

6. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

6.1. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

6.1.1. Potencia

De acuerdo con la estimación de las cargas previstas en el aparatado de Cálculos, la potencia nominal del transformador será la siguiente:

- Potencia nominal de transformación 1: 630KVA

6.1.2. Reglamentación y disposiciones oficiales

Normas generales:

- **Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión**, aprobado por el Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero.
- **Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión.**
- **Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación**, aprobado por el Real Decreto 3.275/1982, de 12 de noviembre, B.O.E. 1-12-1982.
- **Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.** Real Decreto 3275/1982. Aprobadas por Orden del MINER de 18 de octubre de 1984, B.O.E. 25-10-1984.
- **Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.** Aprobado por Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, B.O.E. 224 de 18-09-02.
- **Instrucciones Técnicas Complementarias, denominadas MI-BT.** Aprobadas por Orden del MINER de 18 de septiembre de 2002.
- **Modificaciones a las Instrucciones Técnicas Complementarias.** Hasta el 10 de marzo del 2000.
- **Autorización de Instalaciones Eléctricas.** Aprobado por Ley 40/94, de 30 de diciembre, B.O.E. de 31-12-1994.
- **Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional y desarrollos posteriores.** Aprobado por ley 40/1994, B.O.E. 31-12-94.
- **Real Decreto 1995/2000, de 1 de Diciembre**, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y

procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (B.O.E. de 27 de diciembre de 2000)

- **Real Decreto 614/2001, de 8 de Junio**, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Condiciones expuestas por los organismos públicos afectados.
- **Ley de Regulación del Sector Eléctrico**, Ley 54/1997 de 27 de Noviembre.
- **Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía**, Decreto de 12 de Marzo de 1954 y **Real Decreto 1752/84** de 18 de Julio.
- **Real Decreto 2949/1982** de 15 de Octubre de Acometidas Eléctricas.
- **NTE-IEP**. Norma tecnológica del 24-03-73, **para Instalaciones Eléctricas de Puesta a Tierra**.
- Normas **UNE / IEC**
- Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados.
- Ordenanzas municipales del ayuntamiento donde se ejecute la obra.
- Condiciones que puedan ser emitidos por organismos afectados por las instalaciones.
- Normas particulares de la compañía suministradora.
- Cualquier otra normativa y reglamentación de obligado cumplimiento para este tipo de instalaciones.

- *Normas y recomendaciones de diseño del edificio:*

- **CEI 62271-202** **UNE-EN 62271-202**
Centros de Transformación prefabricados.
- **NBE-X**
Normas básicas de la edificación.

- *Normas y recomendaciones de diseño de aparamenta eléctrica:*

- **CEI 62271-1** **UNE-EN 60694**
Estipulaciones comunes para las normas de aparamenta de Alta Tensión.
- **CEI 61000-4-X** **UNE-EN 61000-4-X**
Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4: Técnicas de ensayo y de medida.
- **CEI 62271-200** **UNE-EN 62271-200 (UNE-EN 60298)**

Aparamenta bajo envolvente metálica para corriente alterna de tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV.

- **CEI 62271-102** **UNE-EN 62271-102**
Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra de corriente alterna.
- **CEI 62271-103** **UNE-EN 60265-1**
Interruptores de Alta Tensión. Interruptores de Alta Tensión para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores a 52 kV.
- **CEI 62271-105** **UNE-EN 62271-105**
Combinados interruptor - fusible de corriente alterna para Alta Tensión.
- **CEI 60255-X-X** **UNE-EN 60255-X-X**
Relés eléctricos.
- **UNE-EN 60801-2**
Compatibilidad electromagnética para los equipos de medida y de control de los procesos industriales. Parte 2: Requisitos relativos a las descargas electrostáticas.

- Normas y recomendaciones de diseño de transformadores:

- **CEI 60076-X**
Transformadores de Potencia.
- **UNE 21428**
Transformadores trifásicos sumergidos en aceite para distribución en baja tensión de 50 a 2 500 kVA, 50 Hz, con tensión más elevada para el material de hasta 36 kV.

6.1.3. Emplazamiento

Las instalaciones eléctricas de media tensión quedarán situadas en el interior de locales en el interior de un edificio destinado a otros usos (nave industrial), de acuerdo con la clasificación establecida en el MIE-RAT-14.

El Centro de Transformación se halla ubicado en la ciudad de Valladolid, en el polígono industrial San Cristóbal.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

6.1.4. Características generales del Centro de Transformación

El centro de Transformación, de tipo cliente, incluido en este trabajo, tiene la misión de suministrar energía en Baja Tensión, realizándose la medición de la misma en Media Tensión.

La energía será suministrada por la compañía IBERDROLA a la tensión trifásica de 13,2 kV y frecuencia de 50 Hz, realizándose la acometida al Centro de Transformación por medio de cables subterráneos.

Los tipos generales de equipos de MT empleados en este trabajo son:

- **CGMCOSMOS:** celdas modulares de aislamiento y corte en gas, extensibles “in situ” a derecha e izquierda, sin necesidad de reponer gas.

6.1.5. Programa de necesidades y potencia instalada en KVA

Se precisa el suministro de energía a una tensión de 400/230 V.

Para atender las necesidades de la nave industrial dedicada a la industria farmacéutica, definida en este trabajo, la potencia instalada en este Centro de Transformación es de 630KVA.

6.1.6. Descripción de la instalación

6.1.6.1. Obra civil

El Centro de Transformación calculado en este trabajo consta de una única envolvente, en la que se encuentra toda la aparamenta eléctrica, máquinas y demás equipos.

