

# APÉNDICE: 9.8 CÁLCULOS ELÉCTRICOS



## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1. OBJETO .....	1
2. ACTUACIONES PREVISTAS .....	1
3. NORMATIVA .....	4
4. POTENCIA .....	4
5. ACOMETIDA ELÉCTRICA .....	4
6. LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN SUBTERRÁNEA .....	5
6.1. CONDUCTOR .....	5
6.2. ARQUETAS .....	7
6.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMINALES Y EMPALMES .....	7
6.4. ZANJA Y CANALIZACIONES .....	7
6.5. CRUZAMIENTOS Y CASOS ESPECIALES .....	8
6.6. TIERRAS .....	9
7. TRANSFORMACIÓN .....	9
7.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN .....	9
7.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CASETA .....	9
7.3. CENTRO DE SECCIONAMIENTO Y MEDIDA .....	12
7.4. TRANSFORMADOR .....	13
7.4.1. Interconexión celdas MT- transformador .....	14
7.4.2. Interconexiones de baja tensión .....	14
7.4.3. Unidades de protección .....	14
7.5. RED DE TIERRAS .....	15
7.5.1. MEDIDAS DE SEGURIDAD .....	16
8. CÁLCULOS ELÉCTRICOS .....	19
9. APÉNDICE 9.8.2. LÍNEAS DE MEDIA TENSIÓN. CÁLCULOS ELÉCTRICOS .....	21
9.1. FORMULACIÓN .....	22
9.2. ACOMETIDA .....	23
9.3. DESVÍO DE LÍNEA .....	25
10. APÉNDICE 9.8.4: CÁLCULOS DEL TRANSFORMADOR .....	28



## 1. OBJETO

El presente documento tiene por objeto realizar los cálculos eléctricos de las tomas del Proyecto de Construcción de la segunda fase del Canal de Navarra tras la resolución de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental por la que se formula Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto “Construcción de la segunda fase del canal de Navarra (TT. MM. Ptilas, Ujué, Santacara, Mérida, Valtierra, Arguedas, Tudela, Corella, Cintruénigo, Cascante y Tulebras y el territorio de Bardenas Reales de Navarra)”, así como la inclusión de los acuerdos de modificaciones realizados por CANASA tras alegaciones al proyecto.

Para suministro de la balsa de Mostrakas, la almenara de Pikarana, la almenara 10 SR2, y la toma de riego IX es necesario ejecutar una línea de Media Tensión. La línea aérea en media tensión prevista entre Carcastillo y Mostrakas se ejecutará en soterrado por su afección paisajística y el peligro de colisión/electrocución para la avifauna.

Las zanjas de las líneas soterradas se ejecutarán prioritariamente sobre caminos o superficies de cultivo frente a superficies con vegetación natural.

## 2. ACTUACIONES PREVISTAS

Las actuaciones previstas se resumen en:

- Acometida eléctrica desde el punto indicado por Iberdrola y en sus condiciones establecidas.
- Línea de media tensión subterránea
  - o Tras la conexión de la LMT aérea, se instalará un poste de paso aérea/ subterránea para discurrir posteriormente una canalización de 2x200mm PE (Canalización tipo 2 A en suelos rústicos y tipo 2B El cable de media tensión subterráneo será HEPRZ1 3x240mm<sup>2</sup> A1+H25.

El trazado de la canalización se se ejecutarán prioritariamente sobre caminos o superficies de cultivo frente a superficies con vegetación natural. Se dispone de arquetas de tipo A1 cada 50m y arquetas A2 en cambios de dirección.

- Centro de seccionamiento y transformación en caseta prefabricada
  - o Se ubicará el centro de seccionamiento, medida y transformador en caseta prefabricada
- Para la almenara 10 SR2, filtro de toma IX y toma de riego 9 se ejecutará una línea de media tensión en canalización hormigonada y en bandeja en los tramos de túnel. La línea de MT dará continuidad a la línea aérea. En cada toma se instalará un transformador MT/BT.
- Línea de baja tensión subterránea.

Desde el cuadro general de Baja tensión a instalar en la almenara de Pikarana saldrá una línea de BT para alimentar al desagüe de fondo y todas sus instalaciones.

- Centro de transformación y cuadro de medida.
- Conexión desde el centro de transformador aéreo a CGBT en canalización de 2x160 PVC + 1 tritubo para comunicaciones.
- Grupo electrógeno de socorro: El presente proyecto contempla la instalación de grupo electrógeno de reserva y la posibilidad de alimentación y conexión al CGBT en caso de caída de tensión mediante un dispositivo de conmutación automática.
- Cuadros
  - o En el interior de la almenara de Pikarana se instalará una cabina de dimensión 2.000x800x400 mm. En el interior de dicha cabina se dispondrá el CGBT, Cuadro de control y automatismo, comunicaciones y cuadro de intrusión.
  - o En el frontal de la puerta de la cabina se dispondrá de botonera de accionamiento manual de las válvulas, pilotos visualizadores de estado y pantalla de parametricación de control y comunicaciones, parametros de operación guardados; indicación del estado de operación; registro de las alarmas producidas durante operación; etc.
  - o Cuadro de corte general: Previa conexión al CGBT se dispondrá de un subcuadro cuadro con interruptor general y corte con limitación de sobretensión y equipamiento de protección y medida ARE y demás elementos necesarios.
  - o Cuadro General de Baja Tensión: El CGBT se diseña conteniendo en su interior, debidamente instalados aparallaje y equipamiento de mando y protección de motores, reservas, alumbrado y fuerza, alimentación a instrumentación (válvulas de accionamiento motorizado, caudalímetro, ..), a control y automatismo, alimentación a comunicaciones, alimentación a intrusionismo, y resto de receptores instalados. Además, se alimentará a ventilador, resistencias de caldeo y demás elementos necesarios del propio cuadro.
  - o Cuadro de control y automatismo donde se ubicará el PLC para la gestión global equipos e instrumentos asociados (válvulas, presostatos, caudalímetro, parámetros eléctricos). Dicho PLC recopilará las señales de gestión y permitirá el accionamiento pero sólo en modo manual debido al riesgo que genera el cierre de compuertas sobre el sistema ( golpe de ariete).
  - o Cuadro de comunicaciones: El cuadro de comunicaciones dispondrá de protecciones, transformador 24 V, modem, switch e Interfaz preparada para comunicación industrial modbus; etc. La comunicación con el Centro de Control se realizará mediante G3/SM y reserva de radiofrecuencia VHF. Todo siendo compatible con el sistema actualmente instalado por CANASA.
  - o Cuadro de intrusión: El cuadro de intrusionismo alimentará a la cámara de tipo domo de infrarojos e intrusionismo de contacto en el edificio de la almenara y en el edificio de la arqueta

del desagüe de fondo. Se conectará con el sistema de comunicaciones y transmitirá la información al Centro de Control de CANASA.

