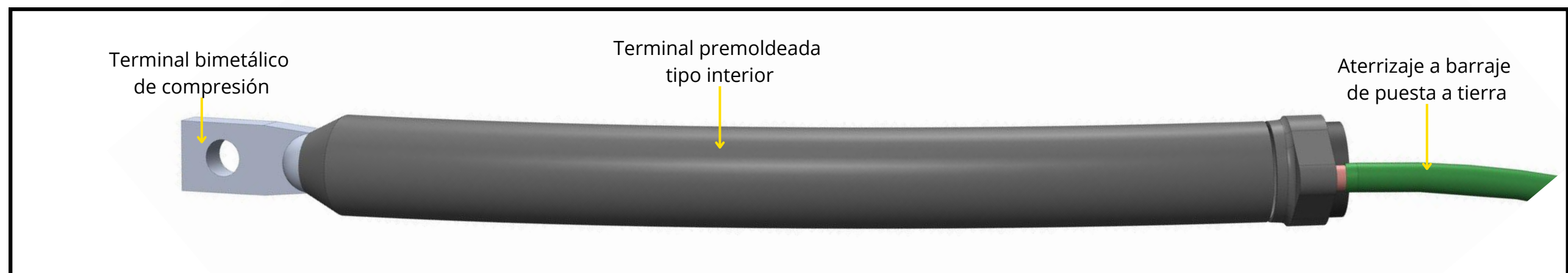


Figura 39. Terminal premoldeada tipo interior

- Las entradas eléctricas pueden disponerse mediante canalizaciones empotradas, bandejas técnicas o ductos subterráneos, respetando los radios de curvatura y la continuidad de apantallamiento.

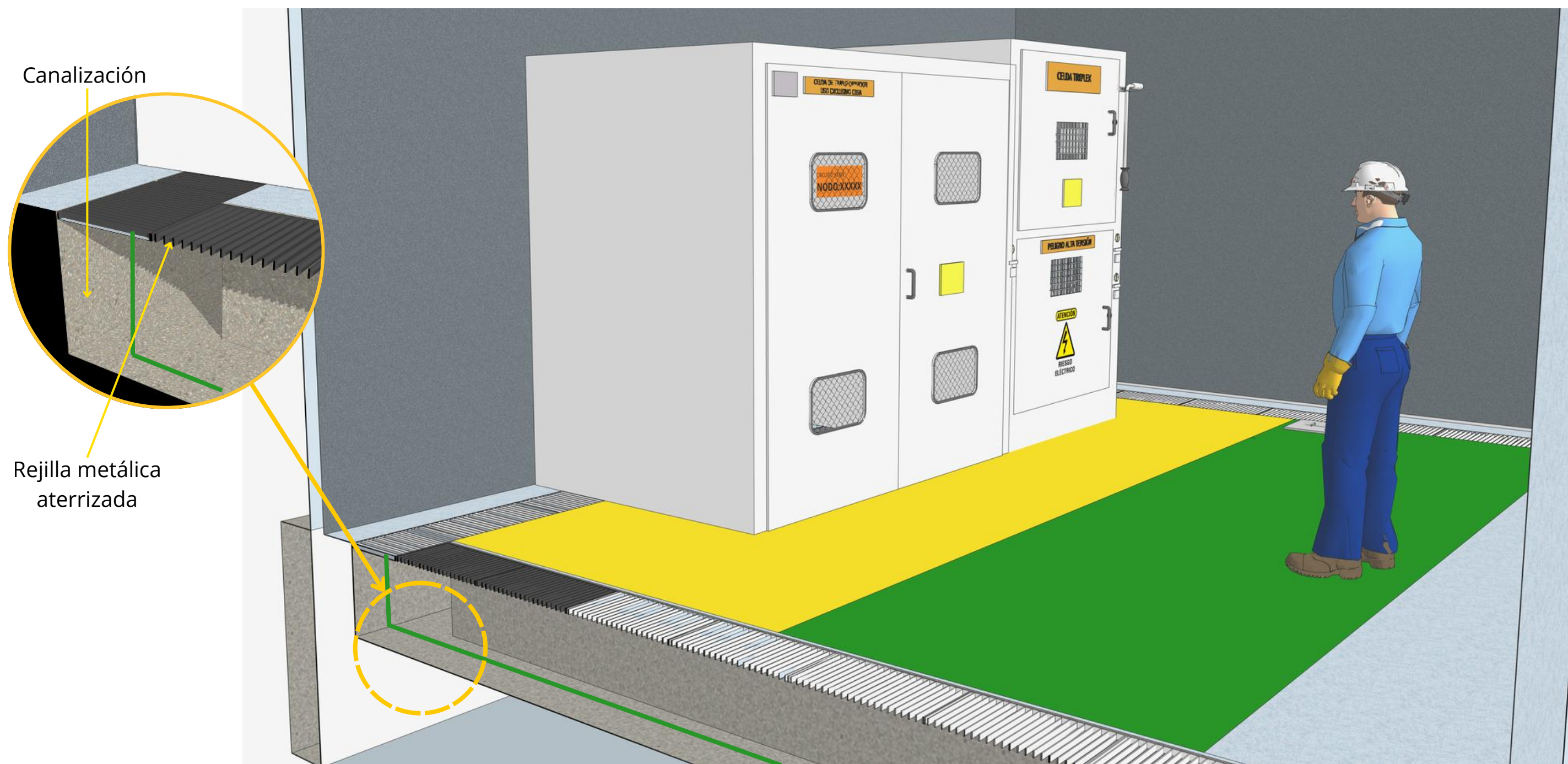


Figura 40. Ejemplo detalle constructivo para canalización en cuartos eléctricos

B.1.6. Protecciones

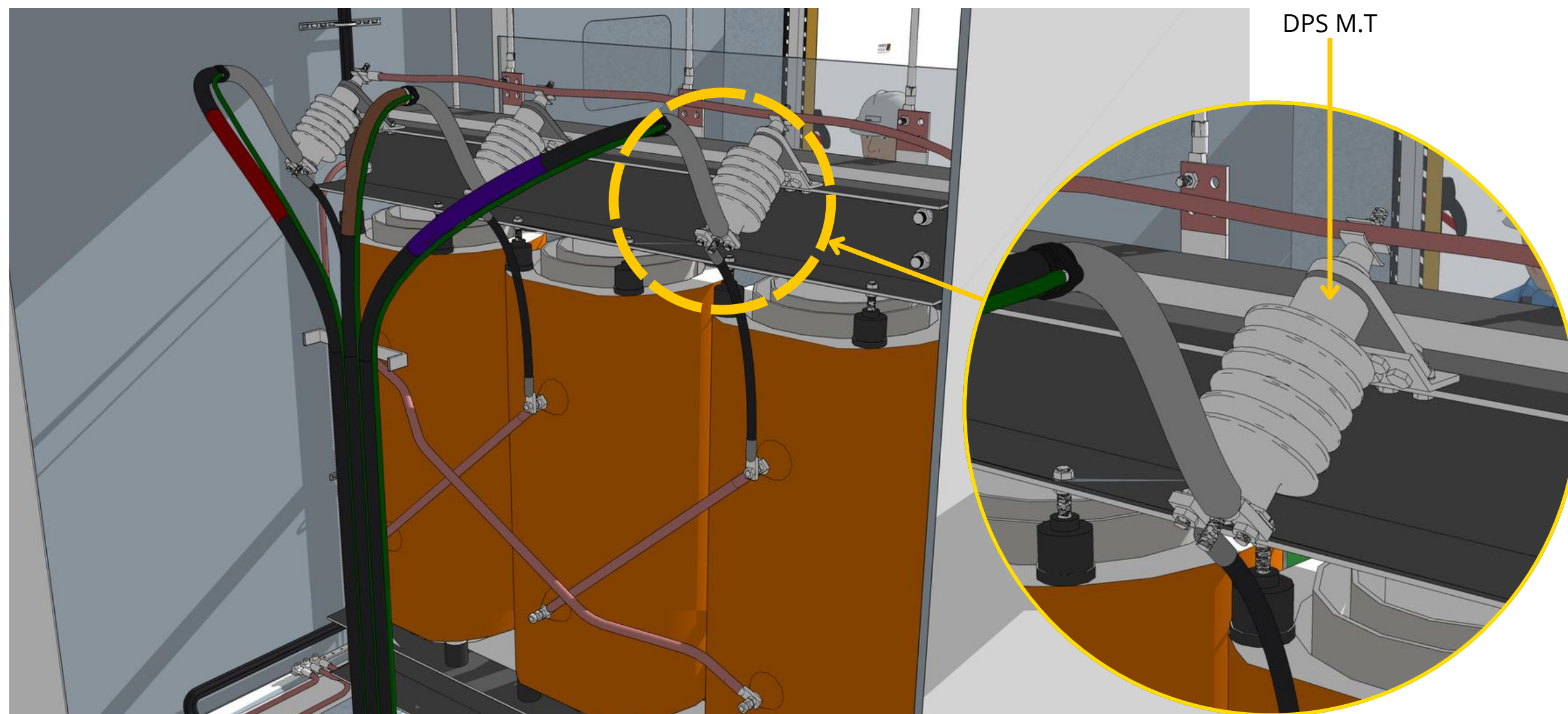


Figura 41. Ubicación de DPS por media tensión.

- Todo transformador debe estar protegido mediante un sistema integral de protección contra sobrecorrientes, cortocircuitos y fallas a tierra, compuesto por seccionadores con fusibles limitadores para el lado de media tensión y dispositivos de corte, medición y protección diferencial por el lado de baja tensión, instalados en el tablero general de acometida (TGA). Estas protecciones, instaladas en celdas independientes, deben garantizar la selectividad y seguridad operacional del sistema, permitiendo el aislamiento y la desconexión segura del equipo según el nivel de criticidad y la configuración del sistema eléctrico.

- Adicionalmente, el transformador debe ser seccionado por medio de una celda de carga en aire o una celda de seccionamiento encapsulada en gas SF₆, que actúe como punto de seccionamiento seguro, garantizando el aislamiento visible y permitiendo labores de mantenimiento bajo condiciones seguras, que permita desconectar manualmente el equipo de la red de media tensión, cumpliendo con los principios de seguridad eléctrica y aislamiento.
- La coordinación de protecciones debe garantizar la selectividad entre el transformador, el tablero de baja tensión y la protección aguas arriba en media tensión.
- En transformadores secos, se recomienda adicionalmente la instalación de sensores térmicos o sondas PT100 para el monitoreo de temperatura y el disparo remoto de la protección térmica en caso de sobrecalentamiento.
- Se debe garantizar la equipotencialización mediante la interconexión de la carcasa del transformador, la estructura metálica de soporte, las canalizaciones eléctricas, las puertas metálicas de acceso, el neutro del transformador y los terminales premoldeados, todos conectados a un barraje de tierras común, vinculado al sistema general de puesta a tierra, conforme a lo establecido en el RETIE y la NTC 2050 (figura 42).

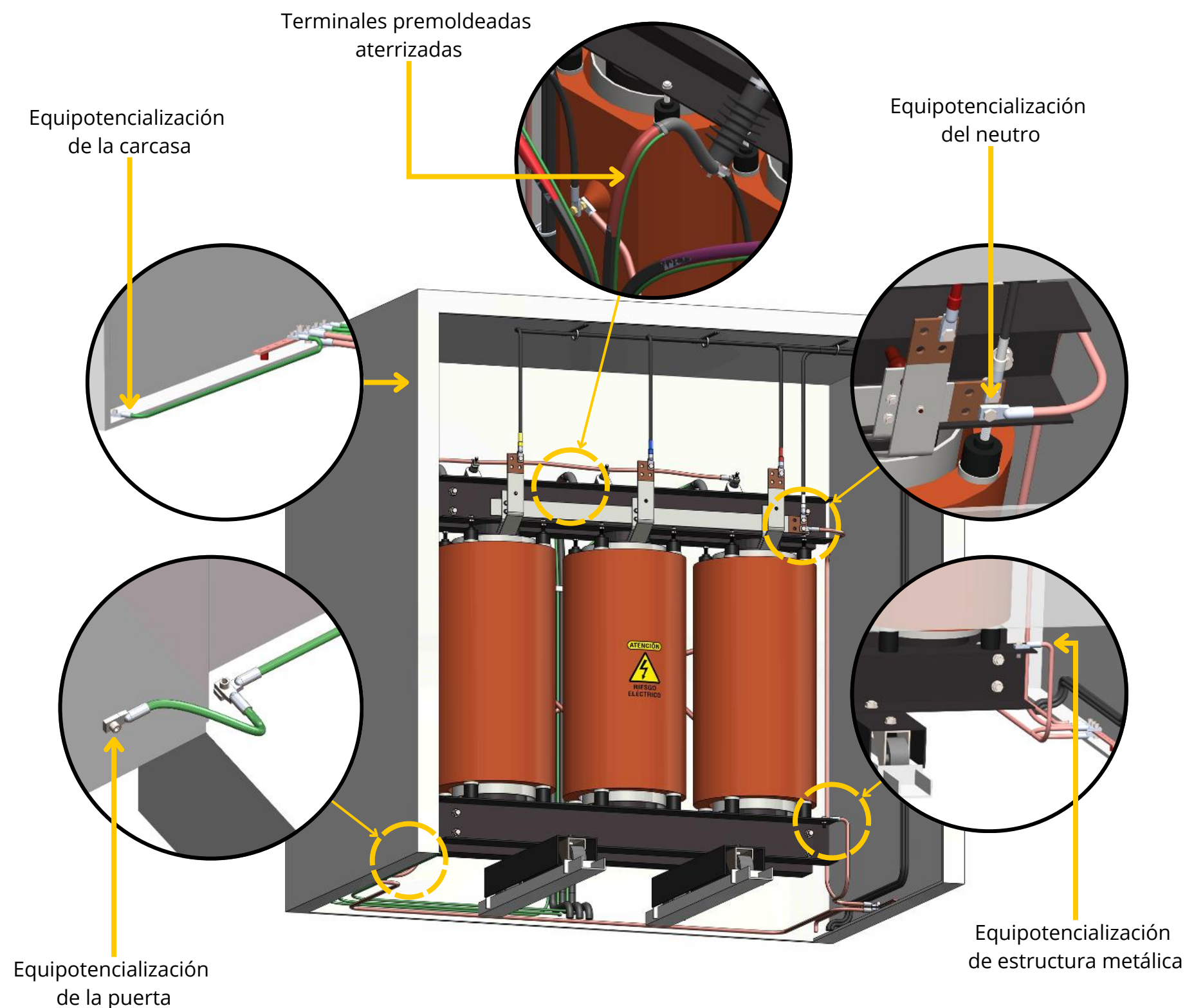


Figura 42. Interconexión de partes metálicas y componentes eléctricos al barraje común de tierras en transformadores.

B.2. Para Transformadores refrigerados en aceite

B.2.1. Selección del transformador: deben analizarse los mismos criterios de carga y eficiencia aplicados al tipo seco, incluyendo el tipo de aceite dieléctrico (mineral o vegetal) según los criterios ambientales y de seguridad del proyecto.