Para el diseño de este Centro de Transformación se han tenido en cuenta todas las normativas anteriormente indicadas.

Características de los materiales:

- Edificio de Transformación: **local acondicionado**

Descripción de la envolvente de obra civil:

- Solera y pavimento

Se formará una solera de hormigón armado de, al menos, 10cm de espesor, descansado sobre una capa de arena apisonada. Se preverán, en los lugares apropiados para el paso de cables, unos orificios destinados al defecto, inclinados hacia abajo y con una profundidad de 0,4m.

El forjado de la planta del centro estará constituido por una losa de hormigón armado, capaz de soportar una sobrecarga de uso de 350 kg/cm², uniformemente repartida.

- Cerramiento exteriores

Se emplean materiales que ofrecen garantías de estanqueidad y resistencia al fuego, dimensionados adecuadamente para resistir el peso propio y las acciones exteriores, tales como el viento, empotramiento de herrajes, etc, y se adaptaran en lo posible al entorno arquitectónico de la zona, empleando los mismos materiales, acabados y elementos decorativos de las otras edificaciones.

- Tabiquería interior

Al utilizarse aparamenta de ORMAZABAL, prefabricada bajo envolvente metálica, no es preciso realizar ningún tipo de tabiquería interior.

- Puertas

Las puertas de acceso al centro desde el exterior serán incombustibles y suficientemente rígidas. Estas puertas se abrirán hacia afuera 180°, pudiendo por lo tanto abatirse sobre el muro de la fachada, disponiendo de un elemento de fijación en esta posición.

- Rejillas de ventilación

Al ubicarse el transformador en el interior de este edificio, se dispondrán de las correspondientes rejillas de ventilación calculadas en el apartado de cálculos del Centro de Transformación de este trabajo.

- Cubiertas

El diseño de estas cubiertas debe garantizar la estanqueidad del centro y la resistencia adecuada a acciones exteriores (peso de la nieve).

- Pintura y varios

Para el acabado del centro se empleará una pintura resistente a la intemperie de un color adecuado al entorno.

Los elementos metálicos del centro, como puertas y rejillas de ventilación, serán además tratados adecuadamente contra la corrosión.

- Características detalladas

Número de transformadores: 1

6.1.6.2. Instalación eléctrica

Características de la red de alimentación

La red de la cual se alimenta el Centro de Transformación es del tipo subterráneo, con una tensión de 13,2 kV, nivel de aislamiento según el MIE-RAT 12, y una frecuencia de 50 Hz.

La potencia de cortocircuito en el punto de acometida, según los datos suministrados por la compañía eléctrica, es de 350 MVA, lo que equivale a una corriente de cortocircuito de 15,3 kA eficaces.

Características de la aparamenta de Media Tensión

Características generales de los tipos de aparamenta empleados en la instalación:

Celdas: CGMCOSMOS

Sistema de celdas de Media Tensión modulares bajo envolvente metálica de aislamiento integral en gas SF₆ de acuerdo a la normativa UNE-EN 62271-200 para instalación interior, clase -5 °C según IEC 62271-1, hasta una altitud de 2000 m sobre el nivel del mar sin mantenimiento con las siguientes características generales estándar:

- **Construcción:**

Cuba de acero inoxidable de sistema de presión sellado, según IEC 62271-1, conteniendo los elementos del circuito principal sin necesidad de reposición de gas durante 30 años.

3 Divisores capacitivos de 24 kV.

Bridas de sujeción de cables de Media Tensión diseñadas para sujeción de cables unipolares de hasta 630 mm² y para soportar los esfuerzos electrodinámicos en caso de cortocircuito.

Alta resistencia a la corrosión, soportando 150 h de niebla salina en el mecanismo de maniobra según norma ISO 7253.

-Seguridad:

Enclavamientos propios que no permiten acceder al compartimento de cables hasta haber conectado la puesta a tierra, ni maniobrar el equipo con la tapa del compartimento de cables retirada. Del mismo modo, el interruptor y el seccionador de puesta a tierra no pueden estar conectados simultáneamente.

Enclavamientos por candado independientes para los ejes de maniobra del interruptor y de seccionador de puesta a tierra, no pudiéndose retirar la tapa del compartimento de mecanismo de maniobras con los candados colocados.

Posibilidad de instalación de enclavamientos por cerradura independientes en los ejes de interruptor y de seccionador de puesta a tierra.

Inundabilidad: equipo preparado para mantener servicio en el bucle de Media Tensión en caso de una eventual inundación de la instalación soportando ensayo de 3 m de columna de agua durante 24 h.

Grados de Protección:

- Celda / Mecanismos de Maniobra: IP 2XD según EN 60529
- Cuba: IP X7 según EN 60529
- Protección a impactos en:
 - cubiertas metálicas: IK 08 según EN 5010
 - cuba: IK 09 según EN 5010

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- Conexión de cables

La conexión de los cables se realiza desde la parte frontal mediante unas pasatapas estándar.

- Enclavamientos

La función de los enclavamientos incluidos en todas las celdas CGMcosmos es que:

- No se pueda conectar el seccionador de puesta a tierra con el aparato principal cerrado, y recíprocamente, no se pueda cerrar el aparato principal si el seccionador de puesta a tierra está conectado.
- No se pueda quitar la tapa frontal si el seccionador de puesta a tierra está abierto, y a la inversa, no se pueda abrir el seccionador de puesta a tierra cuando la tapa frontal ha sido extraída.