- Canalizaciones
  - Desde cada uno de los cuadros se ejecutarán las canalizaciones a cada uno de los elementos. Con carácter general se han previsto canalizaciones 2x200 PE para media tensión y 2x110 PVC para baja tensión. Dichas canalizaciones además podrán o no disponer de tritubo (3x63 pE) para comunicaciones.
  - Adicionalmente en las interconexiones con los receptores se contemplan tubos de acero y bandejas de metálicas y PVC en montaje de superficie libre de halógenos, conteniendo los conductores eléctricos para alimentación a los receptores previstos.
  - La alimentación a instrumentación y señales se realizará en canalizaciones o bandejas independientes.
- Conductores:
  - Los conductores será de tensión nominal 0,6/1 kV, de seguridad en caso de incendio (S), reacción al fuego clase Eca, con conductor de cobre, cubierta de material libre de halógenos, con las siguientes características: no propagación de la llama, baja emisión de humos opacos, libre de halógenos, nula emisión de gases corrosivos, resistencia a la absorción de agua, resistencia al frío, resistencia a los rayos ultravioleta, resistencia a los agentes químicos, resistencia a las grasas y aceites y resistencia a los golpes.
  - Las secciones de líneas de baja tensión se han dimensionado según criterios de densidad de corriente, cortocircuito y caída de tensión, de acuerdo a lo establecido en el REBT.
- Alumbrado
  - Alumbrado interior: luminarias LED ip65.
  - Alumbrado exterior de los edificios mediante proyector adosado: 200w LED.
  - Alumbrado de emergencia: Interior de los edificios o toma.
  - Alumbrado exterior en el acceso a la coronación de la balsa
- Red de tierras:
  - Red de tierra en los edificios: La red de tierra general será un anillo de cobre de 35 mm<sup>2</sup> conectado mediante soldadura aluminotérmica a la estructura y 4 Ud picas cobrizadas de 2 m y 14,3 mm de diámetro. Se derivará desde esta red hasta los armarios y equipos o partes metálicas con cable de 35 mm<sup>2</sup>. Los conductores de cobre utilizados como electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma UNE 21.022.

- Red de tierras de la estructura y losa de la toma: La red de tierra general será un anillo de cobre de 35 mm<sup>2</sup> conectado mediante soldadura aluminotérmica a la estructura y 2 Ud picas cobrizadas de 2 m y 14,3 mm de diámetro. Se derivará desde esta red hasta los armarios y equipos o partes metálicas con cable de 35 mm<sup>2</sup>. Los conductores de cobre utilizados como electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma UNE 21.022.
- Red de tierra de pararrayos: Tendrá red de tierras independiente.
- S.A.I.
  - Se dispondrá de SAI para suministro a equipos de comunicaciones, control y automatismo.
  - El SAI, contará con las salidas de las siguientes características:
    - +48Vcc, rectificador 2x2500W
    - +24Vcc, rectificador 2x1500W
    - 230Vca rectificador 1x1500W
    - Batería de acumuladores con autonomía de 2 horas, 2250W.
- Pararrayos
  - Se dispondrá de pararrayos ionizante-seguidor de campo con nivel de protección adecuado, tipo S/150 con radio de protección mínimo de 105 m.
  - La red de tierra será independiente del resto de redes de tierra instaladas.
  - El sistema externo de protección contra el rayo está formado por dispositivos captadores y por derivadores o conductores de bajada.

### 3. NORMATIVA

No se modifica

### 4. POTENCIA

No se modifica

### 5. ACOMETIDA ELÉCTRICA.

No se modifica

## 6. LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN SUBTERRÁNEA

### 6.1. CONDUCTOR

Una vez realizado el punto de conexión, tanto en el caso de una línea subterránea de la red de distribución como en el caso de que se realice una conversión de línea aérea a subterránea en el apoyo de transición, el conductor enterrado presentará las siguientes características:

- Tipo: HEPRHZ1+ H-16 o H25 UNIPOLARES 18/30 kV
- CONDUCTOR: Aluminio, semirrígido, clase 2.
- AISLAMIENTO: R. Polietileno reticulado (XLPE).
- PANTALLA: Corona de hilos de cobre.
- CUBIERTA EXTERIOR: Z1. Poliolefina termoplástica libre de halógenos.
- TENSIÓN: 18/30 kV
- DISEÑO MATERIALES: Según norma UNE-21123, en correspondencia con IEC-502. R.U. 3305 C.
  - Material conductor: Aluminio
  - Designación UNESA: RHZ-1 18/30 KV 1x240 KAL+H16
  - Composición de la cuerda: clase 2, UNE 21022
  - Aislamiento: XLPE
  - Pantalla: Alambres cobre 16 mm<sup>2</sup>
  - Cubierta: Poliolefina
  - Sección: 240 mm<sup>2</sup>
  - Diámetro exterior: 42,7 mm
  - Peso: 1.910 Kgm./m.
  - Resistencia máxima: a 20°C de 0,119 /Km
  - Reactancia: 0,197 Ω/Km
  - Capacidad: 0,189 Ω/Km.
  - Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 36 kV
  - Tensión de ensayo al choque: 125 kV
  - Intensidad admisible enterrado a 100 cm. y 25 °C de temperatura: 320 A

mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	kg/km	mm	A	A
240	42,7	35,2	1910	640	345	455



Los conductores van aislados con XLPE - Polietileno reticulado, consiguiéndose mediante este proceso que el polietileno deje de ser material termoplástico y se convierte en termoestable, lo cual permite operar al conductor a 90°C de manera continua, soportando 130°C ante sobrecargas temporales y 250°C en situaciones de cortocircuitos.

A continuación del conductor se dispone una pantalla semiconductora cuya fijación es realizar una distribución homogénea del campo eléctrico, uniformizando la superficie de contacto.

La pantalla metálica está destinada a la protección eléctrica del cable, siendo varias sus funciones:

- Establecer un campo radial, con lo que se logra una distribución simétrica y uniforme del esfuerzo eléctrico en el aislamiento.
- Limitar la influencia mutua entre cables próximos, al drenar a tierra las corrientes de capacidad.
- Derivar a tierra las corrientes de cortocircuito homopolares, evitando o al menos reduciendo los peligros de electrocuciones.

Utilizaremos la siguiente designación:

- **H** Pantalla para los cables de campo radial.
- **O** Pantalla para los cables de campo no radial.

El cable se finaliza disponiendo una capa estanca extraída de un compuesto de Poliolefina, normalmente de color rojo, que protegerá al cable de cualquier acción nociva exterior.

Los cables llegarán grabados en su cubierta exterior las siguientes indicaciones:

- Nombre del fabricante
- Año de fabricación

- Número de conductores, sección y símbolo AI
- Tensión de servicio

## **6.2. ARQUETAS**

Las arquetas previstas son las denominadas A1 y A2. Las arquetas prefabricadas tomarán como referencia la norma informativa NNH001 Arquetas Prefabricadas para Canalizaciones Subterráneas.