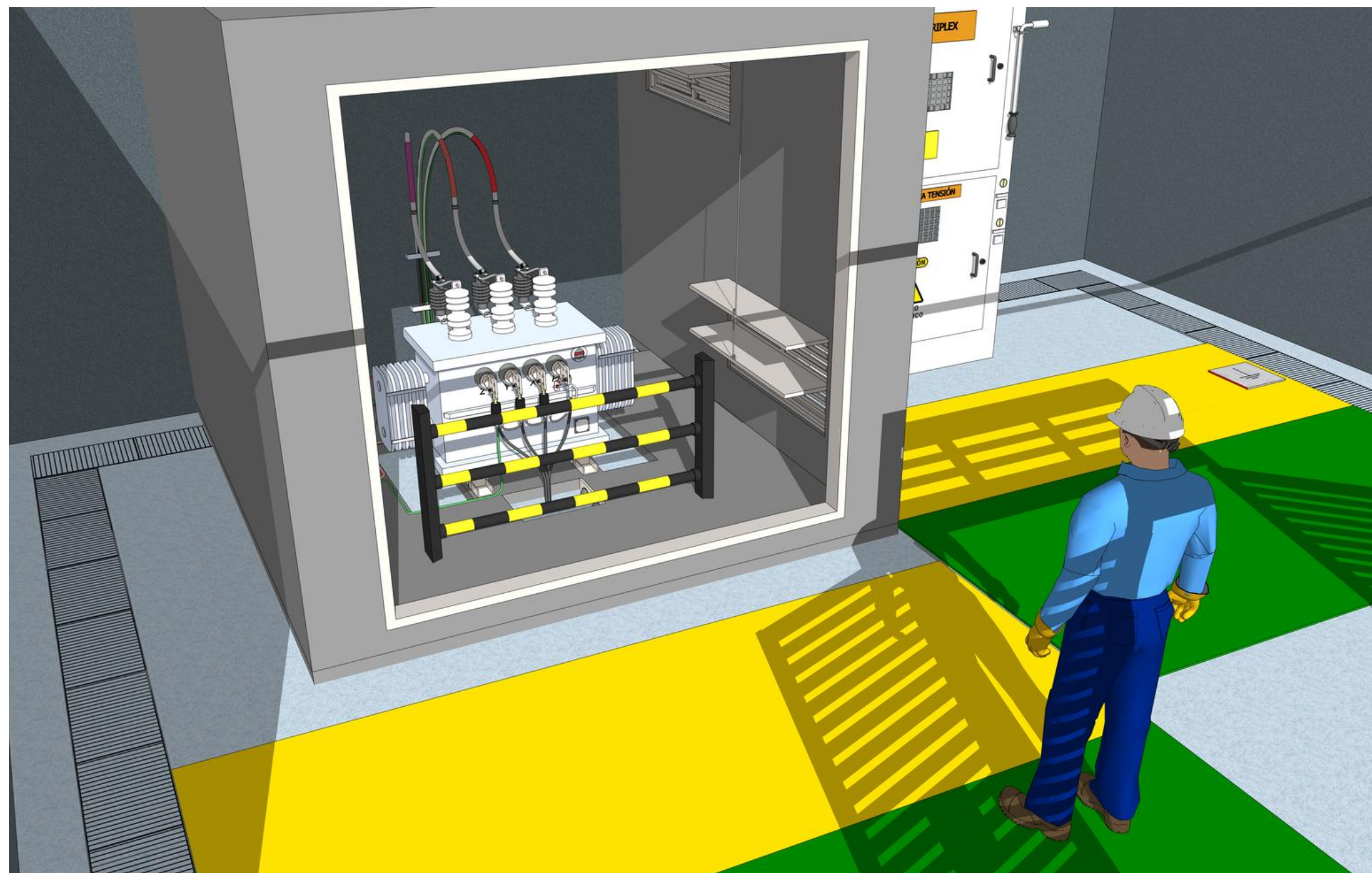


Figura 43. Interconexión de partes metálicas y componentes eléctricos al barraje común de tierras en transformadores.

B.2.2. Cálculo térmico y resistencia al fuego en cuartos eléctricos: el diseño debe contemplar disipación pasiva de calor por convección natural del aceite y considerar la instalación en cuartos eléctricos con ventilación natural o forzada.

- Deben implementarse soluciones constructivas integrales y elementos de protección pasiva contra incendios de resistencia al fuego en caso de explosión o fuga del dieléctrico, incluyendo muros cortafuego y puertas certificadas con una resistencia mínima al fuego de 180 minutos . Asimismo, se deben prever salidas de aire caliente y entradas de aire fresco opuestas para favorecer la convección cruzada, y se debe prever ventilación de alivio de presión mediante dampers de sobrepresión calibrados con fusibles térmicos, así como el uso de pasamuros blindados en media y baja tensión que aseguren una compartimentación efectiva y el aislamiento seguro entre zonas con riesgo eléctrico y áreas adyacentes del cuarto eléctrico.

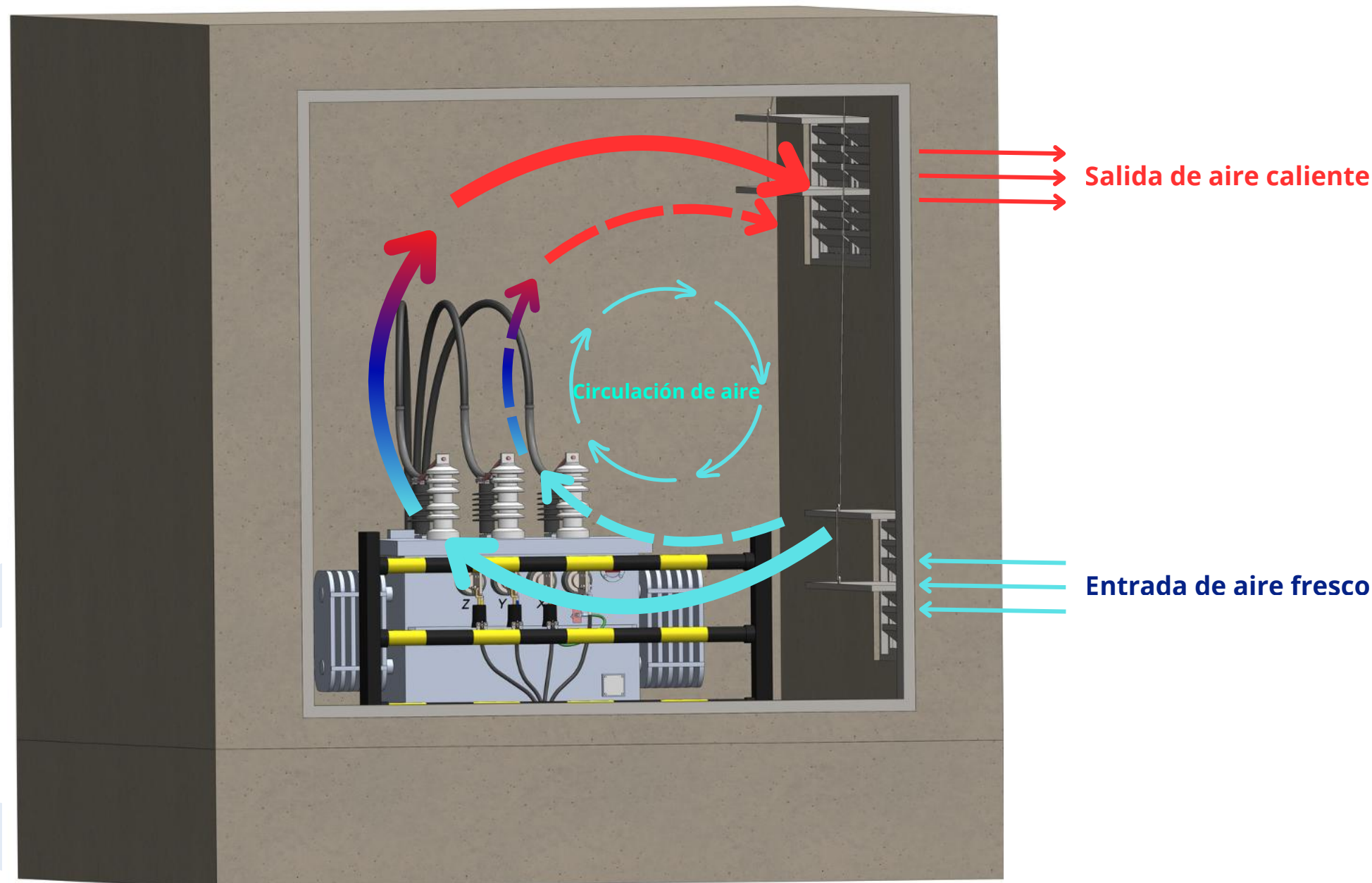


Figura 44. Disposición de entradas y salidas de aire para ventilación y control térmico en cuartos de transformadores

- Los dampers deben incorporar un fusible térmico o mecánico diseñado para activarse automáticamente ante incrementos súbitos de presión o temperatura. En caso de explosión o fuego, dicho fusible activará el cierre automático de los dampers de ventilación, generando una condición de ahogamiento del fuego al interior del cuarto eléctrico mediante la reducción del flujo de oxígeno hacia el interior, logrando su sofocación de forma controlada. El tamaño y capacidad de los dampers deberá dimensionarse en función de la potencia del transformador, el volumen del cuarto eléctrico y la tasa esperada de liberación de presión, conforme a las recomendaciones del fabricante y normas de ingeniería. Estas consideraciones buscan mitigar los riesgos de incendio y proteger tanto a las personas como a los equipos e infraestructura adyacente.

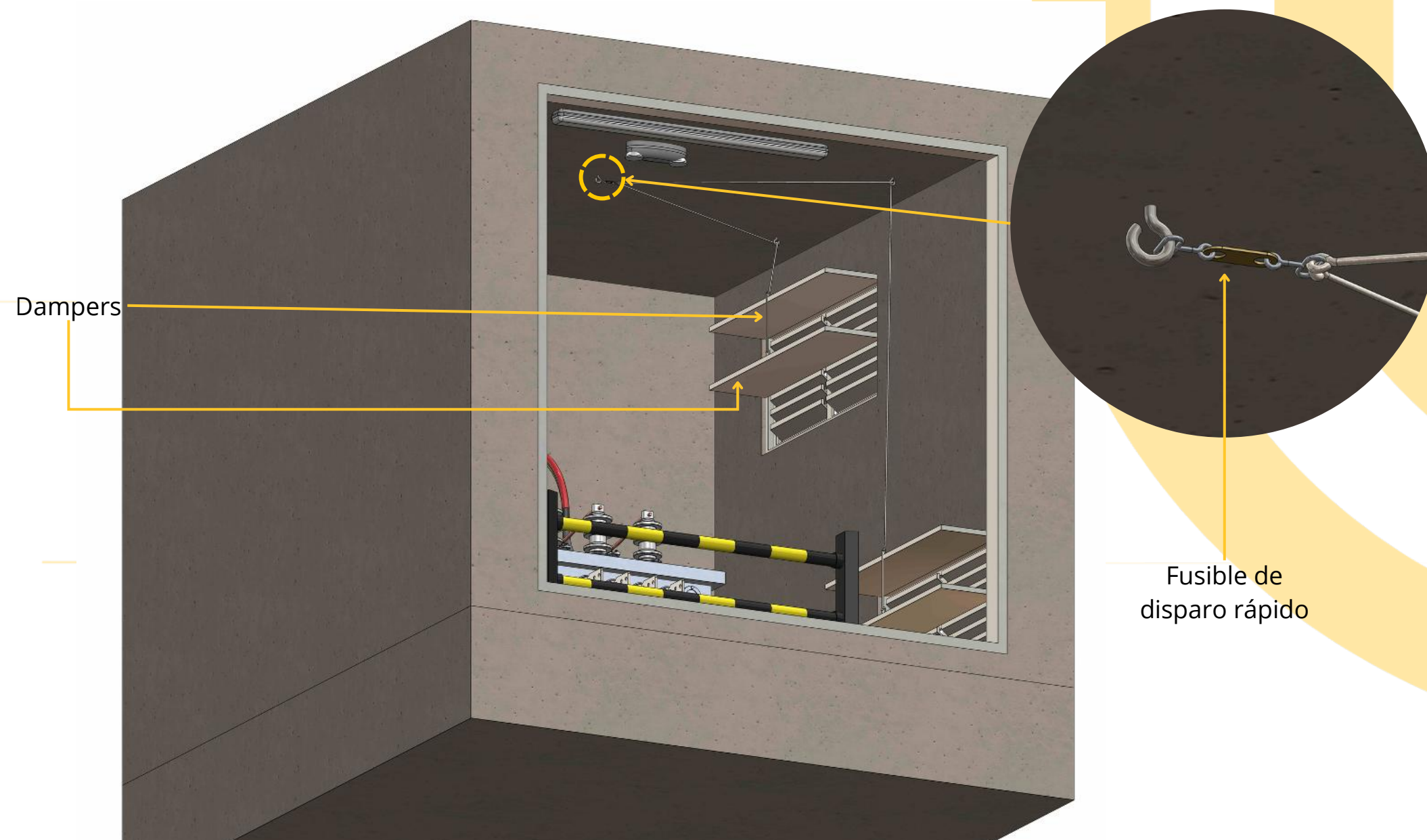


Figura 45. Detalles de Dampers y ventilación de cerramiento: centro de transformación tipo interior en aceite

B.2.3. Distancias mínimas de seguridad:

- Distancia mínima interna entre el transformador refrigerado en aceite y las paredes de la bóveda de concreto: 0.60 m en los laterales y parte posterior, salvo indicación expresa del fabricante. En el frente de operación, donde se ubican los terminales, dispositivos de conexión y elementos de maniobra, se debe mantener una distancia libre mínima de 1 m dentro del cuarto eléctrico o bóveda, conforme a lo exigido por el RETIE y la NTC 2050 para zonas de trabajo seguro. Esta medida garantiza el acceso directo para tareas de inspección, conexión de cables, maniobras de seccionamiento y mantenimiento general, sin comprometer la seguridad del personal ni interferir con equipos energizados. La distancia frontal también debe permitir la apertura total de puertas, el retiro del transformador y la evacuación segura en caso de emergencia. En presencia de celosías de ventilación ubicadas en los laterales o parte superior de la celda, se debe garantizar un despeje libre mínimo de 0.20 m que permita el flujo adecuado de aire de entrada y salida, asegurando la convección térmica.