- Características eléctricas

Las características generales de las celdas CGMCOSMOS son las siguientes:

Tensión nominal: 24kV

Nivel de aislamiento:

Frecuencia industrial (1min):

a tierra y entre fases: 50 kV

a la distancia de seccionamiento: 60 kV

Impulso tipo rayo:

a tierra y entre fases: 125 kV

a la distancia de seccionamiento: 145 kV

En la descripción de cada celda se incluyen los valores propios correspondientes a las intensidades nominales, térmica y dinámicamente, etc.

Características de la Aparamenta de Baja Tensión

Elementos de salida en Baja Tensión:

- Cuadros de BT especiales para esta aplicación, con un interruptor de corte en carga cuyas características descriptivas se detallan más adelante.

Características Descriptivas de la Aparamenta MT y Transformadores

Entrada / Salida 1: CGMCOSMOS-L Interruptor-Seccionador

Celda con envoltente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CGMcosmos-L de línea, está constituida por un módulo metálico de aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida y un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

- Características eléctricas:

○ Tensión asignada:	24kV
○ Intensidad asignada:	400 A
○ Intensidad de corta duración (1s),eficaz:	16 kA
○ Intensidad de corta duración (1s), cresta:	40 kA
○ Nivel de aislamiento:	
▪ Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases:	28 kV
▪ Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta):	75 kV
○ Capacidad de cierre (cresta):	40 kA
○ Capacidad de corte	
▪ Corriente principalmente activa:	400 A

- Características físicas:

○ Ancho:	365 mm
○ Fondo:	735 mm

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- Alto: 1740 mm
- Peso: 95 kg

- Otras características constructivas:
 - Mando interruptor: manual tipo B

Entrada / Salida 2: CGMCOSMOS-L Interruptor-Seccionador

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CGMcosmos-L de línea, está constituida por un módulo metálico de aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida y un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la manobra.

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24kV
 - Intensidad asignada: 400 A
 - Intensidad de corta duración (1s), eficaz: 16 kA
 - Intensidad de corta duración (1s), cresta: 40 kA
 - Nivel de aislamiento:
 - Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases: 28 kV
 - Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta): 75 kV
 - Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
 - Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A

- Características físicas:
 - Ancho: 365 mm
 - Fondo: 735 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 95 kg

- Otras características constructivas:
 - Mando interruptor: manual tipo B

Seccionamiento Compañía: **CGMCOSMOS-S Interruptor pasante**

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CGMcosmos-S de interruptor pasante está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, interrumpido por un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, para aislar las partes izquierda y derecha del mismo y puede llevar un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero si se efectúa la maniobra.

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24kV
 - Intensidad asignada: 400 A
 - Intensidad de corta duración (1s), eficaz: 16 kA
 - Intensidad de corta duración (1s), cresta: 40 kA
 - Nivel de aislamiento:
 - Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases: 50 kV
 - Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta): 125 kV
 - Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
 - Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A

- Características físicas:
 - Ancho: 450 mm
 - Fondo: 735 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 105 kg

- Otras características constructivas:
 - Mando interruptor: manual tipo B

Protección general: CGMcosmos-P Protección fusibles

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CGMcosmos-P de protección de fusibles, está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de la acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables, y en serie con él, un conjunto de fusibles fríos, combinados o asociados a ese interruptor. Presenta también captadores capacitivos para la detección de la tensión en los cables de la acometida y puede llevar un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24kV
 - Intensidad asignada en el embarrado: 400 A
 - Intensidad asignada en la derivación: 200 A
 - Intensidad fusibles: 3x63 A
 - Intensidad de corta duración (1s), eficaz: 16 kA
 - Intensidad de corta duración (1s), cresta: 40 kA
 - Nivel de aislamiento:
 - Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases: 50 kV
 - Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta): 125 kV
 - Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
 - Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A

- Características físicas:
 - Ancho: 470 mm
 - Fondo: 735 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 140 kg

- Otras características constructivas:
 - Mando posición con fusibles : manual tipo BR
 - Combinación interruptor-fusibles: combinados
 - Relé de protección: ekorRPT-201 A

Medida: CGMCOSMOS-M Medida

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda CGMcosmos-M de medida es un módulo metálico, construido en chapa galvanizada, que permite la incorporación en su interior de los transformadores de tensión e intensidad que se utilizan para dar los valores correspondientes a los aparatos de medida, control y contadores de medida de energía.

Por su constitución, esta celda puede incorporar los transformadores de cada tipo (tensión e intensidad), normalizados en las distintas compañías suministradoras de electricidad.

La tapa de la celda cuenta con los dispositivos que evitan la posibilidad de contactos indirectos y permiten el sellado de la misma, para garantizar la no manipulación de las conexiones.

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24 kV
- Características físicas:
 - Ancho: 800 mm
 - Fondo: 1025 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 165 kg

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- Otras características constructivas:
 - Transformadores de medida: 3TT y 3TI
De aislamiento seco y construido atendiendo a las correspondientes normas UNE y CEI, con las siguientes características:

➤ Transformadores de tensión

Relación de transformación: 13200/V3-110/V3 V

Sobretensión admisible en permanencia:

1,2 Un en permanencia y

1,9 Un durante 8 horas

Medida:

- Potencia: 25 VA
- Clase de precisión: 0,5

➤ Transformador de intensidad

Relación de transformación: 50-30/5 A

Intensidad térmica: 200 In

Sobreintensidad admisible en permanencia: $F_s \leq 5$

Medida:

Potencia: 15VA

Clase de precisión: 0,5 s

Transformador 1: Transformador aceite 24 kV

Transformador trifásico reductor de tensión, construido según las normas citadas anteriormente, de marca COTRADIS, con neutro accesible en el secundario, de potencia 630 KVA y refrigeración natural aceite, de tensión 13,2 – 20 kV y tensión secundaria 420 V en vacío (B2).