En la arqueta, los tubos quedarán como mínimo a 25 cm por encima del fondo para permitir la colocación de rodillos en las operaciones de tendido. Una vez tendido el cable, los tubos se sellarán con material expansible, yeso o mortero ignífugo de forma que el cable quede situado en la parte superior del tubo. La situación de los tubos en la arqueta será la que permita el máximo radio de curvatura

Como criterio general se ha adoptado arqueta tipo A2 en cambios de dirección, y arquetas A1 en alineaciones rectas con separación máxima de 50,0m.

## **6.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMINALES Y EMPALMES**

De acuerdo con la Norma UNE 21.115-75, las características eléctricas de terminales y empalmes serán las siguientes:

Los terminales se compondrán de los siguientes elementos:

- Trenza de puesta a tierra de cobre
- Funda termorretractil de control de gradiente
- Aisladores premoldeados de EPR
- Funda aislante de protección
- Conector terminal

La denominación será la siguiente: Terminal de interior: TME 24 12/20 /AL

Correspondiendo a terminales modulares elásticos con repartidor de tensión, para conductor de 12/20 KV y 150 mm<sup>2</sup> de sección, equipados con adaptador 20 MA.

Los empalmes, si fueran necesarios, se realizarán con cintas aislantes autovulcanizados y resina epoxi, reconstruyéndose la pantalla del cable con malla de cobre.

## **6.4. ZANJA Y CANALIZACIONES**

Las líneas se enterrarán bajo tubo de 200 mm de diámetro exterior, a una profundidad mínima de 130 cm. Poseerán una resistencia suficiente a las solicitaciones a las que se han de someter durante su instalación siendo Tubos Polietileno (Libres de halógenos) para canalizaciones subterráneas.

El diámetro interior del tubo no será inferior a 1,5 veces el diámetro aparente del haz de conductores.

Sobre el relleno se instalará una banda de polietileno de color amarillo-naranja en la que se advierta la presencia de cables eléctricos, esta banda es la que figura en la Recomendación UNESA 0205. A continuación, se rellenará la zanja con tierra procedente de la excavación, debiendo utilizar para su apisonado y compactación medios mecánicos. Finalmente, se reconstruirá el pavimento, si lo hubiera, del mismo tipo y calidad del existente antes de realizar la apertura.

En cada cambio de dirección se ejecutará una arqueta de dimensiones suficientes, con drenaje y tapa precintada con hormigón de forma que su apertura necesite de útiles especiales.



### Cinta de polietileno

#### CARACTERÍSTICAS

Designación	Color	Anchura cm	Espesor mm	Lado triángulo cm
CP - 15	Amarillo-naranja vivo	15 ± 0,5	0,1 ± 0,01	10,5 ± 0,3

CP = Cinta de polietileno 15 = anchura en cm

Placa de protección de cables en zanja PPC-250/1000, NI 52.95.01



### Marcas de las placas

#### 6.5. CRUZAMIENTOS Y CASOS ESPECIALES

En los cruces de calzada o en cruces especiales el cable irá alojado en tubos de Polietileno de doble pared de superficie interna lisa, siendo su diámetro de 200 mm en prisma hormigonado, siendo el número de tubos, el doble de las líneas que pasan.

Cuando una canalización discorra paralelamente a conducciones de otros servicios (agua, gas, teléfonos, telecomunicación, vapor etc.) se guardará una distancia mínima de 50 cm y lo indicado en la ITC BT 006. En los cruzamientos con otros servicios, la distancia mínima será de 20 cm.

Cuando en una misma zanja coincidan más de un cable la distancia entre los mazos que forman cada terna será como mínimo de 0,20 m.

## **6.6. TIERRAS**

En las llegadas a las líneas subterráneas de alimentación, se colocará un dispositivo que permita poner a tierra los cables en caso de trabajos o reparación de averías, a fin de evitar posibles accidentes originados por la existencia de cargas por capacidad. Las cubiertas metálicas de los cables deben estar en perfecta comunicación con tierra.

## **7. TRANSFORMACIÓN**

### **7.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN**

El Centro de Transformación de las tomas 12, 13 y 21 se ejecutará en caseta y será de 50 KVA.

A continuación se adjunta las características de los elementos:

### **7.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CASETA**

Edificio de Transformación: Ormazabal o similar.

#### **a. Descripción**

Estos Centros de Transformación, de superficie y maniobra interior (tipo caseta), están formados por distintos elementos prefabricados de hormigón, que se ensamblan en obra para constituir un edificio, en cuyo interior se incorporan todos los componentes eléctricos, desde la aparamenta de MT hasta los cuadros de BT, incluyendo los transformadores, dispositivos de Control e interconexiones entre los diversos elementos.

Estos Centros de Transformación pueden ser fácilmente transportados para ser instalados en lugares de difícil acceso gracias a su estructura modular.

#### **b. Envolvente**

Los paneles que forman la envolvente están compuestos por hormigón armado vibrado y tienen las inserciones necesarias para su manipulación.

Las piezas construidas en hormigón ofrecen una resistencia característica de 300 kg/cm<sup>2</sup>. Además, disponen de una armadura metálica, que permite la interconexión entre sí y al colector de tierras. Esta unión se realiza mediante latiguillos de cobre, dando lugar a una superficie equipotencial que envuelve completamente al centro. Las puertas y rejillas están aisladas eléctricamente, presentando una resistencia de 10 kOhm respecto de la tierra de la envolvente.

El transformador va ubicado sobre una "Meseta de Transformador" diseñada específicamente para distribuir el peso del mismo uniformemente sobre la placa base y recoger el volumen de líquido refrigerante del transformador ante un eventual derrame.

La placa base está formada por una losa de forma rectangular con una serie de bordes elevados, que se une en sus extremos con las paredes. En su perímetro se sitúan los orificios de paso de los cables de MT y BT. Estos orificios están semiperforados, realizándose en obra la apertura de los que sean necesarios para cada aplicación. De igual forma, dispone de unos orificios semiperforados practicables para las salidas a las tierras exteriores.

c. - Placa piso

Sobre la placa base, y a una altura de unos 500 mm, se sitúa la placa piso, que se apoya en un resalte interior de las paredes, permitiendo este espacio el paso de cables de MT y BT, a los que se accede a través de unas troneras cubiertas con losetas.

d. - Accesos

En las paredes frontal y posterior se sitúan las puertas de acceso de peatones, las puertas de transformador (ambas con apertura de 180°) y rejillas de ventilación. Todos estos materiales están fabricados en chapa de acero.

Las puertas de acceso de peatón disponen de un sistema de cierre con objeto de garantizar la seguridad de funcionamiento para evitar aperturas intempestivas de las mismas. Para ello se utiliza una cerradura de diseño ORMAZABAL que ancla la puerta en dos puntos, uno en la parte superior y otro en la inferior.

e. Ventilación

Las rejillas de ventilación están formadas por lamas en forma de "V" invertida, diseñadas para formar un laberinto que evita la entrada de agua de lluvia en el Centro de Transformación, e interiormente se complementa con una rejilla con malla mosquitera.

f. Acabado

El acabado de las superficies exteriores se efectúa con pintura de color blanco en las paredes, y marrón en el perímetro de las cubiertas o techo, puertas y rejillas de ventilación.