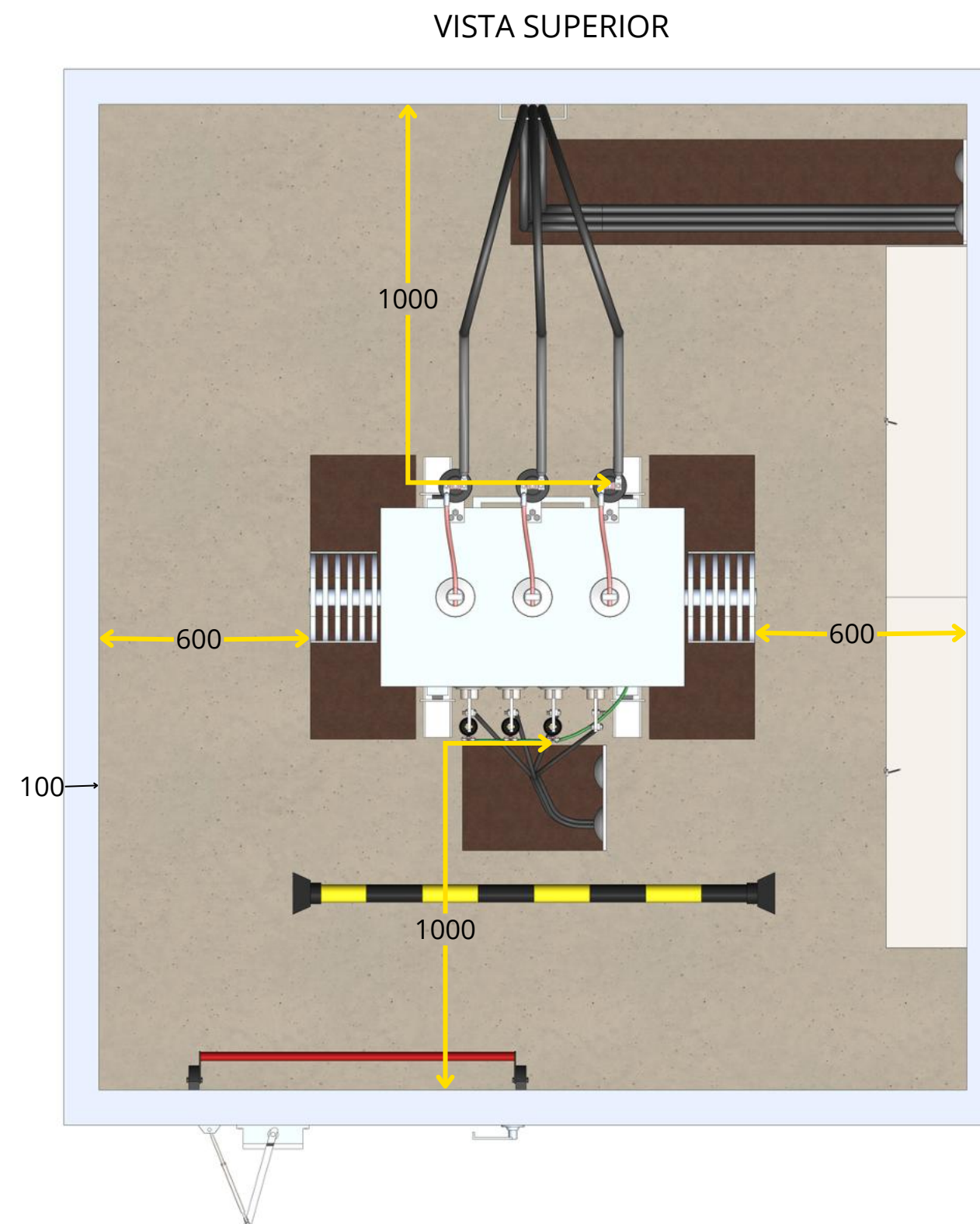


Figura 46. Distancias de trabajo para Centro de transformación tipo interior en aceite

- Espacio libre superior sobre el transformador refrigerado en aceite dentro de una bóveda: se debe garantizar una distancia mínima vertical de 1.5 m entre la parte superior del transformador y el techo del cuarto eléctrico o bóveda. Esta separación es necesaria para asegurar una adecuada disipación térmica por convección ascendente, permitir maniobras de mantenimiento e inspección seguras y cumplir con las condiciones de ventilación establecidas. Además, se prohíbe expresamente instalar sobre este espacio cualquier tipo de ducto, tubería de agua, vapor, gas o elemento ajeno al sistema eléctrico, debido al riesgo de incendio, interferencia electromecánica o dificultad para operar en condiciones de seguridad.

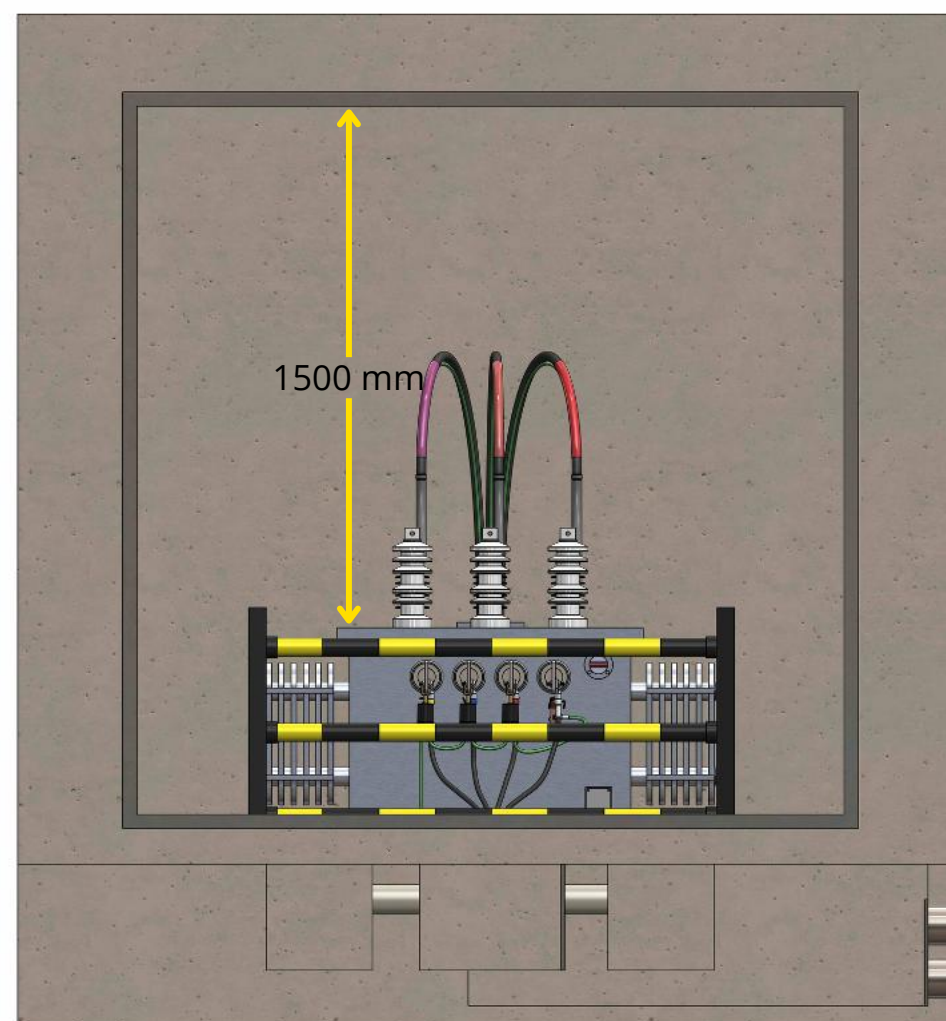


Figura 47. Separación vertical mínima de 1,5 m entre el transformador refrigerado en aceite y el techo de la bóveda.

- Distancias dieléctricas internas: deberán seguir lo establecido por el fabricante en función del nivel de tensión y tipo de aceite utilizado. En ausencia de dicha información, se recomienda tomar como referencia las siguientes distancias mínimas:
 - a. Para 15 kV: 120 mm entre fases y 165 mm entre fase y tierra.
 - b. Para 36 kV: 229 mm entre fases y 330 mm entre fase y tierra.
 - c. Estas distancias garantizan el aislamiento interno del sistema y deben ser validadas mediante pruebas de rutina o protocolos del fabricante.

B.2.4. Requisitos estructurales y de seguridad de la bóveda

- La carga puntual debe calcularse según el peso total del transformador, incluyendo el aceite dieléctrico y su base estructural, asegurando que el concreto armado soporte el peso sin deformaciones ni fallas. Este cálculo debe contemplar también condiciones de mantenimiento y eventos sísmicos, garantizando estabilidad y seguridad estructural.
- Concreto estructural armado con resistencia mínima $f'c \geq 3,000$ psi.
- Espesor mínimo de losa de concreto: 15 cm para transformadores hasta 500 kVA, o mayor según cálculo estructural.
- Acabado superficial antideslizante.
- Muros laterales, piso y techo contruidos en concreto estructural armado con un espesor mínimo recomendado de 20 cm, para garantizar una resistencia al fuego certificada de 180 minutos (RF-180), conforme a RETIE y normas ASTM o equivalentes.
- Ingreso canalizado o mediante pasamuros para media y baja tensión, con espacio mínimo libre de 1.0 m alrededor para instalación y curvatura de cables.
- Trampa o cárcamo de contención con capacidad igual o superior al 100% del volumen total de aceite contenido en el transformador.
- Las puertas deben estar provistas de un brocal o umbral de contención construido en material no combustible y resistente al fuego, con una altura mínima de 0.10 m, para evitar la fuga del aceite contenido en el transformador en caso de derrame.
- Las puertas deben permanecer cerradas con cerradura de seguridad, abrir hacia afuera y estar equipadas con chapa antipánico. El acceso debe ser exclusivo para personal calificado.

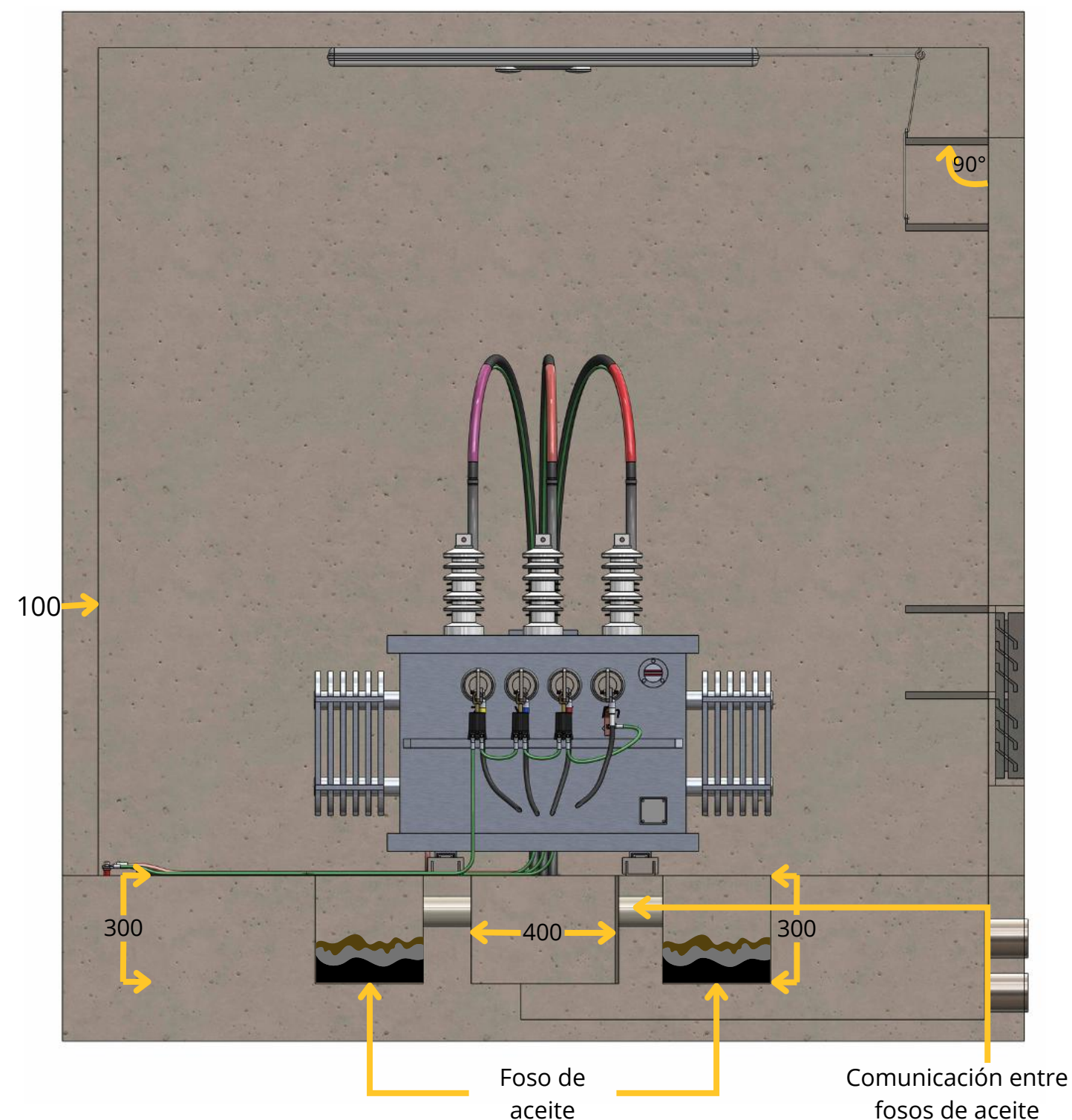


Figura 48. Detalle constructivo para trampa de aceite

- El cuarto eléctrico debe contar con iluminación permanente de al menos 200 lux y un sistema de alumbrado de emergencia con un nivel mínimo de 5 lux, conforme a lo exigido por el RETILAP 2024 para áreas técnicas interiores.

Luminaria permanente
min. 200 lux

Luminaria de
emergencia de 5 lux

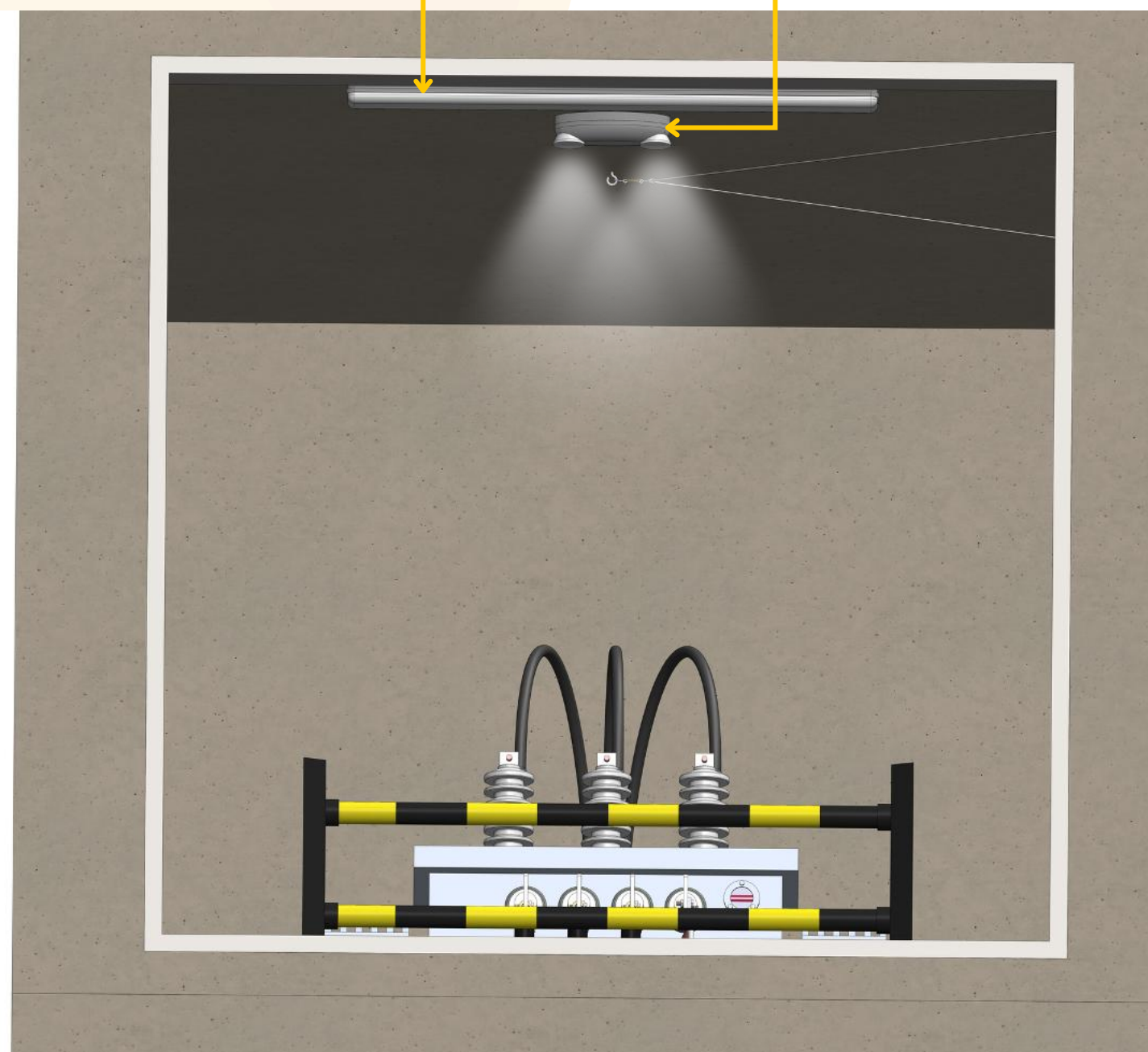


Figura 49. Detalle de instalación de luminarias en el cuarto de transformador refrigerado en aceite

- Se debe instalar una barrera de seguridad, como una reja o cerramiento modular, inmediatamente después de la puerta cortafuego de la bóveda para restringir el acceso a la zona del transformador.