- Otras características constructivas:
 - Regulación en el primario: +/- 5%, +/- 2,5%
 - Tensión en cortocircuito (Ecc): 4%
 - Grupo de conexión: Dyn11
 - Protección incorporada al transformador: Sin protección propia

Características descriptivas de los Cuadros de Baja Tensión

Cuadros BT- B2 Transformador 1: Interruptor en carga + Fusibles

El cuadro de Baja Tensión (CBT), es un conjunto de aparamenta de BT cuya función es recibir el circuito principal de BT procedente del transformador MT/BT y distribuirlo en un número determinado de circuitos individuales.

El cuadro tiene las siguientes características:

- Interruptor manual de corte en carga de 1000 A.
 - Una salida formada por bases portafusibles.
 - Interruptor diferencial bipolar de 25 A, 30 mA.
 - Base portafusible de 32 A y cartucho portafusible de 20 A.
 - Base enchufe bipolar con la toma de tierra de 16 A / 250V.
 - Bornas (alimentación a alumbrado) y pequeño material.
- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 440 V
 - Nivel de aislamiento:
 - Frecuencia industrial (1min):
 - a tierra y entre fases: 10 kV
 - entre fases: 2,5 kV
 - Impulso tipo rayo:
 - A tierra y entre fases: 20 kV
- Dimensiones:
 - Altura: 1820 mm
 - Anchura: 580 mm
 - Fondo: 300 mm

Características de material vario de Media Tensión y Baja Tensión

El material vario en el Centro de Transformación es aquel que, aunque forma parte del conjunto del mismo, no se ha descrito en las características del equipo ni en las características de la aparamenta.

- Interconexiones de MT:

Puentes MT Transformador 1: **Cables MT 12/20 kV**

Cables MT 12/20 kV del tipo DHZ1, unipolares, con conductores de sección y material 1x50 Al.

La terminación al transformador es EUROMOLD de 24 kV del tipo enchufable acodada y modelo K158LR.

En el otro extremo, en la celda, es EUROMOLD de 24 kV del tipo cono difusor y modelo OTK 224.

Puentes entre Celdas: **Cables MT 12/20 kV**

Cables MT 12/20 kV del tipo DHZ1, unipolares, con conductores de sección y material 1x50 Al, y terminaciones EUROMOLD de 24 kV del tipo enchufable recta y modelo K152SR y del tipo cono difusor y modelo OTK 224.

- Interconexiones de BT:

Puentes BT-B2 Transformador 1: **Puentes transformador- cuadro.**

Juego de puentes de cables de BT, de sección y material 1x240 Al (Etileno-Propileno) sin armadura, y todos los accesorios para la conexión, formados por un grupo de cables en la cantidad 3x fase + 2x neutro.

- Defensa de los transformadores

Defensa de Transformador 1: **Protección física Transformador**

Protección metálica para defensa del transformador.

- Equipos de iluminación

Iluminación Edificio de Transformación: **Equipo de Iluminación**

Equipo de alumbrado que permita la suficiente visibilidad para ejecutar las maniobras y revisiones necesarias en los centros.

Equipo autónomo de alumbrado de emergencia y señalización de la salida del local.

6.1.6.3. Medida de la energía eléctrica

El conjunto consta de un contador tarificador electrónico multifunción, un registrador electrónico y una regleta de verificación. Todo ello va en el interior de un armario homologado para contener esos equipos.

6.1.6.4. Relés de protección, automatismos y control

Unidad de Protección: **ekorRPT**

Unidad digital de protección desarrollada para su aplicación en la función de protección de transformadores. Aporta a la protección de fusibles protección contra sobrecargas y defectos fase-tierra de bajo valor. Es autoalimentado a partir de 5 A a través de transformadores de intensidad toroidales, comunicable y configurable por software con histórico de disparos.

- Características:

- o Rango de potencias: 50 kVA - 2500 kVA
- o Funciones de Protección:
- o Sobreintensidad
- o Fases (3 x 50/51)
- o Neutro (50N / 51N)
- o Neutro Sensible (50Ns / 51Ns)
- o Disparo exterior: Función de protección (49T)
- o Detección de faltas a tierra desde 0,5 A
- o Bloqueo de disparo interruptor: 1200 A y 300 A
- o Evita fusiones no seguras de fusibles (zona I3)
- o Posibilidad de pruebas por primario y secundario
- o Configurable por software (RS-232) y comunicable (RS-485)
- o Histórico de disparos

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- o Medidas de intensidad: I1, I2, I3 e Io
- o Opcional con control integrado (alimentación auxiliar)

- Elementos del sistema:

Un relé electrónico que dispone en su carátula frontal e teclas y display digital para realizar el ajuste y visualizar los parámetros de protección, medida y control. Para la comunicación dispone de un puerto frontal RS232 y en la parte trasera un puerto RS485 (5 kV).

Los sensores de intensidad son transformadores toroidales de relación 300 A / 1 A. Para la opción de protección homopolar ultrasensible se coloca un toroidal adicional que abarca las tres fases. En el caso de que el equipo sea autoalimentado (desde 5 A por fase) se debe colocar un sensor adicional por fase.