Las piezas metálicas expuestas al exterior están tratadas adecuadamente contra la corrosión.

g. Varios

Sobrecargas admisibles y condiciones ambientales de funcionamiento según normativa vigente.

h. Cimentación

Para la ubicación del centro de transformación es necesario realizar una excavación, cuyas dimensiones variarán en función del modelo y de la solución adoptada para la red de tierras, sobre cuyo fondo se extiende una capa de arena compactada y nivelada de unos 100 mm de espesor.

i. Características Detalladas

Nº de transformadores: 1

Tipo de ventilación:	Normal
Puertas de acceso peatón:	2 puertas
Dimensiones exteriores:	
Longitud:	4480 mm
Fondo:	2230mm
Altura:	3045 mm
Altura vista:	2650 mm

## Dimensiones de la excavación

Longitud:	5500 mm
Fondo:	350 mm
Profundidad:	650 mm

*Nota: estas dimensiones son aproximadas en función de la solución adoptada para el anillo de tierras.*

## - Condiciones de servicio

Las casetas prefabricadas estarán construidas para soportar las siguientes condiciones de trabajo:

- Sobrecarga de nieve de 250 kg /m<sup>2</sup> en cubiertas.
- Sobrecarga en solera de 600 kg /m<sup>2</sup>.
- Carga de un transformador de 5000 kg sobre la meseta.

Las temperaturas de funcionamiento de un PFU-4 y un PFU-5 son: (hasta una humedad del 100%)

- Mínima transitoria -15 °C
- Máxima transitoria +50 °C
- Máxima media diaria +35 °C

Estos datos corresponden a una altura de 5 m por encima del nivel del mar de acuerdo con la norma MV-101-1962.

## j. Alumbrado.

En el interior del centro de seccionamiento se instalará un mínimo de dos puntos de luz capaces de proporcionar un nivel de iluminación suficiente para la comprobación y maniobra de los elementos del mismo. El nivel medio será como mínimo de 150 lux .

Los focos luminosos estarán colocados sobre soportes rígidos y dispuestos de tal forma que se mantenga la máxima uniformidad posible en la iluminación. Además, se deberá poder efectuar la sustitución de lámparas sin peligro de contacto con otros elementos en tensión.

Se dispondrá también dos puntos de luz de emergencia de carácter autónomo que señalará los accesos al centro de seccionamiento.

k. Protección contra Incendios.

De acuerdo con la instrucción MIERAT 14, se dispondrá como mínimo de un extintor de eficacia equivalente 89 B.

l. Mallas de protección de transformador.

Unas rejas metálicas impedirán el acceso directo a la zona del transformador desde el interior del prefabricado. Opcionalmente esta malla podrá ser sustituida por un tabique separador metálico.

j) Malla de separación interior.

Cuando haya áreas del centro de transformación con acceso restringido, se podrá instalar una malla de separación metálica con puerta y cierre por llave.

### **7.3. CENTRO DE SECCIONAMIENTO Y MEDIDA**

Se ha previsto la instalación de un centro de seccionamiento y medida alojado en un edificio de hormigón armado, en el que se alojarán los siguientes equipos:

- 1 Ud Módulo de línea, para corte y aislamiento íntegro, con aparellaje en dieléctrico de gas SF6, de 370 mm. de ancho, 1800 mm. de alto y 850 mm. de fondo, conteniendo en su interior debidamente montados y conexiónados, los siguientes aparatos y materiales: un interruptor III, con posiciones Conexión - Seccionamiento - Puesta a tierra, (conectado, desconectado, y puesta a tierra), de 24 kV de tensión nominal, 400 A. de intensidad nominal, capacidad de cierre sobre cortocircuito de 40 kA. cresta, y capacidad de corte de 400 A. y mando manual tipo B; tres captosres capacitivos de presencia de tensión de 24 kV.; embarrado para 400 A.; pletina de cobre de 30x3 mm. para puesta a tierra de la instalación.
- 1 Ud Módulo de protección de transformadores, para corte y aislamiento íntegro, con aparellaje en dieléctrico de gas SF6, de 480 mm. de ancho, 1800 mm. de alto y 850 mm. de fondo, conteniendo en su interior debidamente montados y conexiónados, los siguientes aparatos y materiales: un interruptor III, con posiciones Conexión - Seccionamiento - Puesta a tierra, (conectado, desconectado, y puesta a tierra), de 24 kV. de tensión nominal, 400 A. de intensidad nominal, capacidad de cierre sobre cortocircuito de 40 kA. cresta, y capacidad de corte de 400 A. y mando manual tipo B; tres portafusibles para cartuchos de 24 kV. según DIN-43625; tres cartuchos fusibles de 24 kV. según DIN-43625; un seccionador de puesta a tierra sobre los contactos inferiores de los fusibles, de 24 kV. de tensión nominal; tres captosres captativos de

presencia de tensión de 24 kV.; embarrado para 400 A.; pletina de cobre de 30x3 mm. para puesta a tierra de la instalación.

- 1 Ud Módulo de medida para dos transformadores de tensión e intensidad, de 800 mm. de ancho, 1865 mm. de alto y 850 mm. de fondo, conteniendo en su interior debidamente montados y conexiados los siguientes aparatos y materiales: transformadores de tensión relación  $x/110$  V., de 50 VA., en clase 0,5; transformadores de intensidad relación  $x/5A$  de 15 VA., en clase 0,5; interconexión de potencia con módulos contiguos; pletina de cobre de 30x3 mm. para puesta a tierra de la instalación. Accesorios y pequeño material. Instalado.

1 Ud. Resistencia vitrificada de 25 ohmios y 800 W

- 3 Uds. Transformadores de Tensión 13200v3/110v3-110:3 de 15 VA clase (\*) 0,2 con dispositivo antiexplosivo.

- 3 Uds. Transformadores de Intensidad 5 VA clase (\*) 0,2S 200 In, medida a 4 hilos, relación 20/5 (conectados según la potencia a contratar).

(\*) En suministros tipo 2 se aconseja clase 0,2 en T.T. y 0,2 S en T.I.

El centro de seccionamiento objeto del presente proyecto será de tipo interior, empleando para su aparellaje celdas prefabricadas bajo envolvente metálica según norma UNE-EN 62271-200.

- Las celdas de M.T. dispondrán de una serie de enclavamientos funcionales que responden a los definidos por la Norma UNE-EN 62271-200, y que serán los siguientes:
- Sólo será posible cerrar el interruptor con el seccionador de tierra abierto y con el panel de acceso cerrado.
- El cierre del seccionador de puesta a tierra sólo será posible con el interruptor abierto.
- La apertura del panel de acceso al compartimento de cables sólo será posible con el seccionador de puesta a tierra cerrado.
- Con el panel delantero retirado, será posible abrir el seccionador de puesta a tierra para realizar el ensayo de cables, pero no será posible cerrar el interruptor.