Barrera de seguridad

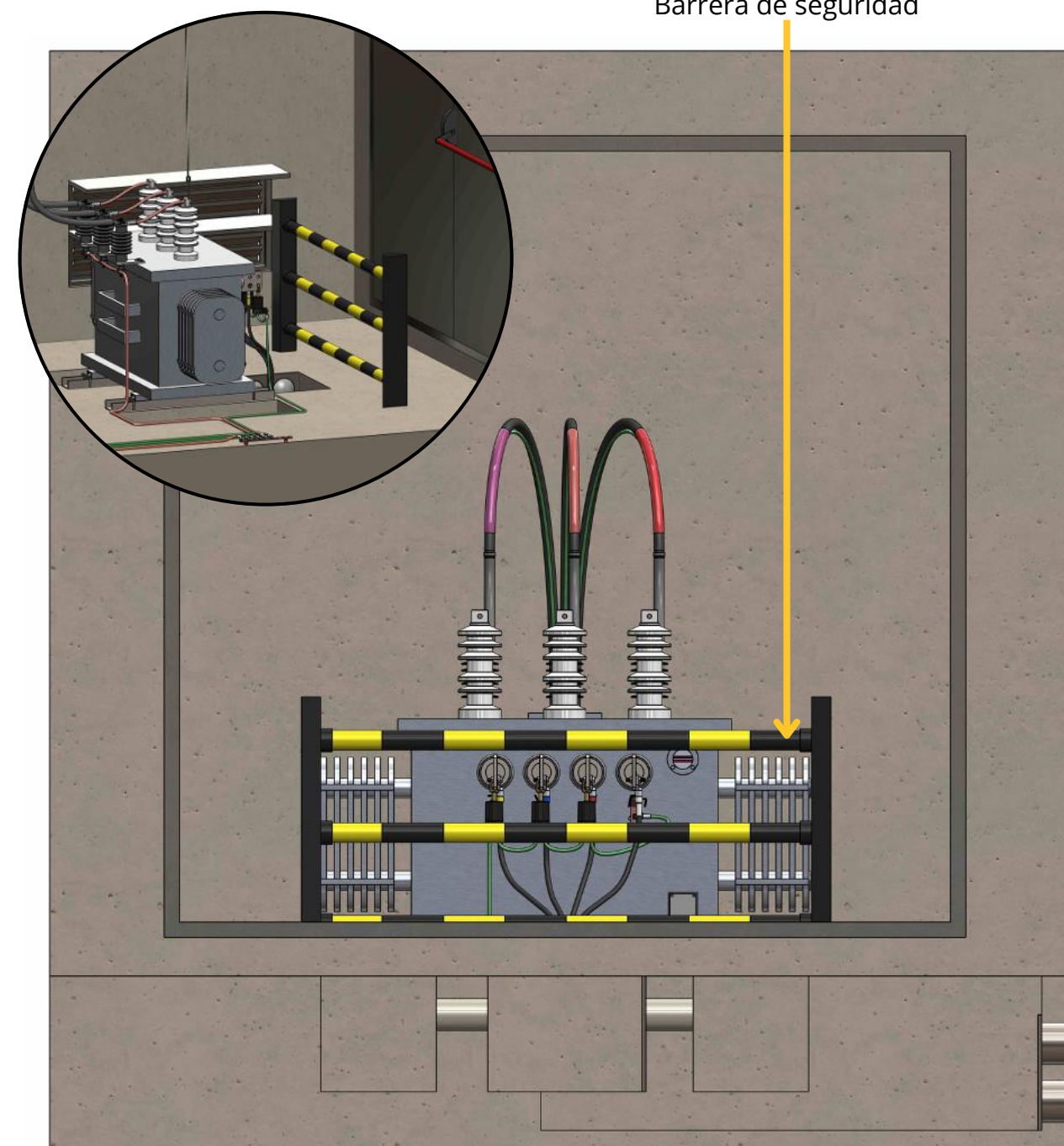


Figura 50. Instalación obligatoria de la barrera de seguridad

B.2.5. Protecciones:

- El transformador debe estar protegido mediante un sistema integral que cubra los niveles de media y baja tensión. Por el lado de media tensión, la protección debe implementarse mediante interruptores o fusibles tipo limitador alojados en una celda específica, complementados con una celda de carga en aire o una celda de seccionamiento encapsulada en gas SF₆, la cual debe garantizar aislamiento visible y la desconexión segura del equipo para labores de mantenimiento. Por el lado de baja tensión, la protección debe establecerse en una celda independiente dentro del tablero general de acometida (TGA), utilizando interruptores automáticos, seccionadores, protecciones diferenciales y dispositivos de medición, configurados según el nivel de criticidad del sistema eléctrico. Estas medidas aseguran una protección coordinada y segura frente a sobrecorrientes, cortocircuitos y fallas internas.
- La coordinación entre protecciones MT-BT debe asegurar la selectividad y evitar aperturas innecesarias del sistema.
- El sistema de tierras debe garantizar la equipotencialidad entre la carcasa del transformador, estructura metálica, neutro del transformador, terminales premoldeadas, puertas metálicas de acceso y cárcamos metálicos de conexión, mediante la instalación de un barraje de tierras que permita interconectar todos estos elementos.



1.3.2.4 CENTROS DE TRANSFORMACIÓN SEMISUMERGIBLE



A) DEFINICIÓN Y OBJETIVO

Los centros de transformación semisumergibles son unidades compactas, prefabricadas y herméticas, diseñadas para alojar transformadores y equipos de maniobra de media y baja tensión, principalmente en ubicaciones urbanas con restricciones de espacio y acceso, siendo igualmente adecuados para sectores con riesgo de inundación parcial. Estas soluciones tienen como objetivo proporcionar una infraestructura eléctrica confiable y segura en ubicaciones urbanas restringidas, asegurando la continuidad del servicio y la protección de los equipos incluso ante la presencia eventual de agua.

De acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2024, específicamente en su Título 22 del Libro 3 y el Artículo 3.17.28, se establecen requisitos normativos aplicables a subestaciones semisumergibles:

- Las subestaciones tipo semisumergible o a prueba de inundación deben diseñarse para soportar inmersión parcial temporal, con una columna de agua de al menos 40 cm sobre los equipos por un periodo mínimo de 24 horas, disponiendo de un sistema de drenaje eficiente que permita evacuar el agua antes de superar los tiempos máximos de resistencia.
- En instalaciones subterráneas donde no sea viable garantizar la estanqueidad total, el RETIE exige el uso obligatorio de transformadores y equipos tipo sumergible.

Estas exigencias normativas respaldan la implementación de soluciones semisumergibles, asegurando su idoneidad para operar bajo condiciones controladas de inmersión parcial, conforme a la regulación vigente.

B) METODOLOGÍA DE CÁLCULO / CRITERIOS DE DISEÑO

B.1. OBRAS CIVILES

La solución debe contemplar cámaras prefabricadas tipo monobloque o estructuras de concreto armado, diseñadas para resistir presión hidrostática y evitar infiltraciones. El piso debe tener espesor mínimo de 20 cm, en concreto reforzado (mínimo 3000 psi), con refuerzo metálico conforme al diseño estructural. Se debe garantizar la integridad mecánica, facilidad de mantenimiento y estanqueidad. Las superficies interiores deben incluir canales de evacuación y tratamientos antideslizantes. Las estructuras pueden incorporar cámaras de instalación directa o cámaras modulares tipo PFS según condiciones del proyecto.

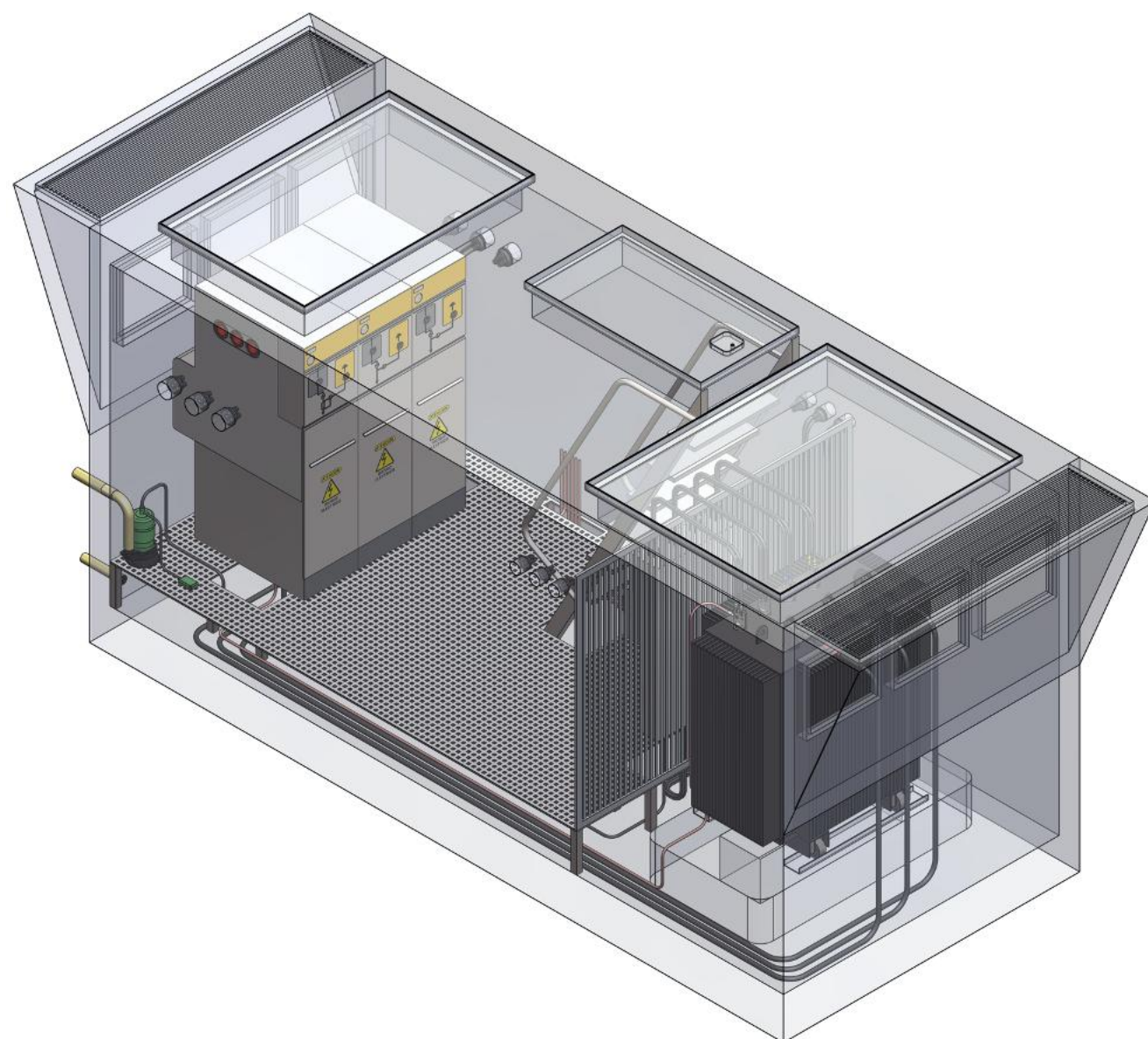


Figura 51. Detalle de construcción civil para transformador semisumergible

B.2. VENTILACIÓN:

Debe preverse ventilación natural o forzada para garantizar evacuación térmica. Se recomienda ventilación vertical cuando exista salida directa a superficie o ventilación horizontal cuando se limite el espacio. Las aberturas deben estar diseñadas con protecciones contra ingreso de agua, rejillas anticorrosivas y ductos de ventilación con trampa hídrica si es necesario.

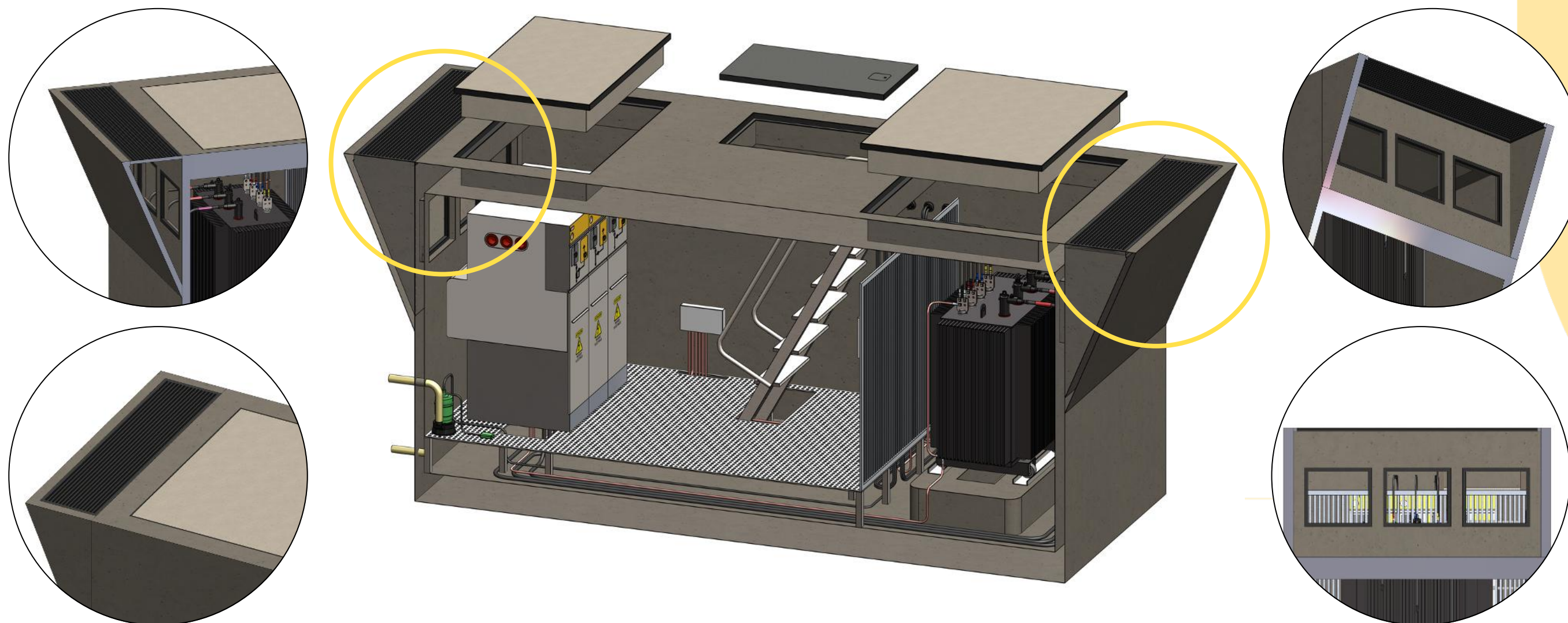


Figura 52. Sistemas de ventilación en transformador semisumergible

B.3. BASE ESTRUCTURAL ELEVADA:

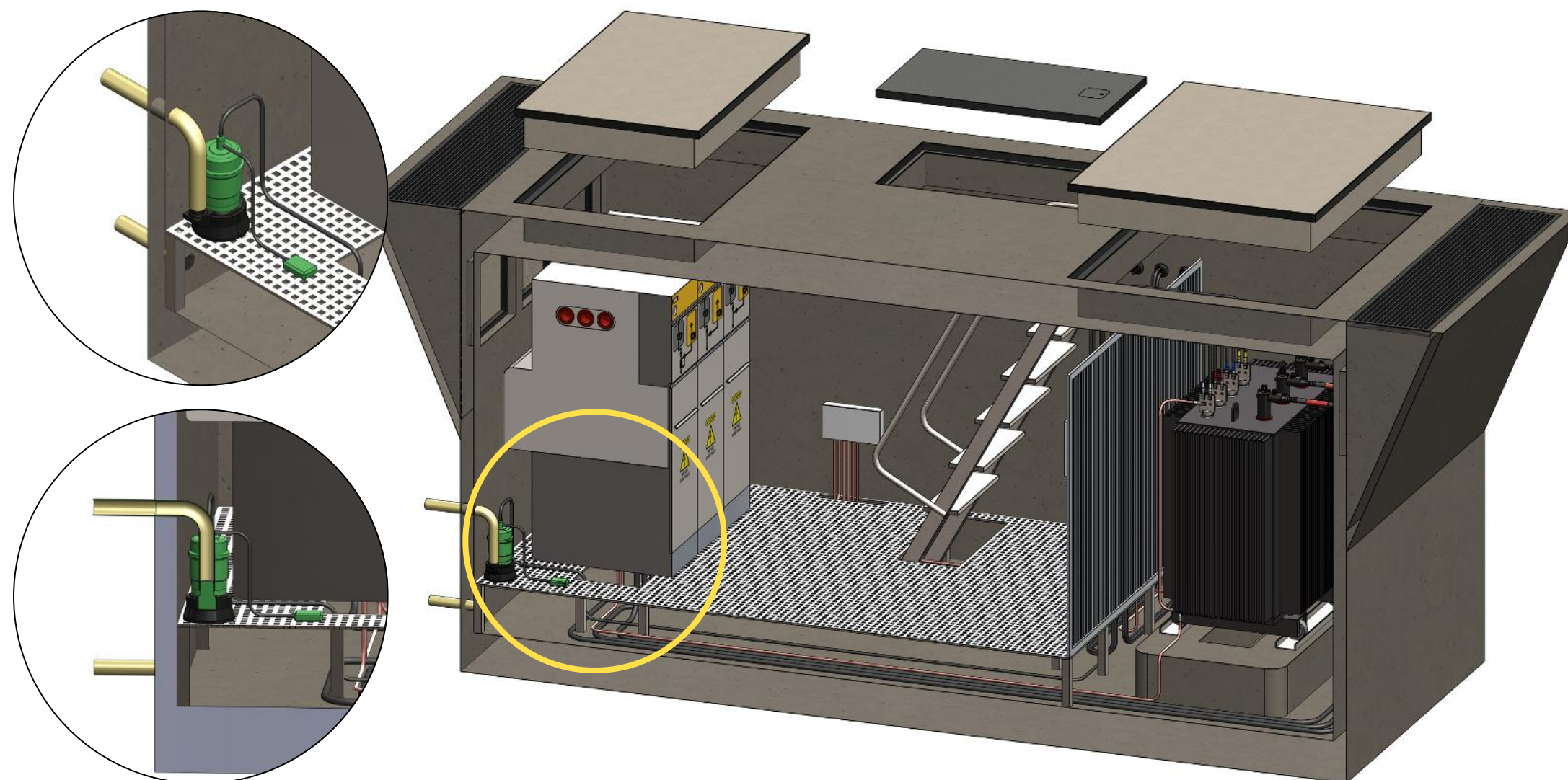
Cuando se instale en zonas con riesgo de acumulación de agua superficial, se recomienda elevar la subestación mínimo 30 cm sobre el nivel de terreno natural, o garantizar estabilidad mediante cálculo estructural, incluyendo sistema de anclaje antidesplazamiento si la base está por debajo del nivel freático.

B.4. ENVOLVENTES:

Se deben utilizar estructuras prefabricadas con grado de protección IP68 o cámaras de concreto con tratamiento impermeabilizante integral. Las envolventes deben resistir humedad, intemperie, cargas estructurales y vandalismo.

B.5. DRENAJE:

Debe instalarse sistema de evacuación por gravedad complementado con drenaje activo mediante electrobombas automáticas, con sensores de nivel, válvulas antirretorno y canalización segura hacia sistema de alcantarillado o sumidero controlado. Se deben prever sumideros con capacidad de reserva ante falla temporal del sistema de bombeo.



NOTA IMPORTANTE

El sistema de drenaje deberá estar conectado de manera adecuada al sistema de alcantarillado o sumidero controlado. Esto garantiza un flujo continuo y seguro del agua evacuada, minimizando riesgos de acumulación o mal manejo de las aguas pluviales. La instalación debe cumplir con los requisitos técnicos de conexión y mantenimiento establecidos por la normativa vigente.

Figura 53. Uso de electrobombas para drenaje en caso de aumento en el nivel de agua

B.6. EQUIPOS ELÉCTRICOS:

Se deben instalar celdas GIS (Gas Insulated Switchgear) o equipos modulares con aislamiento en gas o vacío, con clasificación IAC AFL(R), la cual indica que el equipo cuenta con una capacidad de contención de arco interno (Internal Arc Classification), soportando fallas internas de arco eléctrico con protección en todos los frentes (AFL: Access Front, Lateral) y garantizando la seguridad del personal incluso en condiciones de falla restringida (R: Restricted access). (Internal Arc Classification - Arc Fault Level - Restricted), según IEC 62271. El diseño debe asegurar compartimentación funcional entre seccionamiento, protección y medida, así como puertas de acceso con enclavamiento y ventilación sectorizada.

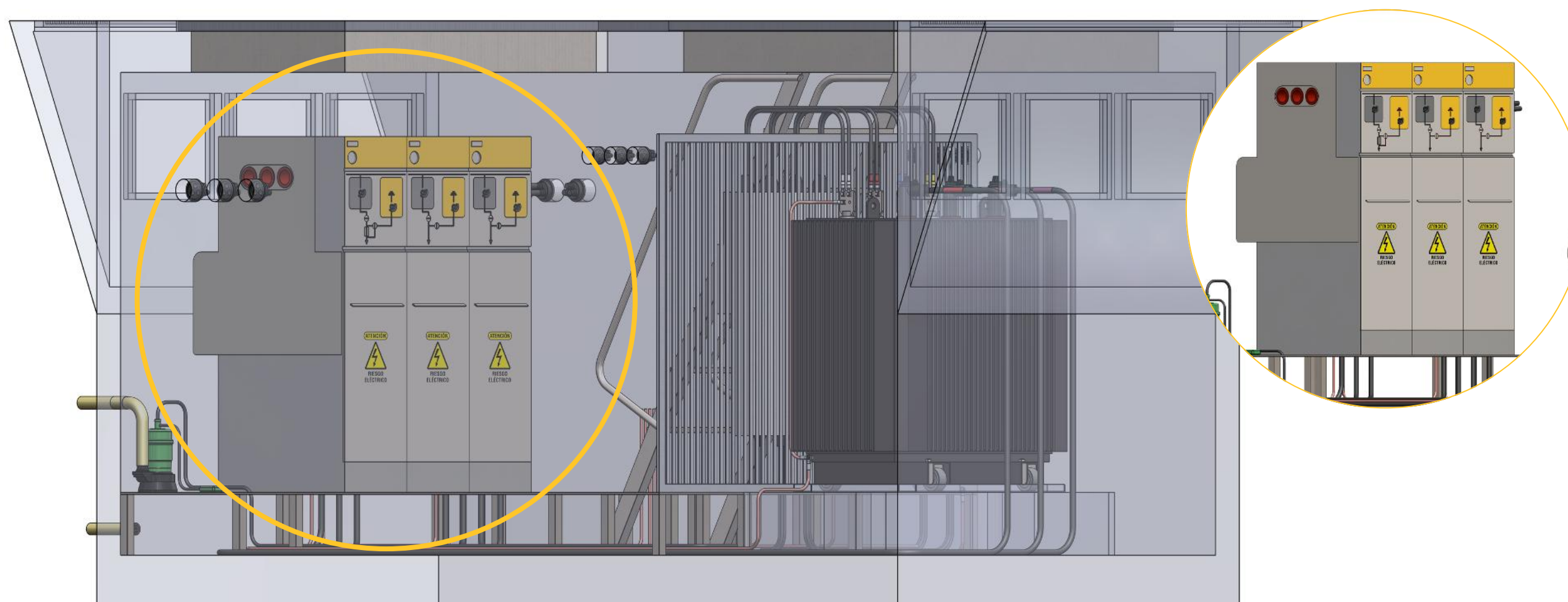


Figura 54. Celdas GIS con aislamiento en gas y vacío para subestaciones eléctricas

B.7. TRANSFORMADORES:

Deben seleccionarse transformadores tipo sumergible o semisumergible refrigerados en aceite dieléctrico biodegradable, con carcasa IP68, ventilación sellada y potencia entre 100 y 1600 kVA. Se recomienda el uso de transformadores con nivel de tensión 13,2 kV en el lado primario y 208/127 V en el lado secundario, adecuados para aplicaciones urbanas de distribución. En casos justificados, podrán utilizarse transformadores tipo seco certificados para humedad y ambientes semi-enterrados. El sistema debe incluir acceso para izado seguro, puntos de conexión accesibles y dispositivos de protección interna.

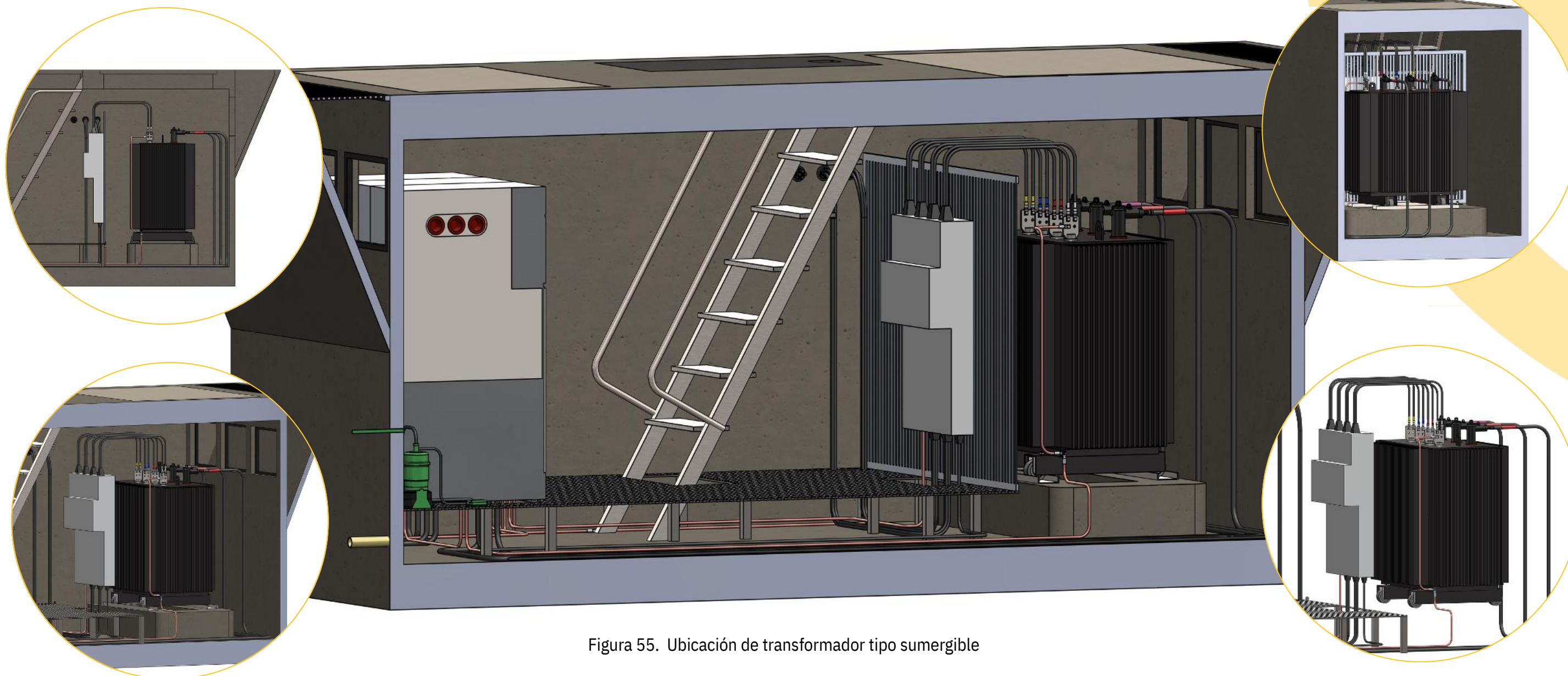


Figura 55. Ubicación de transformador tipo sumergible

B.8. PASOS DE CABLES:

Los accesos de cables MT y BT deben sellarse mediante prensaestopas o pasos herméticos, instalados en muros laterales o piso según disposición modular. Los conductos deben estar identificados y protegidos mecánicamente con tubos no metálicos o registros de inspección.