La tarjeta de la alimentación acondiciona la señal de los transformadores de autoalimentación y la convierte en una señal de CC para alimentar el relé de forma segura. Dispone de una entrada de 230 V_{ca} para la alimentación auxiliar exterior con un nivel de aislamiento de 10 kV.

El disparador biestable es un actuador electromecánico de bajo consumo integrado en el mecanismo de maniobra de un interruptor.

- Otras características:

I_{th}/I_{din} =20kA/ 50kA

Temperatura =-10°C a 60°C

Frecuencia =50 Hz; 60Hz ±1%

Ensayos: -De aislamiento según 60255-5

-De compatibilidad electromagnética según CEI60255-22-X, CEI 61000-4-X y EN 50081-2/55011

Así mismo este producto cumple con la directiva de la Union Europea sobre compatibilidad electromagnética 89/336/EEC y con la CEI 60255. Esta conformidad viene recogida en el protocolo de ensayo realizado B0014-024-IN-ME acorde a las normas genéricas EN 50081 y EN 50082.

6.1.6.5. Puesta a tierra

Tierra de protección

Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en el Centro de Transformación se unen a la tierra de protección: envolventes de las celdas y cuadros de BT, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc., así como la armadura del edificio (si éste es prefabricado). No se unirán, por el contrario, las rejillas y las puertas metálicas del centro, si son accesibles desde el exterior.

Tierra de servicio

Con objeto de evitar tensiones peligrosas en BT, debido a las faltas en la red de MT, el neutro del sistema de BT se conecta a una toma de tierra independiente del sistema de MT, de tal forma que no exista influencia en la red general de tierra, para lo cual se emplea un cable de cobre aislado.

6.1.6.6. Instalaciones Secundarias

Armario de primeros auxilios

El Centro de Transformación cuenta con un armario de primeros auxilios.

Alumbrado

El interruptor se situará al lado de la puerta de acceso, de forma que su accionamiento no represente peligro por su proximidad a la MT.

El interruptor accionará los puntos de luz necesarios para la suficiente y uniforme iluminación de todo el recinto del centro.

Medidas de seguridad

Para la protección del personal y equipos, se debe garantizar que:

- 1- No será posible acceder a las zonas normalmente en tensión, si estas no han sido puestas a tierra. Por ello, el sistema de enclavamientos interno de las celdas debe afectar al mando del aparato principal, el seccionador de puesta a tierra y a las tapas de acceso a los cables.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

- 2- Las celdas de entrada y salida serán con aislamiento integral y corte en gas, y las conexiones entre sus embarrados deberán ser apantalladas, consiguiendo con ello la insensibilidad de los agentes externos, y evitando de esta forma la pérdida de suministro en los Centros de Transformación interconectados con éste, incluso en el eventual caso de inundación del Centro de Transformación.
- 3- Las bornas de conexión de cables y fusibles serán fácilmente accesibles a los operarios de forma que, en las operaciones de mantenimiento, la posición de trabajo normal no carezca de visibilidad sobre estas zonas.
- 4- Los mandos de la aparamenta estarán situados frente al operario en el momento de realizar la operación, y el diseño de la aparamenta protegerá al operario de la salida de gases en caso de un eventual arco interno.
- 5- El diseño de las celdas impedirá la incidencia de los gases de escape, producidos en el caso de un arco interno, sobre los cables de MT y BT. Por ello, esta salida de gases no debe estar enfocada en ningún caso hacia el foso de los cables.

6.2. CÁLCULOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

6.2.1. Intensidad de Media Tensión

La intensidad primaria en un transformador trifásico viene dada por la siguiente expresión:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p}$$

donde:

P = potencia del transformador [KVA]

U_p = tensión primaria [kV]

I_p = intensidad primaria [A]

En el caso que nos ocupa, la tensión primaria de alimentación es de 13,2 kV.

Para el único transformador de este Centro de Transformación, la potencia es de 630 KVA.

Por lo tanto:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 13,2} = 27,6 \text{ A}$$

6.2.2. Intensidad de Baja Tensión

Para el único transformador de este Centro de Transformación, la potencia es de 630 KVA, y la tensión secundaria es de 420 V en vacío.

La intensidad secundaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s}$$

donde:

P = potencia del transformador [KVA]

U_p = tensión primaria [kV]

I_p = intensidad primaria [A]

La intensidad en las salidas de 420 V en vacío puede alcanzar el valor de:

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,420} = 866 \text{ A}$$

6.2.3. Cortocircuitos

Observaciones

Para el cálculo de las intensidades que origina un cortocircuito de tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de la red de MT, valor especificado por la compañía eléctrica.

Cálculo de las intensidades de cortocircuito

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito en la instalación, se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (1a)$$

, donde:

S_{cc} potencia de cortocircuito de la red [MVA]

U_p tensión de servicio [kV]

I_{ccp} corriente de cortocircuito [kA]

Para los cortocircuitos secundarios, se va a considerar que la potencia de cortocircuito disponible es la teórica de los transformadores de MT-BT, siendo por ello más conservadores que en las consideraciones reales.

La corriente de cortocircuito del secundario de un transformador trifásico, viene dada por la siguiente expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s} \quad (1b)$$

, donde:

P potencia del transformador [kVA]

E_{cc} tensión de cortocircuito del transformador [%]

U_s tensión de secundario [V]

I_{ccs} corriente de cortocircuito [kA]

Cortocircuito en el lado de Media Tensión

Utilizando la expresión anterior (1a), en el que la potencia de cortocircuito es de 350 MVA (proporcionado este valor por la compañía eléctrica suministradora) y la tensión de servicio es de 13,2 kV, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p} = \frac{350}{\sqrt{3} \cdot 13,2} = 15,3 \text{ kA}$$

Cortocircuito en el lado de Baja Tensión

Para el único transformador de este centro de Transformación, la potencia es de 630 kVA, la tensión porcentual del cortocircuito es de 4 %, y la tensión secundaria es de 420 V en vacío.