#### **7.4. TRANSFORMADOR**

Transformador de media a baja tensión de 50 kVA. de potencia, en baño de aceite, refrigeración natural, para interior, de las siguientes características: tensión primaria 13.2/20 kV., tensión secundaria 231/400 A., regulación +- 2,5% +- 5%; conexión DYn11; tensión de cortocircuito 4%. Según normas , UNE, UNESA . Equipado con termómetro de esfera de dos contactos y termostato, puentes de conexión entre módulo de protección y transformador realizado con cables de A.T. 12/20 kV. unipolares de 1x240 mm<sup>2</sup> Al., terminales encausables en ambos extremos y rejilla de protección.

#### **7.4.1. Interconexión celdas MT– transformador**

La unión de la celda de alta tensión con las bornas del transformador se hará mediante cable RHZ1+H16 (18/30 KV), unipolares, con conductores de sección y material 1 x 95 mm<sup>2</sup> 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.

#### **7.4.2. Interconexiones de baja tensión**

Juego de puentes de cables de BT, de sección y material Al (Polietileno Reticulado) sin armadura, y todos los accesorios para la conexión, formados por un grupo de cables en la cantidad 1xfase + 1xneutro, según se indican en los esquemas unifilares del presente proyecto.

#### **7.4.3. Unidades de protección**

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:

Rango de potencias: 50 kVA - 2500 kVA

Funciones de Protección:

Sobreintensidad

Fases (3 x 50/51)

Neutro (50N / 51N)

Neutro Sensible (50Ns / 51Ns)

Disparo exterior: Función de protección (49T)

Detección de faltas a tierra desde 0,5 A

Bloqueo de disparo interruptor: 1200 A y 300 A

Evita fusiones no seguras de fusibles (zona I3)

Posibilidad de pruebas por primario y secundario

Configurable por software (RS-232) y comunicable (RS-485)

Histórico de disparos

Medidas de intensidad: I1, I2, I3 e Io

Opcional con control integrado (alimentación auxiliar)

- Elementos:

Relé electrónico que dispone en su carátula frontal de 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 que tienen una relación de 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 1 sensor adicional por fase.

La tarjeta de 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 Vca para 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 del interruptor.

- Otras características:

- I<sub>th</sub>/I<sub>din</sub>: 20 kA / 50 kA
- Temperatura: -10 °C a 60 °C
- Frecuencia: 50 Hz; 60 Hz ± 1 %
- Ensayos:

- De aislamiento según 60255-5

- De compatibilidad electromagnética según CEI 60255-22-X, CEI 61000-4-X y EN 50081-2/55011

- Climáticos según CEI 60068-2-X

- Mecánicos según CEI 60255-21-X

- De potencia según CEI 60265 y CEI 60056

Así mismo este producto cumple con la directiva de la Unión Europea sobre compatibilidad electromagnética 89/336/EEC y con la CEI 60255. Esta conformidad es resultado de un ensayo realizado según el artículo 10 de la directiva, y recogido en el protocolo B131-01-69-EE acorde a las normas genéricas EN 50081 y EN 50082.

## **7.5. RED DE TIERRAS**

Tierra de Protección.

Se conectarán a tierra los elementos metálicos de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero que puedan estarlo a causa de averías o circunstancias externas.

Las celdas dispondrán de una pletina de tierra que las interconectará, constituyendo el colector de tierras de protección.

#### Tierra de Servicio.

Se conectarán a tierra el neutro del transformador y los circuitos de baja tensión de los transformadores del equipo de medida.

#### Tierras interiores.

Las tierras interiores del centro de transformación tendrán la misión de poner en continuidad eléctrica todos los elementos que deban estar conectados a tierra con sus correspondientes tierras exteriores.

La tierra interior de protección se realizará con cable de 50 mm<sup>2</sup> de cobre desnudo formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos metálicos e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujeción y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP 545.

Las cajas de seccionamiento de la tierra de servicio y protección estarán separadas por una distancia mínima de 1 m.

El centro de transformación dispondrá de dos sistemas tierras independientes, que se clavarán a un mínimo de 8 m de distancia entre ambas.

Uno de ellos será el que conecte todas las partes metálicas de celdas, seccionador y carcasa del transformador a tierra, mediante ocho picas de acero cobreado de 2 m de longitud y 14 mm. de diámetro mínimo.

La unión de la red de picas así formada con la tierra herrajes del C.T. se realizará mediante cable aislado RV 0,6/1 KV, de 50 mm<sup>2</sup> en cobre. Este cable irá conectado a unos bornes de comprobación accesibles situados en el interior del C.T.

El otro será correspondiente al neutro del transformador que llegará hasta la pica de tierra con cable aislado como se describió anteriormente. Del mismo modo, existirá en el C.T. un punto de puesta a tierra, accesible, a fin de poder efectuar las medidas correspondientes. La resistencia a tierra de esta pica debe ser menor de 20 Ohm., disponiéndose en paralelo cuántas se necesiten para alcanzar dicha cifra.

#### **7.5.1. 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 interesar al mando del aparato principal, del seccionador de puesta a tierra y a las tapas de acceso a los cables.

- 2 Las celdas de entrada y salida serán con aislamiento integral y corte en SF6, y las conexiones entre sus embarrados deberán ser apantalladas, consiguiendo con ello la insensibilidad a los agentes externos, y evitando de esta forma de pérdida del 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 aparatenta estarán situados frente al operario en el momento de realizar la operación, y el diseño de la aparatenta 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 Media y Baja Tensión. Por ello, esta salida de gases no debe estar enfocada en ningún caso hacia el foso de cables.

#### PUERTAS ACCESO AL C.T. Y VENTANAS DE VENTILACIÓN

Las puertas de acceso al centro de transformación desde el exterior serán incombustibles y suficientemente rígidas, abrirán hacia afuera de forma que se abatan sobre el muro de fachada.

Para la colocación del marco de las puertas se prestará atención a su buena nivelación y aplomado a fin de obtener un buen funcionamiento y cierre de las puertas.

La fijación a los muros se hará con mortero de 250 kg de cemento.

Estarán impregnadas en una mano de pintura antioxidante posteriormente con dos manos de pintura plástica aislante gris perla.

Tanto las puertas como las ventanas, no se conectarán al circuito de tierras de herrajes.

#### Ventilación

De los diferentes sistemas existentes para la ventilación de los transformadores, hemos optado por el que crea una corriente de aire ascendente (aire natural con barrido de todo el volumen interior), aire frío que entra por la rejilla interior tras el transformador y que, tras calentarse, refrigerando al mismo, sale por la rejilla que está situada en la puerta del C.T.

Si durante el funcionamiento del transformador debido a su régimen de carga, temperatura ambiente, o a otras incidencias, se observara que la temperatura de trabajo del transformador está próxima a la máxima recomendada por el fabricante, se podrá disponer de ventilación o extracción forzada de aire para mejor aireación del recinto.