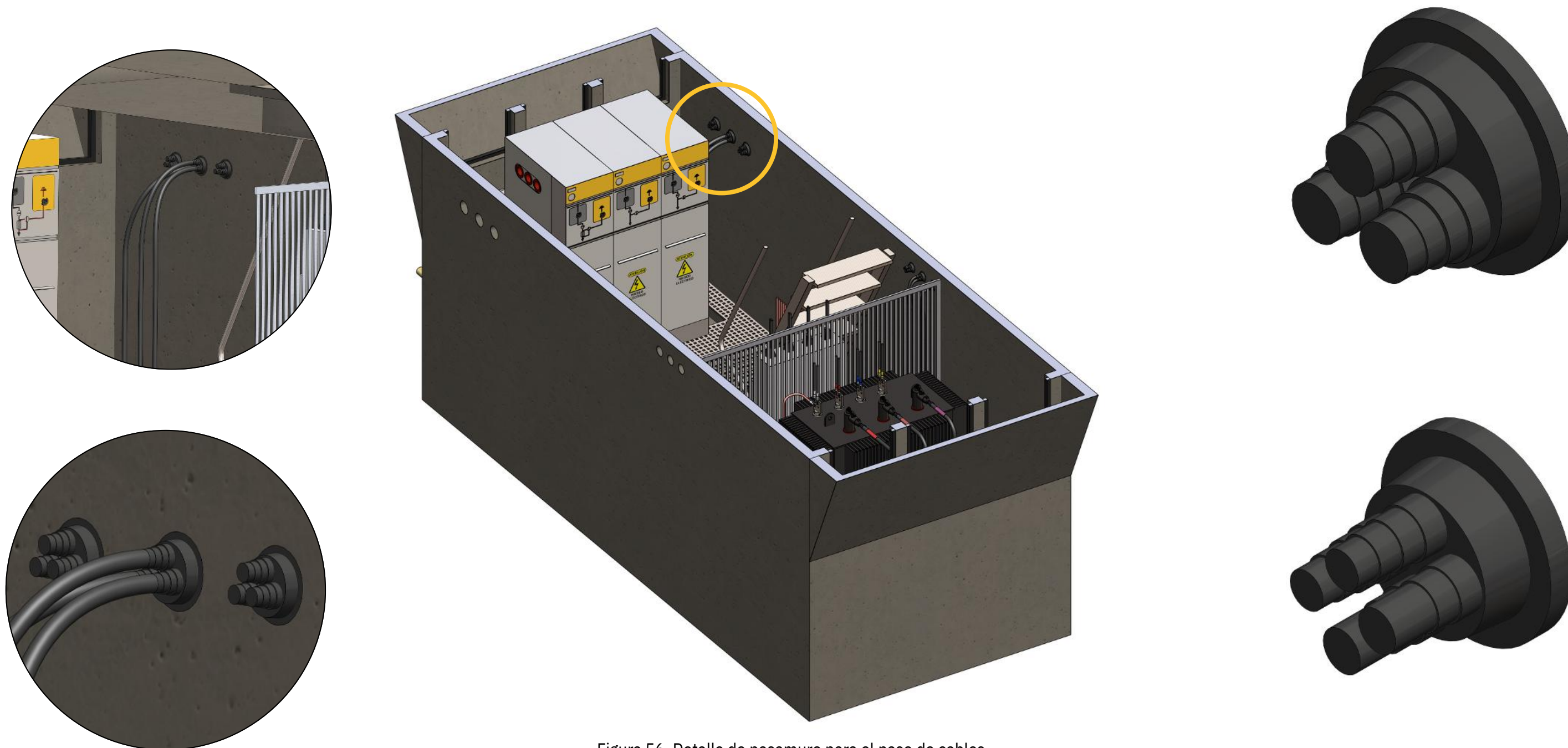


Figura 56. Detalle de pasamuro para el paso de cables

B.9. MONITOREO:

Debe incluir sensores de humedad, alarmas de nivel de agua, registro remoto y dispositivos de corte por sobretemperatura o evento de falla. Las señales deben reportarse vía SCADA o sistema local de alerta visual y sonora.

B.10. PROTECCIÓN AMBIENTAL:

Se recomienda el uso de aceites dieléctricos biodegradables, pinturas sin compuestos tóxicos, y materiales constructivos certificados para minimizar el impacto ambiental. La cámara debe contar con piso impermeabilizado y sistema de contención de derrames

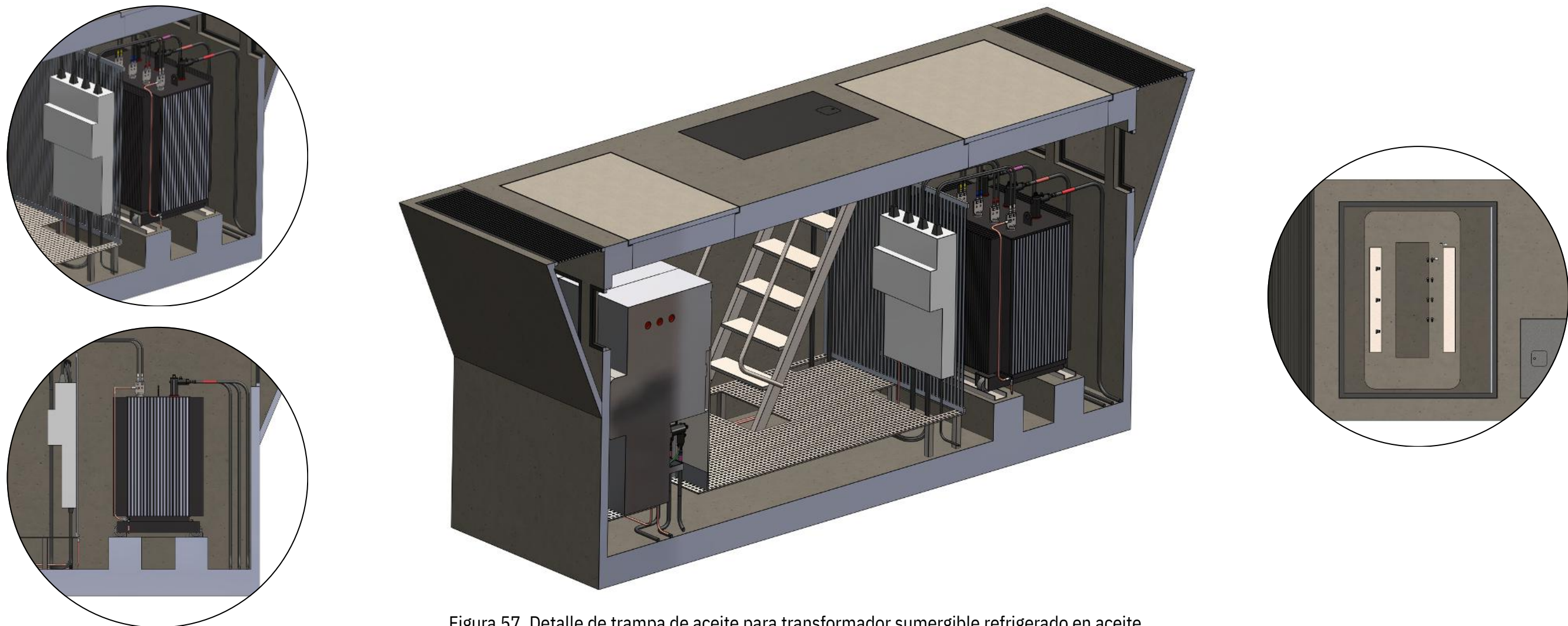


Figura 57. Detalle de trampa de aceite para transformador sumergible refrigerado en aceite

C) TABLAS DE VALORES Y EJEMPLOS PRÁCTICOS

Componente	Valor Recomendado	Observaciones
Espesor del piso	≥ 20 cm en concreto reforzado (3000 psi)	Con malla o acero estructural según cálculo
Altura base sobre terreno	≥ 30 cm	Recomendado en zonas con riesgo de acumulación superficial de agua
Clasificación IP	IP68	Para transformadores y equipos de maniobra
Columna de agua resistente	40 cm por 24 horas	Conforme Art. 3.17.28 del RETIE Libro 3
Sistema de drenaje	Doble: activo (electrobombas) + pasivo (gravedad)	Ambos con válvula antirretorno
Tipo de transformador	Aceite dieléctrico biodegradable, tipo sumergible	Tipo seco solo en condiciones de humedad controlada
Ventilación recomendada	Vertical o horizontal	Según configuración estructural del recinto
Celdas de MT	GIS, clasificación IAC AFL(R)	Según IEC 62271

Tabla 10. Parámetros técnicos recomendados para diseño de subestaciones semi sumergibles

D) RECOMENDACIONES TÉCNICAS / BUENAS PRÁCTICAS

- D.1. Priorizar el uso de transformadores tipo sumergible IP68 en zonas urbanas con riesgo de inundación o con alto nivel freático.
- D.2. Utilizar cámaras prefabricadas tipo PFS o soluciones modulares que faciliten el mantenimiento y reduzcan los tiempos de instalación.
- D.3. Realizar mantenimiento periódico al sistema de drenaje, incluyendo limpieza de sumideros y verificación del funcionamiento de electrobombas.
- D.4. Implementar sistemas de monitoreo remoto para condiciones de humedad, temperatura y alarmas de falla.
- D.5. Incorporar medidas de ventilación adecuadas según el diseño estructural (vertical o horizontal), asegurando el flujo de aire y evitando acumulación de calor.
- D.6. Verificar que todas las conexiones de media y baja tensión cuenten con sellos herméticos y accesibilidad segura.
- D.7. Incluir señalización y rotulado externo que identifique claramente los riesgos eléctricos y el tipo de instalación.
- D.8. Evaluar las condiciones estructurales del entorno y prever obras de contención o elevación cuando se identifique riesgo de ingreso de agua por escorrentía.
- D.9. Asegurar que los materiales utilizados en envolventes y estructuras tengan resistencia comprobada a corrosión, humedad y esfuerzo mecánico.
- D.10. Contar con un plan de contingencia ante fallas del sistema de drenaje o elevación del nivel freático, incluyendo respaldo energético para electrobombas.

IMPORTANTE

- Las subestaciones semisumergibles constituyen una solución eficiente y segura para zonas urbanas con limitaciones físicas y condiciones hídricas desafiantes. Su implementación permite mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico, garantizar la continuidad del servicio y cumplir con los requisitos técnicos establecidos en el RETIE 2024. Al incorporar transformadores y equipos con clasificación IP68, sistemas de drenaje mixto, estructuras resistentes y ventilación adecuada, se logra una infraestructura adaptable a condiciones adversas, manteniendo la seguridad operativa, la facilidad de mantenimiento y el cumplimiento normativo.

SECCIÓN

1.3.3 DIAGRAMAS UNIFILARES EN CENTROS DE TRANSFORMACIÓN.



Esta sección presenta los diagramas unifilares eléctricos necesarios para la instalación de centros de transformación, considerando diferentes escenarios de implementación.

DIAGRAMAS UNIFILARES: TRANSFORMADOR TIPO PEDESTAL CONFIGURACIÓN EN MALLA Y CONFIGURACIÓN RADIAL

A continuación, se presentan los diagramas unifilares de dos configuraciones comunes de transformadores tipo pedestal: la configuración en malla y la configuración radial. Estos esquemas ilustran las interconexiones eléctricas y la disposición de los componentes en cada configuración, proporcionando una visión clara de cómo se distribuye la energía en sistemas de distribución subterráneos.