La intensidad de cortocircuito en el lado de Baja Tensión con 420 V en vacío será, según la fórmula (1b):

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot Ecc \cdot U_s} = \frac{100 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 4 \cdot 420} = 21,65 \text{ kA}$$

Dimensionado del embarrado

Las celdas fabricadas por ORMAZABAL han sido sometidas a ensayos para certificar los valores indicados en las placas de características, por lo que no es necesario realizar cálculos teóricos ni hipótesis de comportamiento de celdas.

Comprobación por densidad de corriente

La comprobación por densidad de corriente tiene por objeto verificar que el conductor indicado es capaz de conducir la corriente nominal máxima sin superar la densidad máxima posible para el material conductor. Esto, además de mediante cálculos teóricos, puede comprobarse realizando un ensayo de intensidad nominal, que con objeto de disponer de suficiente margen de seguridad, se considerará que es la intensidad del bucle, que en este caso es de 400 A.

Comprobación por sollicitación electrodinámica

La intensidad dinámica de cortocircuito de valora en aproximadamente 2,5 veces la intensidad eficaz de cortocircuito calculada mediante la ecuación anterior (1a), mencionada con anterioridad, por lo que:

$$I_{cc(din)} = 2,5 \cdot 15,3 = 38,25 \text{ kA}$$

Comprobación por sollicitación térmica

La comprobación térmica tiene por objetivo comprobar que no se producirá un calentamiento excesivo de la aparamenta por defecto de cortocircuito. Esta comprobación se puede realizar mediante cálculos teóricos, pero preferentemente se debe realizar un ensayo de la normativa en vigor. En este caso, la intensidad considerada es la eficaz de cortocircuito, cuyo valor es:

$$I_{cc(ter)} = 15,3 \text{ kA}$$

6.2.4. Protección contra sobrecargas y cortocircuitos

Los transformadores están protegidos tanto en MT como en BT. En Media Tensión la protección la efectúan las celdas asociadas a estos transformadores, mientras que en Baja Tensión la protección se incorpora en los cuadros de las líneas de salida.

Transformador

La protección en Media Tensión de este transformador se realiza utilizando una celda de interruptor con fusibles, siendo éstos los que efectúan la protección ante eventuales cortocircuitos.

Estos fusibles realizan su función de protección de forma ultrarrápida (de tiempos inferiores a los de los interruptores automáticos), ya que su función evita incluso el paso del máximo de las corrientes de cortocircuitos por toda la instalación.

Los fusibles se seleccionan para:

- Permitir el funcionamiento continuado a la intensidad nominal, requerida para esta aplicación.
- No producir disparos cuando se producen corrientes de entre 10 y 20 veces al nominal, siempre que su duración sea inferior a 0,1 s, evitando así que los fenómenos transitorios provoquen interrupciones del suministro.
- No producir disparos durante el arranque en vacío de los transformadores, tiempo en el que la intensidad es muy superior a la nominal y de una duración indeterminada.

Sin embargo, los fusibles no constituyen una protección suficiente contra las sobrecargas, que tendrán que ser evitadas incluyendo un relé de protección de transformador, o si no es posible, una protección térmica del transformador.

La intensidad nominal de estos fusibles es de 63 A.

Dimensionado de los puentes de MT

Los cables que se utilizan en esta instalación, descritos en la memoria del Centro de Transformación, anteriormente redactada, deberán ser capaces de soportar los parámetros de la red.

Transformador 1

La intensidad nominal demandada por este transformador es igual a 27,6 A que es inferior al valor máximo admisible por el cable.

Este valor es de 150 A para un cable de sección de 50 mm² de Al según el fabricante.

Dimensionado de la ventilación del Centro de Transformación

Para calcular la superficie de la reja de entrada de aire en el edificio se utiliza la siguiente expresión:

$$S_r = \frac{W_{cu} + W_{fe}}{0,24 \cdot K \cdot \sqrt{h \cdot (\Delta T)^3}}$$

, donde:

W_{cu} pérdidas en el cobre del transformador [kW]

W_{fe} pérdidas en el hierro del transformador [kW]

K coeficiente en función de la forma de las rejillas de entrada (aproximadamente entre 0,35 y 0,40)

h distancia vertical entre la rejillas de entrada y salida [m]

ΔT aumento de temperatura del aire [°C]

S_r superficie mínima de las rejillas de entrada [m²]

Dimensionado del pozo apagafuegos

Se dispone de un foso de recogida de aceite de 600 litros de capacidad por cada transformador cubierto de grava para la absorción del fluido y para prevenir el vertido del mismo hacia el exterior y minimizar el daño en caso de fuego.

6.2.5. Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra

Investigación de las características del suelo

El reglamento de Alta Tensión indica que para instalaciones de tercera categoría (tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1kV), y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA no será imprescindible realizar la citada investigación previa de la resistividad del suelo, bastando con un examen visual del terreno y pudiéndose estimar su resistividad, siendo necesario medirla para corrientes superiores.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Según la investigación previa del terreno donde se instalará el Centro de Transformación, cuya naturaleza del terreno es arcilloso compacto, se determina la resistividad media en 150 Ohm·m

Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente a la eliminación del defecto.