Todas las entradas y salidas de aire llevarán en su interior una malla metálica de trama fina cuadrada de aproximadamente 5 mm. para impedir la entrada de pequeños animales y objetos al interior del recinto.

#### Tornillería

Toda la tornillería que se emplee en el montaje mecánico del C.T. estará debidamente protegida contra la oxidación siendo galvanizada, bicromatada o estar protegida por otro procedimiento sancionado por la práctica.

### Montaje eléctrico

Destacaremos en los apartados siguientes pormenores relativos a los elementos integrantes del sistema eléctrico, así como al montaje propiamente dicho de éstos.

### SEGURIDAD

Desarrollaremos en este capítulo aspectos varios relacionados con la seguridad de las personas e instalaciones.

### Distancias

A la vista de la MIE-RRAT-14, consideraremos que se cumplen ampliamente las prescripciones indicadas, ya que las protecciones con rejilla cumplen correctamente su función.

La anchura del pasillo frente a las celdas de Alta Tensión nunca será inferior a 1,30 m., que es superior a la exigida. Otros puntos relativos a distancias de seguridad entre elementos ya han sido tratados anteriormente.

### Señalización e identificación

#### Esquema unifilar

Próximo a la puerta de entrada se colocará un esquema unifilar de la instalación existente plastificado o enmarcado que garantice un mínimo de duración.

#### Puertas

En cada hoja de cada una de ellas, se dispondrá una señal normalizada que indique la existencia en el interior de peligro eléctrico.

#### Celdas

En el panel frontal de cada una de ellas, irá especificado qué celda es, preferible es el que ésta identificación se realice mediante rotulación directa con pintura negra.

#### Mandos

En la proximidad de cada mando de interruptor, seccionador, etc., irá identificado a qué aparato corresponde éste mando. Si la carátula de maniobra del fabricante del aparato no existiera o no fuera suficientemente clara y definitoria, se señalará asimismo este extremo.

#### Elementos de seguridad

Se dispondrán los siguientes materiales, todos ellos para la tensión nominal de 36 kilovoltios.

- Banqueta aislante.
- Insuflador boca a boca.

- Par de guantes aislantes de 36 KV. En caja metálica
- Pértiga de salvamento.
- Pértiga de maniobra de 36 KV.

#### Alumbrado

En la sala de celdas se dispondrá en el techo 2 regletas fluorescentes estancas de 2x18 w. situados en la vertical del pasillo.

En el recinto correspondiente al transformador, se dispondrá de 1 ojo de buey de 60 w mínimo.

La instalación de alumbrado se realizará mediante cables unipolares bajo tubo. Se dispondrá un aparato autónomo de alumbrado de seguridad o emergencia encima de la puerta de entrada, estos aparatos deben garantizar una hora de funcionamiento y 60 lúmenes.

#### Contra incendios

De acuerdo con la Instrucción MIE-RAT 14, se dispondrá de un extintor de eficacia equivalente de 144 B.

## **8. CÁLCULOS ELÉCTRICOS**

Los cálculos eléctricos de las líneas de media tensión y centro de transformación se adjunta en los Apéndices en los que se incluye exclusivamente los correspondientes a las modificaciones indicadas:

- Apéndice 9.8.1 Cálculo de potencias: No se modifica
- Apéndice 9.8.2. Cálculos eléctricos: Se incluyen los cálculos de las LMTs de la acometida y desvío de línea existente
- Apéndice 8.8.3 Líneas de baja tensión. No se modifica
- Apéndice 9.8.4 Cálculo del transformador. Se incluye nuevo apéndice con cálculo de transformador en caseta prefabricada



9. APÉNDICE 9.8.2. LÍNEAS DE MEDIA TENSIÓN. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

## 9.1. FORMULACIÓN

Emplearemos las siguientes:

$$I = S \times 1000 / 1,732 \times U = \text{Amperios (A)}$$

$$e = 1.732 \times I [(L \times \text{Cos}\varphi / k \times s \times n) + (X_u \times L \times \text{Sen}\varphi / 1000 \times n)] = \text{voltios (V)}$$

En donde:

I = Intensidad en Amperios.

e = Caída de tensión en Voltios.

S = Potencia de cálculo en kVA.

U = Tensión de servicio en voltios.

s = Sección del conductor en mm<sup>2</sup>.

L = Longitud de cálculo en metros.

K = Conductividad.

Cos  $\varphi$  = Coseno de  $\varphi$ . Factor de potencia.

X<sub>u</sub> = Reactancia por unidad de longitud en mΩ/m.

n = N<sup>o</sup> de conductores por fase.

### Fórmula Conductividad Eléctrica

$$K = 1/\rho$$

$$\rho = \rho_{20}[1+\alpha(T-20)]$$

$$T = T_0 + [(T_{\text{max}}-T_0)(I/I_{\text{max}})^2]$$

Siendo,

K = Conductividad del conductor a la temperatura T.

$\rho$  = Resistividad del conductor a la temperatura T.

$\rho_{20}$  = Resistividad del conductor a 20°C. (Conductores bimetalicos,  $\rho_{20} = \text{Stotal}/\Sigma(s/\rho)$ , siendo  $\rho$  y  $s$  la resistividad y sección de los distintos metales que componen el conductor)

$$\text{Cu} = 0.017241 \text{ ohmiosxmm}^2/\text{m}$$

$$\text{Al} = 0.028264 \text{ ohmiosxmm}^2/\text{m}$$

$$\text{AlMgSi} = 0.03250 \text{ ohmiosxmm}^2/\text{m}$$

$$\text{Ac (Acero)} = 0.192 \text{ ohmiosxmm}^2/\text{m}$$

$$\text{Ac-Al (Acero recubierto Al)} = 0.0848 \text{ ohmiosxmm}^2/\text{m}$$

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura:

$$\text{Cu} = 0.003929$$

$$\text{Al y demás conductores} = 0.004032$$

T = Temperatura del conductor (°C).

T<sub>0</sub> = Temperatura ambiente (°C):

$$\text{Cables enterrados} = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Cables al aire} = 40^\circ\text{C}$$

T<sub>max</sub> = Temperatura máxima admisible del conductor (°C):

$$\text{XLPE, EPR} = 90^\circ\text{C}$$

$$\text{HEPR} = 90^\circ\text{C (105}^\circ\text{C, } U_0/U \leq 18/30 \text{ kv)}$$

$$\text{PVC} = 70^\circ\text{C}$$

$$\text{Conductores Recubiertos} = 90^\circ\text{C}$$

$$\text{Conductores Desnudos} = 85^\circ\text{C}$$

I = Intensidad prevista por el conductor (A).

I<sub>max</sub> = Intensidad máxima admisible del conductor (A).

### Fórmulas Cortocircuito

$$* I_{\text{pccM}} = S_{\text{cc}} \times 1000 / 1.732 \times U$$

Siendo:

I<sub>pccM</sub>: Intensidad permanente de c.c. máxima de la red en Amperios.