Diagrama unifilar tipo pedestal configuración en malla

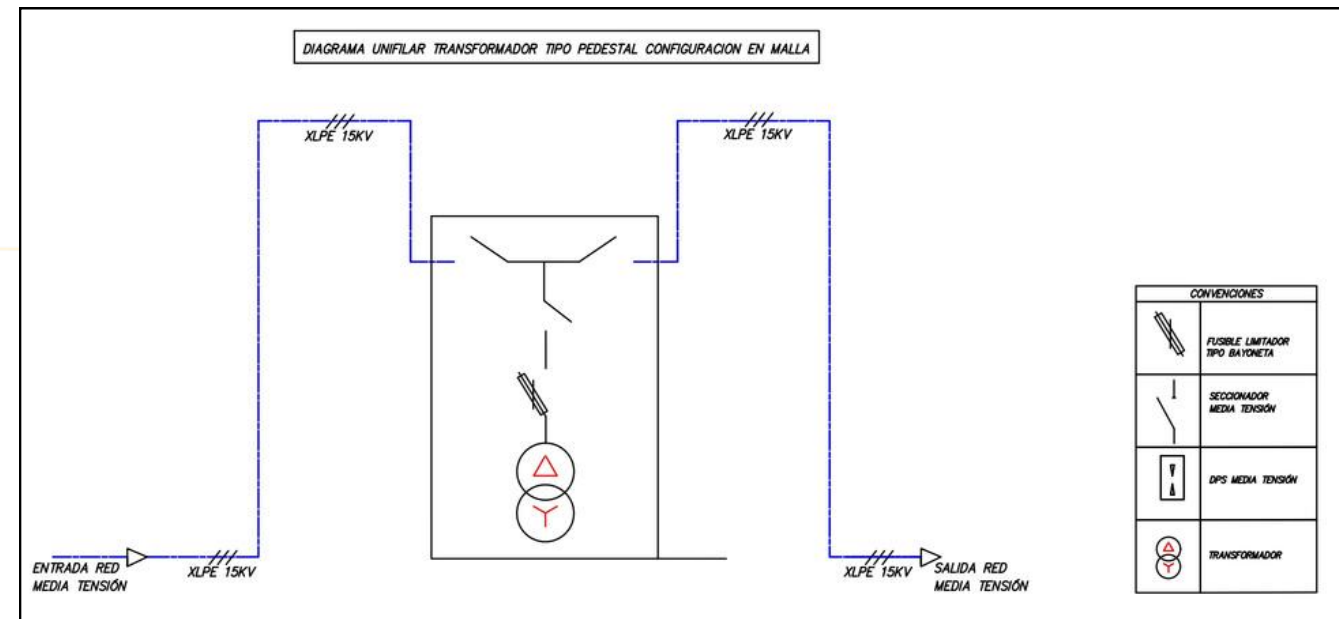


Diagrama unifilar transformador tipo pedestal configuración radial

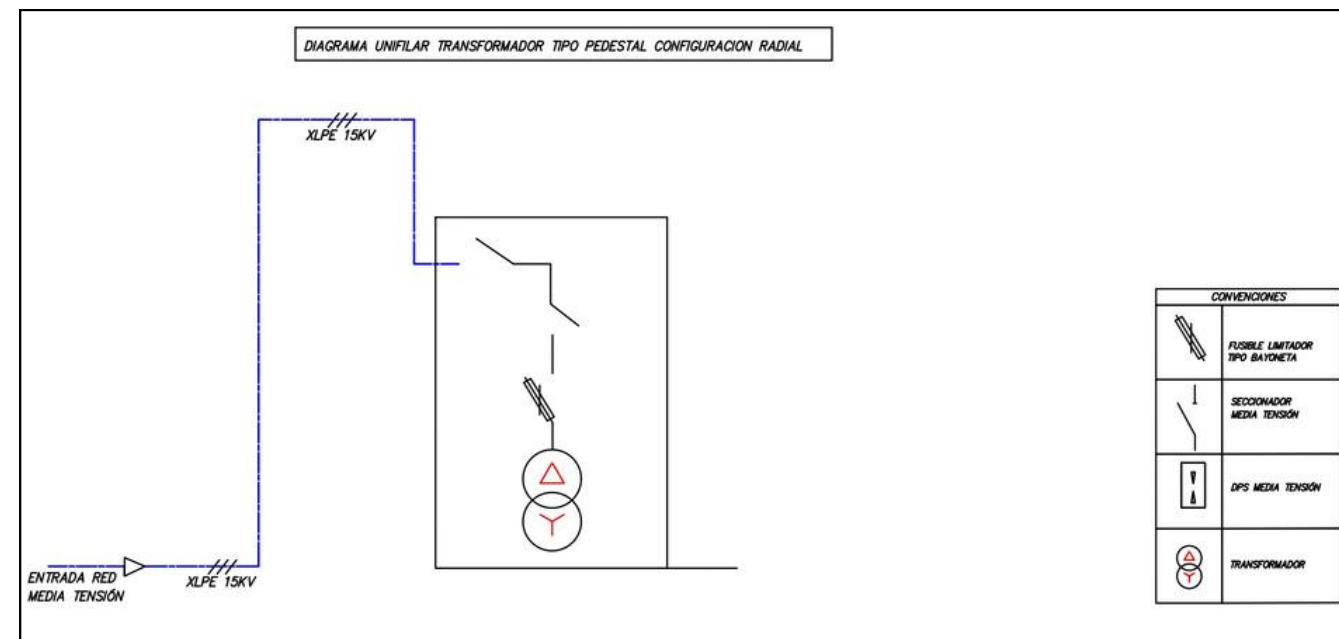
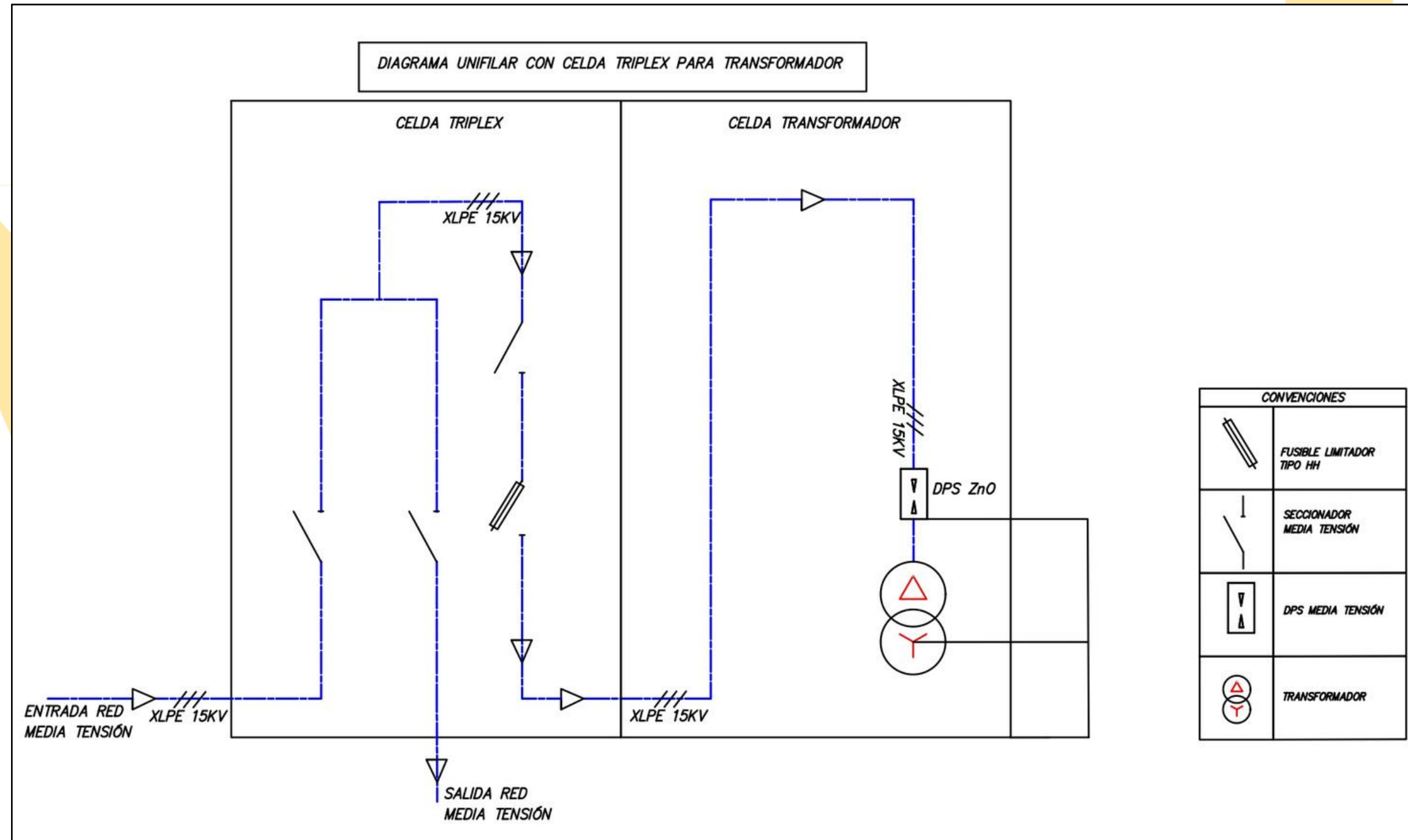


DIAGRAMA UNIFILAR CELDA TRÍPLEX

A continuación, se presenta el diagrama unifilar de una celda de media tensión tríplex. Este esquema muestra la disposición y conexión de los componentes principales, ilustrando cómo se realiza la distribución de energía en esta configuración específica.



CONVENCIONES

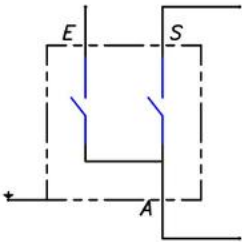
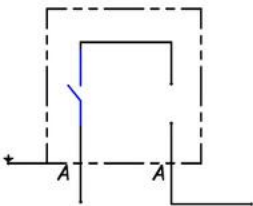
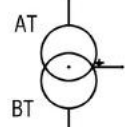
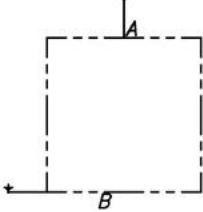
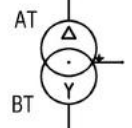
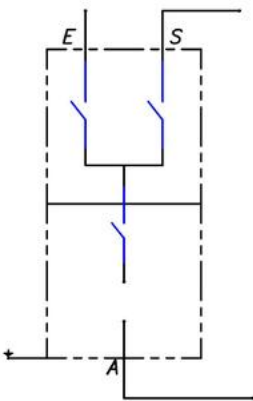
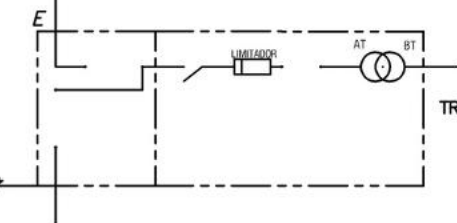
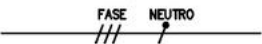
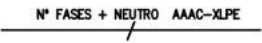
SÍMBOLO		SÍMBOLO	
	BARRAJE O PUNTO DE CONEXIÓN EN MT 13.200V		CELDA CON SECCIONADOR DÓPLEX
	BARRAJE O PUNTO DE CONEXIÓN EN BT		MALLA PUESTA A TIERRA
	EQUIVALENTE DE RED		CELDA DE PROTECCIÓN
	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 13.200V/120V/240V		CELDA PARA TRANSFORMADOR
	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 13.200V/127V/208V		CELDA CON SECCIONADOR Y PROTECCIÓN TRIPLEX
	DISPOSITIVO DE SOBRETENSIÓN DPS MT		TRANSFORMADOR TIPO PEDESTAL PAD-MOUNTED
	SECCIONADOR MONOPOLAR FUSIBLE DE EXPULSIÓN LÍNEA A TIERRA		
	SECCIONADOR PORTA FUSIBLE NH BAJA TENSION		
	DISPOSITIVO DE SOBRETENSION DPS BT		
	FUSIBLE IMITADOR DE PROTECCIÓN		
	LÍNEA DE 13.2 KV EXISTENTE		
	LÍNEA DE 13.2 KV CONSTRUIDA		
	RED COMPACTA PROTEGIDA EN 13.2 KV EXISTENTE		
	RED COMPACTA PROTEGIDA EN 13.2 KV CONSTRUIDA		
	LÍNEA DE 13.2 KV SUBTERRANEA EXISTENTE		
	LÍNEA DE 13.2 KV SUBTERRANEA CONSTRUIDA		
	LÍNEA DE BAJA TENSION EXISTENTE		
	LÍNEA DE BAJA TENSION CONSTRUIDA		
	LÍNEA DE BAJA TENSION SUBTERRANEA EXISTENTE		
	LÍNEA DE BAJA TENSION SUBTERRANEA CONSTRUIDA		
	ACOMETIDA A USUARIO		
	CRUCE AÉREO SIN CONTACTO		
	CRUCE AÉREO CON CONTACTO		
	N° DE CONDUCTORES Y CALIBRE RED ABIERTA B. T.		
	N° DE CONDUCTORES Y CALIBRE RED TRENZADA B. T.		