En las instalaciones de Media Tensión de tercera categoría, los parámetros que determinan los cálculos de faltas a tierra son los siguientes:

- De la red:
 - o Tipo de neutro. El neutro de la red puede estar aislado, rígidamente unido a tierra, unido a esta mediante resistencias o impedancias. Esto producirá una limitación de la corriente de la falta, en función de las longitudes de líneas o de los valores de impedancias en cada caso.
 - o Tipo de protecciones. Cuando se produce un defecto, éste se eliminara mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un dispositivo relé de intensidad, que puede actuar en un tiempo fijo (tiempo fijo), o según una curva de tipo inverso (tiempo dependiente). Adicionalmente, pueden existir reenganches posteriores al primer disparo, que sólo influirán en los cálculos si se producen en un tiempo inferior a los 0,5 segundos.

No obstante, y dada la causa existente dentro de la redes de cada compañía suministradora, en ocasiones de debe resolver este cálculo considerando la intensidad máxima empírica y un tiempo máximo de ruptura, valores que, como los otros, deben ser indicados por la compañía eléctrica.

Diseño preliminar de la instalación de tierra.

El diseño preliminar de la instalación de puesta a tierra se realiza basándose en las configuraciones tipo presentadas en el anexo 2 del método de cálculo de instalaciones de puesta a tierra de UNESA, que esté de acuerdo con la forma y dimensionado del Centro de Transformación, según el método de cálculo desarrollado por este organismo.

Cálculo de la resistencia del sistema de tierra

Características de la red de alimentación:

- Tensión de servicio: $U_r=13,2 \text{ kV}$

- Limitación de la intensidad a tierra: $I_{dm}=1000 \text{ A}$
- Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT: $V_{bt}=6000 \text{ V}$

Características del terreno:

- Resistencia a tierra: $R_o=150 \Omega \cdot m$
- Resistencia del hormigón: $R'_o= 3000 \Omega$

La resistencia máxima de la puesta a tierra de protección del edificio, y la intensidad del defecto salen de:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt}$$

, donde:

- I_d intensidad de falta a tierra [A]
- V_{bt} tensión de aislamiento en baja tensión [V]
- R_t resistencia total de puesta a tierra [Ω]

La intensidad del defecto se calcula de la siguiente forma:

$$I_d = I_{dm}$$

, donde:

- I_{dm} limitación de la intensidad de falta a tierra [A]
- I_d intensidad de falta a tierra [A]

Operando en este caso, el resultado preliminar obtenido es:

$$I_d = I_{dm} = 1000 \text{ A}$$

La resistencia total de puesta a tierra preliminar es:

$$R_t = 6000/1000 = 6 \Omega$$

Se selecciona el electrodo tipo (de entre los incluidos en al tablas, y de aplicación en este caso concreto, según las condiciones del sistema de tierras) que cumple el requisito de tener una K_r más cercana inferior o igual a la calculada para este caso y para este centro.

Valor unitario de resistencia de puesta a tierra del electrodo:

$$K_r \leq \frac{R_t}{R_o}$$

, donde:

R_t resistencia total de puesta a tierra [Ω]

R_o resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]

K_r coeficiente del electrodo

- Centro de Transformación

Para nuestro caso particular, y según los valores anteriormente indicados:

$$K_r \leq 6/150 = 0,04$$

La configuración adecuada para este caso tiene las siguientes propiedades:

- Configuración seleccionada: 5/64
- Geometría del sistema: picas alineadas
- Distancia entre picas: 6 metros
- Profundidad del electrodo horizontal: 0,5 metros
- Número de picas: seis
- Longitud de las picas: 4 metros

Parámetros característicos del electrodo:

- De la resistencia: $K_r = 0,04$
- De la tensión de paso: $K_p = 0,0059$
- De la tensión de contacto: $K_c = 0$

Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto:

Para que no aparezcan tensiones de contacto exteriores ni interiores, se adaptan las siguientes medidas de seguridad:

- Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del edificio no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar a tensión debido a defectos o averías.

- En el piso del Centro de Transformación se instalara un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm, conectado a la puesta a tierra del mismo.
- En el caso de instalar las picas en hilera, se dispondrán alineadas con el frente del edificio.

El valor real de la resistencia de puesta a tierra del edificio será:

$$R'_t = K_r \cdot R_0$$

, donde:

K_r coeficiente del electrodo

R_0 resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]

R'_t resistencia total de puesta a tierra [Ω]

Por lo que para el Centro de Transformación:

$$R'_t = 0,04 \cdot 150 = 6 \Omega$$

Y la intensidad de defecto real, tal y como se indica en la fórmula anteriormente expresada es:

$$I^*_d = 1000 \text{ A}$$

Cálculo de las tensiones de paso en el interior de la instalación

Adoptando las medidas de seguridad adicionales, no es preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior de los edificios de maniobra interior ya que éstas son prácticamente nulas.

La tensión de defecto vendrá dada por:

$$V^*_d = R^*_t \cdot I^*_d$$

, donde:

R^*_t resistencia total de puesta a tierra [Ω]

I^*_d intensidad de defecto [A]

V^*_d tensión de defecto [V]

Por lo que en el Centro de Transformación: $V_d = 6 \cdot 1000 = 6000 \text{ V}$

La tensión de paso en el acceso será igual al valor de la tensión máxima de contacto siempre que se disponga de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra según la siguiente fórmula:

$$V_c = K_c \cdot R_0 \cdot I_d$$

, donde:

K_c coeficiente

R_0 resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]

I_d intensidad de defecto [A]

V_c tensión de paso en el acceso [V]

En este caso, al estar las picas alineadas frente a los accesos al Centro de Transformación paralelas a la fachada, la tensión de paso en el acceso va a ser prácticamente nula, por lo que no la consideraremos.

Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de la instalación

Adoptando las medidas de seguridad adicionales, no es preciso calcular las tensiones de contacto en el exterior de la instalación, ya que estas serán prácticamente nulas.

La tensión de paso en el exterior viene dada por la siguiente fórmula:

$$V_p = K_p \cdot R_0 \cdot I_d$$

, donde:

K_p coeficiente

R_0 resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]

I_d intensidad de defecto [A]

V_p tensión de paso en el exterior [V]

Por lo que, para este caso, en el Centro de transformación:

$$V_p = K_p \cdot R_0 \cdot I_d = 0,0059 \cdot 150 \cdot 1000 = 885 \text{ V}$$

Cálculo de las tensiones aplicadas

- Centro de Transformación

Los valores admisibles son para una duración total de la falta igual a:

- $t = 0,7$ seg
- $K = 72$
- $n = 1$

La tensión de paso en el exterior se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot R_o}{1000}\right)$$

, donde:

- K coeficiente
- t tiempo total de duración de la falta [s]
- n coeficiente
- R_o resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]
- V_p tensión admisible de paso en el exterior [V]

Por lo que para este caso:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot R_o}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 72}{0,7^1} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 150}{1000}\right) = 1954,29 \text{ V}$$

La tensión de paso en el acceso al edificio viene dada por la siguiente expresión:

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_o + 3 \cdot R'_o}{1000}\right)$$

, donde:

- K coeficiente
- t tiempo total de duración de la falta [s]
- n coeficiente
- R_o resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]

R_o resistividad del hormigón [$\Omega \cdot m$]

$V_{p(acc)}$ tensión admisible de paso en el acceso [V]

Por lo que, para este caso:

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot R_o + 3 \cdot R_o}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 72}{0,7^1} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 150 + 3 \cdot 3000}{1000}\right) = 10748,57 \text{ V}$$

Comprobamos ahora que los valores calculados para el caso de este Centro de Transformación son inferiores a los valores admisibles:

- Tensión de paso en el exterior del centro:

$$V_p = 885 \text{ V} < V_p = 1954,29 \text{ V}$$

- Tensión de paso en el acceso al centro:

$$V_{p(acc)} = 0 \text{ V} < V_{p(acc)} = 10748,57 \text{ V}$$

- Tensión de defecto:

$$V_d = 6000 \text{ V} < V_{bt} = 6000 \text{ V}$$

- Intensidad de defecto:

$$I_a = 50 \text{ A} < I_d = 1000 \text{ A} < I_{dm} = 1000 \text{ A}$$

Investigación de las tensiones transferibles al exterior.

Para garantizar que el sistema de tierras de protección no transfiera tensiones al sistema de tierra de servicio, evitando así que afectan a los usuarios, debe establecerse una separación entre los electrodos más próximos de ambos sistemas, siempre que la tensión de defecto supere los 1000 V.

En este caso es imprescindible mantener esta separación, al ser la tensión de defecto superior a los 1000 V indicados.

La distancia mínima de separación entre los sistemas de tierras viene dada por la expresión siguiente:

$$D = \frac{R_o \cdot I_d}{2000 \cdot \pi}$$

, donde:

R_o resistividad del terreno [$\Omega \cdot m$]

I_d intensidad de defecto [A]

D distancia mínima de separación

Para este centro de Transformación:

$$D = \frac{R_0 \cdot I_d}{2000 \cdot \pi} = \frac{150 \cdot 1000}{2000 \cdot \pi} = 23,87 \text{ m}$$

Se conectará a este sistema de tierras de servicio el neutro del transformador, así como la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad en la celda de medida.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

- Identificación: 5/22 (según método UNESA)
- Geometría: picas alineadas
- Número de picas: dos
- Longitud entre picas: 2 metros
- Profundidad de las picas: 0,5 metros

Los parámetros según esta configuración de tierras son:

- $K_r = 0,201$
- $K_c = 0,0392$

El criterio de selección de la tierra de servicio es no ocasionar en el electrodo una tensión superior a 24 V cuando existe un defecto a tierra en una instalación de BT protegida contra contactos indirectos por un diferencial de 650 mA. Para ello la resistencia de puesta a tierra de servicio debe ser inferior a 37 Ω .

$$R_{t \text{ serv}} = K_r \cdot R_0 = 0,201 \cdot 150 = 30,15 \Omega < 37 \Omega$$

Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio independientes, la puesta a tierra del neutro se realizara con cable aislado de 0,6/1 kV, protegido con tubo de PVC de grado de protección 7 como mínimo, contra daños mecánicos.

Corrección y ajuste del diseño inicial

Según el proceso de justificación del electrodo de puesta a tierra seleccionado, no se considera necesaria la corrección del sistema proyectado.

No obstante, se puede ejecutar cualquier configuración con características de protección mejores que las calculadas, es decir, atendiendo a las tablas adjuntas al Método de Cálculo de Tierras de UNESA, con valores de " K_r " inferiores a los calculados, sin necesidad de repetir los cálculos, independientemente de que se cambie la profundidad de enterramiento, geometría de la red de protección, dimensiones, número de picas o longitud de estas, ya que los valores de tensión serán inferiores a los calculados en este caso.