DIAGRAMA UNIFILAR DE TRANSFORMADOR MONOFÁSICO
 AUTOPROTEGIDO CON FINAL DE CIRCUITO

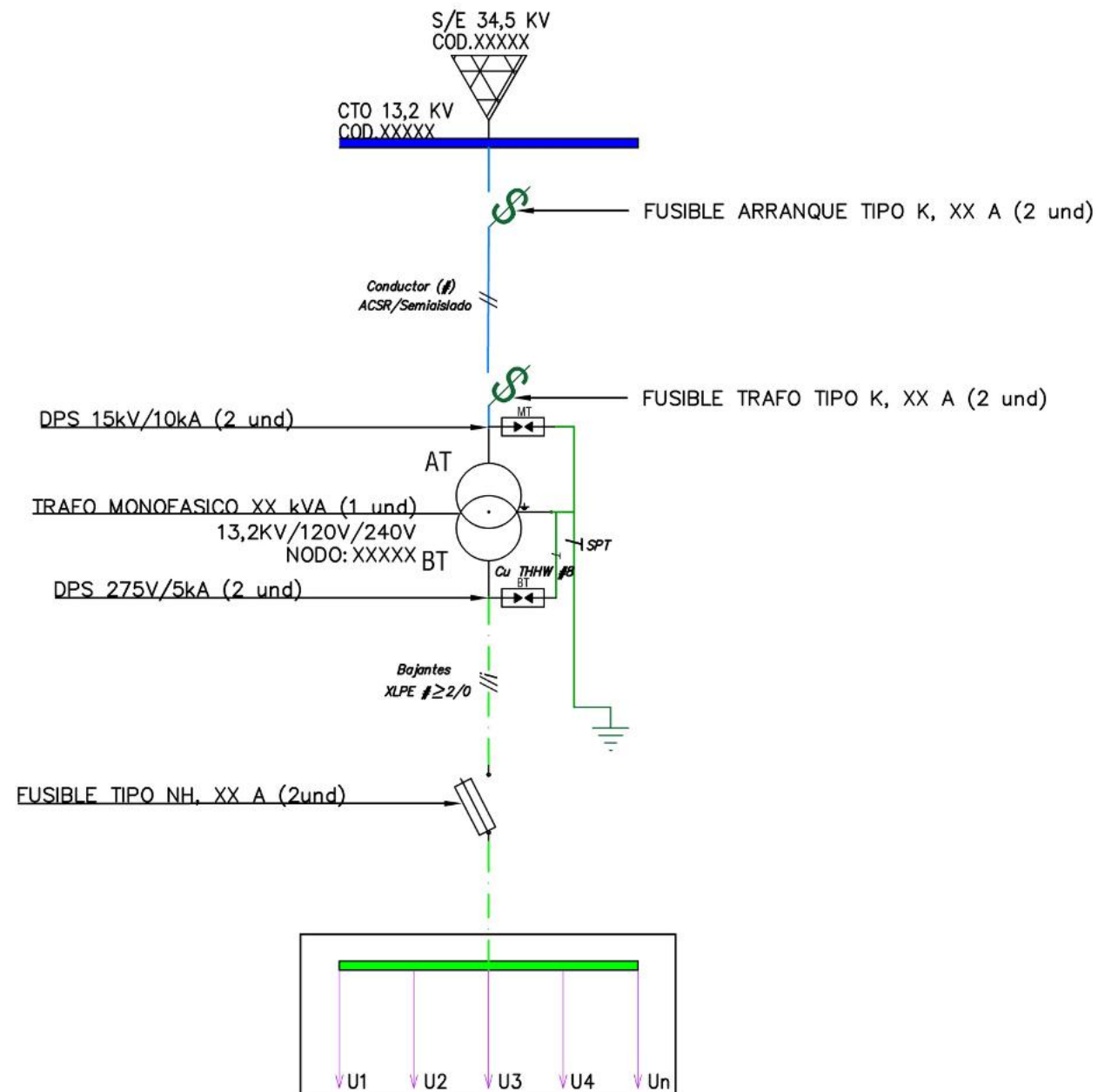


DIAGRAMA UNIFILAR MONTAJE DE TRANSFORMADOR
 TRIFÁSICO AUTOPROTEGIDO FINAL DE CIRCUITO

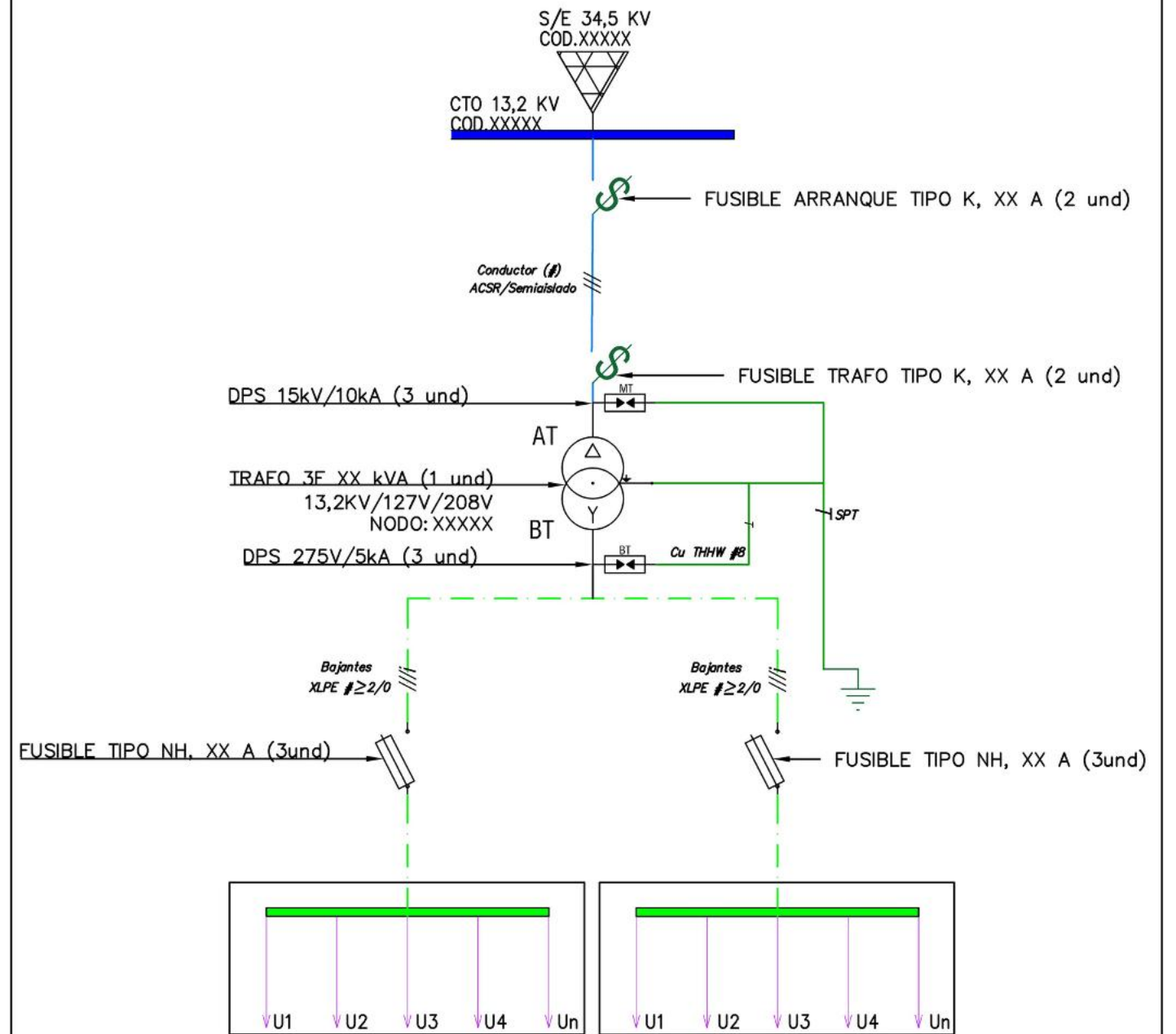


DIAGRAMA UNIFILAR TRANSICIÓN AÉREA A SUBTERRÁNEA EN MEDIA TENSIÓN

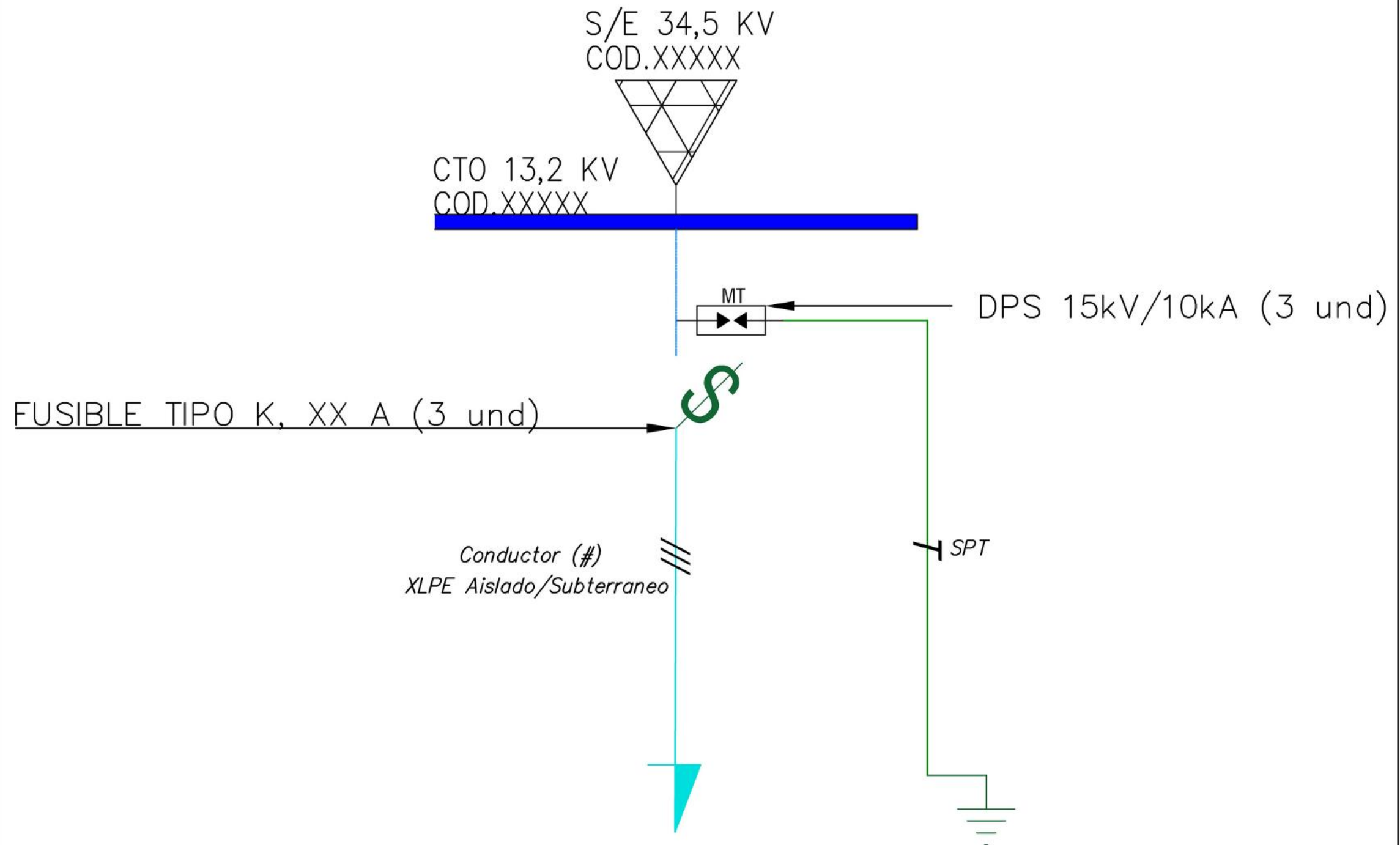


DIAGRAMA UNIFILAR CONFIGURACIÓN TIPO MALLA CENTRO DE TRANSFORMACIÓN TIPO SECO PARA SUBESTACIÓN TIPO INTERIOR CON CELDA DE SECCIONAMIENTO DÚPLEX

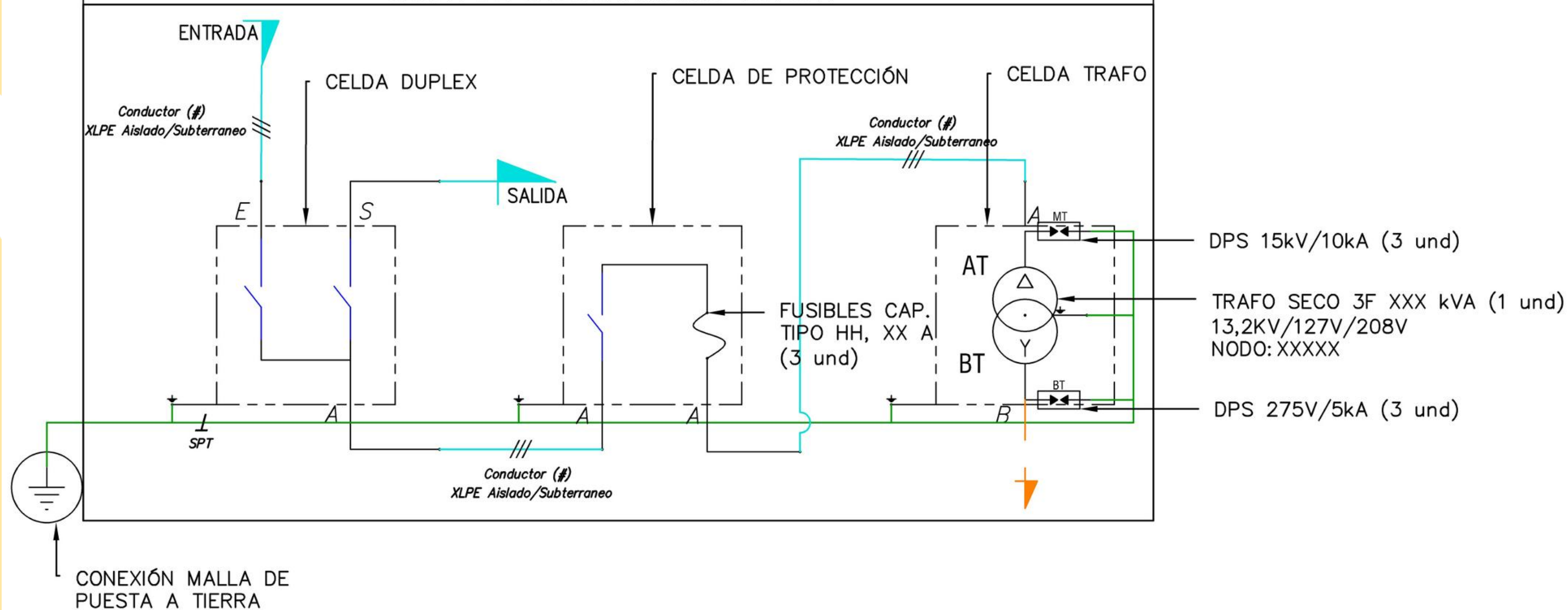


DIAGRAMA UNIFILAR CONFIGURACIÓN TIPO MALLA CENTRO DE
 TRANSFORMACIÓN TIPO SECO PARA SUBESTACIÓN TIPO INTERIOR CON
 CELDA DE SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN TRIPLEX

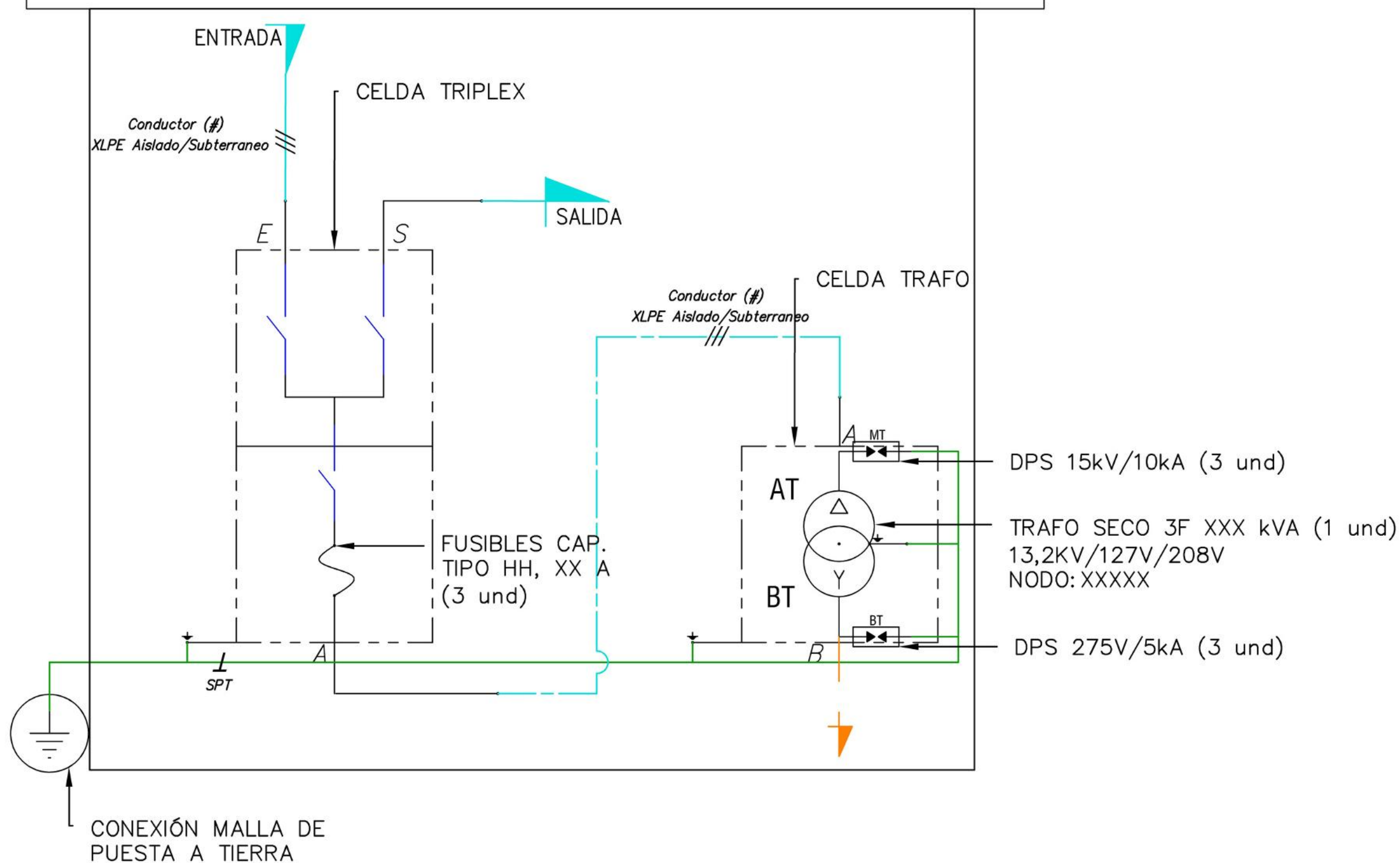


DIAGRAMA UNIFILAR CONFIGURACIÓN TIPO RADIAL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN TIPO SECO PARA SUBESTACIÓN TIPO INTERIOR CON CELDA DE SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

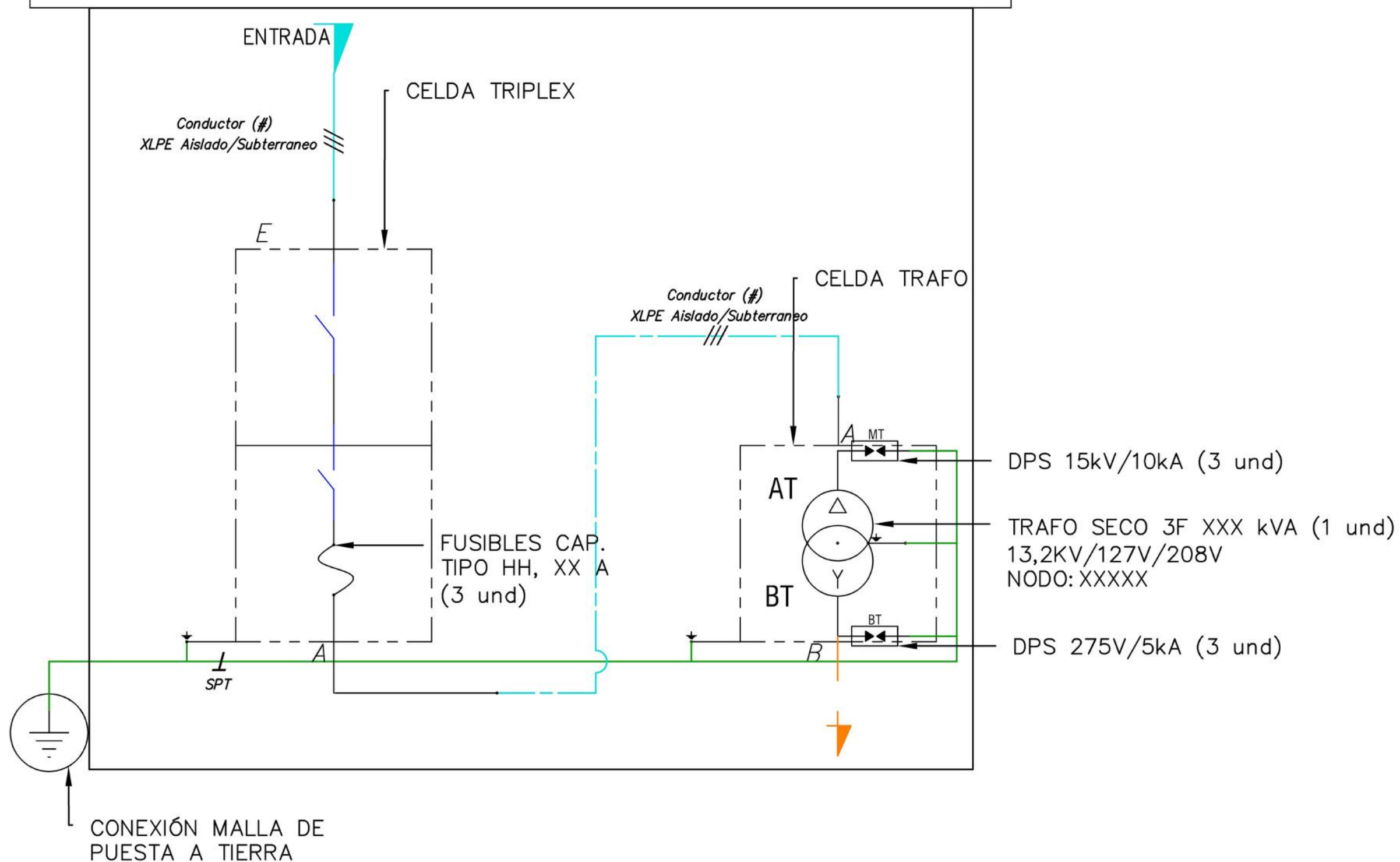


DIAGRAMA UNIFILAR CONFIGURACIÓN TIPO MALLA CENTRO DE TRANSFORMACIÓN TIPO PEDESTAL O PAD-MOUNTED