S<sub>cc</sub>: Potencia de c.c. en MVA.

U: Tensión nominal en kV.

$$* I_{\text{cccs}} = K_c \times S / (t_{\text{cc}})^{1/2}$$

Siendo:

Icccs: Intensidad de c.c. en Amperios soportada por un conductor de sección "S", en un tiempo determinado "tcc".

S: Sección de un conductor en mm<sup>2</sup>.

tcc: Tiempo máximo de duración del c.c., en segundos.

Kc: Cte del conductor que depende de la naturaleza y del aislamiento.

## 9.2. ACOMETIDA

### Las características generales de la red son: Red Alta Tensión 1

#### Las características generales de la red son:

Tensión(V): 13200

C.d.t. máx.(%): 5

Cos φ : 0,8

Coef. Simultaneidad: 1

Constante cortocircuito Kc:

- PVC, Sección <= 300 mm<sup>2</sup>. KcCu = 115, KcAl = 76

- PVC, Sección > 300 mm<sup>2</sup>. KcCu = 102, KcAl = 68

- XLPE. KcCu = 143, KcAl = 94

- EPR. KcCu = 143, KcAl = 94

- HEPR, U<sub>0</sub>/U > 18/30. KcCu = 143, KcAl = 94

- HEPR, U<sub>0</sub>/U <= 18/30. KcCu = 135, KcAl = 89

- Desnudos. KcCu = 164, KcAl = 107, KcAl-Ac = 135

#### A continuación se presentan los resultados obtenidos para las distintas ramas y nudos:

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Long. (m)	Metal/ Xu (mΩ/m)	Canal.	Designación	Polar.	I. Cálculo (A)	Sección (mm <sup>2</sup> )	D.tubo (mm)	I. Admisi. (A)/Fci
1	1	2	15	Al-Ac/0,33	Desnudos	LA-145 (119-AL1/28-ST1A)	Unip.	2,19	2(3x147,1)		746/1
2	2	3	37	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1
3	3	4	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1
4	4	5	46	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1
5	5	6	24	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1
6	6	7	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1
7	7	8	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1
8	8	9	11	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	2,19	3x240	200	345/1

Nudo	C.d.t. (V)	Tensión Nudo (V)	C.d.t. (%)	Carga Nudo
1	0	13.200	0	2,187 A(50 kVA)
2	0,011	13.199,988	0	0 A(0 kVA)
3	0,037	13.199,963	0	0 A(0 kVA)
4	0,073	13.199,928	0,001	0 A(0 kVA)
5	0,105	13.199,895	0,001	0 A(0 kVA)
6	0,122	13.199,878	0,001	0 A(0 kVA)
7	0,157	13.199,843	0,001	0 A(0 kVA)
8	0,192	13.199,808	0,001	0 A(0 kVA)
9	0,2	13.199,8	0,002*	-2,187 A(-50 KVA)

NOTA:

- \* Nudo de mayor c.d.t.

#### A continuación se muestran las pérdidas de potencia activa en kW.

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Pérdida Potencia Activa Rama.3RI <sup>2</sup> (kW)
1	1	2	0
2	2	3	0
3	3	4	0
4	4	5	0
5	5	6	0
6	6	7	0
7	7	8	0

8	8	9	0
---	---	---	---

Pérdida Potencia Activa Total = 0 kW

Pérdida Potencia Activa Total Itinerarios.  $3RI^2(kW)$ :

1-2-3-4-5-6-7-8-9 = 0 kW

#### Resultados obtenidos para las protecciones:

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Un (kV)	U1 (kV)	U2 (kV)	Fusibles;In (Amp)	I.Aut;In/IReg (Amp)	I-Secc;In/Iter/IFus (Amp)
1	1	2	17,5	95	38	10		

In(A). Intensidad nominal del elemento de protección o corte.

Ireg(A). Intensidad de regulación del relé térmico del interruptor automático.

Iter(A). Intensidad nominal del relé térmico asociado al elemento de corte (seccionador interruptor).

IFus(A). Intensidad nominal de los fusibles asociados al elemento de corte (seccionador interruptor).

#### Resultados obtenidos para las Autoválvulas-Pararrayos:

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	In (kA)	Un (kV)	U1 (kV)	U2 (kV)
1	1	2	10	18	95	38

In(kA). Intensidad nominal de la autoválvula-pararrayos.

Un(kV). Tensión más elevada de la red.

U1(kV). Tensión de ensayo al choque con onda de impulso de 1,2/50 microsegundos. kV Cresta.

U2(kV). Tensión de ensayo a frecuencia industrial 50 Hz, bajo lluvia durante un minuto. kV Eficaces.

#### Caída de tensión total en los distintos itinerarios:

1-2-3-4-5-6-7-8-9 = 0 %

#### Según la configuración de la red, se obtienen los siguientes resultados del cálculo a cortocircuito:

Scc = 350 MVA.

U = 13.2 kV.

tcc = 0,5 s.

IpccM = 15.308,53 A.

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Sección (mm <sup>2</sup> )	Icccs (A)	Prot. térmica/In	PdeC (kA)
1	1	2	2(3x147,1)	56.168,32	10	25
2	2	3	3x240	30.207,6		
3	3	4	3x240	30.207,6		
4	4	5	3x240	30.207,6		
5	5	6	3x240	30.207,6		
6	6	7	3x240	30.207,6		
7	7	8	3x240	30.207,6		
8	8	9	3x240	30.207,6		

#### Cálculo de Cortocircuito en Pantallas:

##### Datos generales:

Ipcc en la pantalla = 1.000 A.

Tiempo de duración c.c. en la pantalla = 1 s.

##### Resultados:

Sección pantalla = 16 mm<sup>2</sup>.

Icc admisible en pantalla = 3.130 A.

### 9.3. DESVÍO DE LÍNEA

Las características generales de la red son:

Tensión(V): 13200

C.d.t. máx.(%): 5

Cos  $\varphi$  : 0,8

Coef. Simultaneidad: 1

Constante cortocircuito Kc:

- PVC, Sección  $\leq$  300 mm<sup>2</sup>. KcCu = 115, KcAl = 76
- PVC, Sección > 300 mm<sup>2</sup>. KcCu = 102, KcAl = 68
- XLPE. KcCu = 143, KcAl = 94
- EPR. KcCu = 143, KcAl = 94
- HEPR, Uo/U > 18/30. KcCu = 143, KcAl = 94
- HEPR, Uo/U  $\leq$  18/30. KcCu = 135, KcAl = 89
- Desnudos. KcCu = 164, KcAl = 107, KcAl-Ac = 135

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las distintas ramas y nudos:

Línea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Long. (m)	Metal/ Xu (m $\Omega$ /m)	Canal.	Designación	Polar.	I. Cálculo (A)	Sección (mm <sup>2</sup> )	D.tubo (mm)	I. Admisi. (A)/Fci
1	1	2	15	Al-Ac/0,33	Desnudos	LA-145 (119-AL1/28-ST1A)	Unip.	0	2(3x147,1)		746/1
2	2	3	33	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
3	3	4	43	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
4	4	5	44	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
5	5	6	46	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
6	6	7	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
7	7	8	30	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
8	8	9	44	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
9	9	10	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
10	10	11	30	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
11	11	12	33	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
12	12	13	27	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
13	13	14	38	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
14	14	15	27	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
15	15	16	51	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
16	16	17	49	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
17	17	18	32	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
18	18	19	32	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
19	19	20	49	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
20	20	21	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
21	21	22	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
22	22	23	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
23	23	24	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
24	24	25	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
25	25	26	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
26	26	27	50	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
27	27	28	45	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
28	28	29	4	Al/0,15	En.B.Tu.	HEPRZ1 12/20 H16	Unip.	0	3x240	200	345/1
29	29	30	14	Al-Ac/0,33	Desnudos	LA-56 (47-AL1/8-ST1A)	Unip.	0	3x54,6		199/1

Nudo	C.d.t. (V)	Tensión Nudo (V)	C.d.t. (%)	Carga Nudo
1	0	13.200	0*	0 A(0 kVA)
2	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
3	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
4	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
5	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
6	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
7	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
8	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
9	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
10	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
11	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
12	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
13	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
14	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
15	0	13.200	0	0 A(0 kVA)

Nudo	C.d.t. (V)	Tensión Nudo (V)	C.d.t. (%)	Carga Nudo
16	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
17	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
18	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
19	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
20	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
21	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
22	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
23	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
24	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
25	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
26	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
27	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
28	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
29	0	13.200	0	0 A(0 kVA)
30	0	13.200	0	0 A(0 kVA)

NOTA:

- \* Nudo de mayor c.d.t.

**A continuación se muestran las pérdidas de potencia activa en kW.**

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Pérdida Potencia Activa Rama. $3RI^2(kW)$
1	1	2	0
2	2	3	0
3	3	4	0
4	4	5	0
5	5	6	0
6	6	7	0
7	7	8	0
8	8	9	0
9	9	10	0
10	10	11	0
11	11	12	0
12	12	13	0
13	13	14	0
14	14	15	0
15	15	16	0
16	16	17	0
17	17	18	0
18	18	19	0
19	19	20	0
20	20	21	0
21	21	22	0
22	22	23	0
23	23	24	0
24	24	25	0
25	25	26	0
26	26	27	0
27	27	28	0
28	28	29	0
29	29	30	0

Pérdida Potencia Activa Total = 0 kW

Pérdida Potencia Activa Total Itinerarios.  $3RI^2(kW)$ :

1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30 = 0 kW

**Resultados obtenidos para las protecciones:**

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Un (kV)	U1 (kV)	U2 (kV)	Fusibles;In (Amp)	I.Aut;In/IReg (Amp)	I-Secc;In/Iter/I Fus (Amp)
1	1	2	17,5	95	38			200/10

In(A). Intensidad nominal del elemento de protección o corte.

Ireg(A). Intensidad de regulación del relé térmico del interruptor automático.

I<sub>ter</sub>(A). Intensidad nominal del relé térmico asociado al elemento de corte (seccionador interruptor).  
I<sub>Fus</sub>(A). Intensidad nominal de los fusibles asociados al elemento de corte (seccionador interruptor).

**Resultados obtenidos para las Autoválvulas-Pararrayos:**

Línea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	I <sub>n</sub> (kA)	U <sub>n</sub> (kV)	U <sub>1</sub> (kV)	U <sub>2</sub> (kV)
1	1	2	10	18	95	38

I<sub>n</sub>(kA). Intensidad nominal de la autoválvula-pararrayos.

U<sub>n</sub>(kV). Tensión más elevada de la red.

U<sub>1</sub>(kV). Tensión de ensayo al choque con onda de impulso de 1,2/50 microsegundos. kV Cresta.

U<sub>2</sub>(kV). Tensión de ensayo a frecuencia industrial 50 Hz, bajo lluvia durante un minuto. kV Eficaces.

**Caida de tensión total en los distintos itinerarios:**

1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30 = 0 %

**Según la configuración de la red, se obtienen los siguientes resultados del cálculo a cortocircuito:**

S<sub>cc</sub> = 350 MVA.

U = 13.2 kV.

t<sub>cc</sub> = 0,5 s.

I<sub>pccM</sub> = 15.308,53 A.

Línea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Sección (mm <sup>2</sup> )	I <sub>cccs</sub> (A)	Prot. térmica/I <sub>n</sub>	PdeC (kA)
1	1	2	2(3x147,1)	56.168,32	200	16
2	2	3	3x240	30.207,6		
3	3	4	3x240	30.207,6		
4	4	5	3x240	30.207,6		
5	5	6	3x240	30.207,6		
6	6	7	3x240	30.207,6		
7	7	8	3x240	30.207,6		
8	8	9	3x240	30.207,6		
9	9	10	3x240	30.207,6		
10	10	11	3x240	30.207,6		
11	11	12	3x240	30.207,6		
12	12	13	3x240	30.207,6		
13	13	14	3x240	30.207,6		
14	14	15	3x240	30.207,6		
15	15	16	3x240	30.207,6		
16	16	17	3x240	30.207,6		
17	17	18	3x240	30.207,6		
18	18	19	3x240	30.207,6		
19	19	20	3x240	30.207,6		
20	20	21	3x240	30.207,6		
21	21	22	3x240	30.207,6		
22	22	23	3x240	30.207,6		
23	23	24	3x240	30.207,6		
24	24	25	3x240	30.207,6		
25	25	26	3x240	30.207,6		
26	26	27	3x240	30.207,6		
27	27	28	3x240	30.207,6		
28	28	29	3x240	30.207,6		
29	29	30	3x54,6	10.424,17		

**Cálculo de Cortocircuito en Pantallas:**

Datos generales:

I<sub>pcc</sub> en la pantalla = 1.000 A.

Tiempo de duración c.c. en la pantalla = 1 s.

Resultados:

Sección pantalla = 16 mm<sup>2</sup>.

I<sub>cc</sub> admisible en pantalla = 3.130 A.

## 10. APÉNDICE 9.8.4: CÁLCULOS DEL TRANSFORMADOR

## Centro prefabricado 1

### ÍNDICE

1. INTENSIDAD EN ALTA TENSIÓN.
2. INTENSIDAD EN BAJA TENSIÓN.
3. CORTOCIRCUITOS.
  - 3.1. Observaciones.
  - 3.2. Cálculo de corrientes de cortocircuito.
  - 3.3. Cortocircuito en el lado de alta tensión.
  - 3.4. Cortocircuito en el lado de baja tensión.
4. DIMENSIONADO DEL EMBARRADO.
  - 4.1. Comprobación por densidad de corriente.
  - 4.2. Comprobación por sollicitación electrodinámica.
  - 4.3. Comprobación por sollicitación térmica a cortocircuito.
5. SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES DE ALTA Y BAJA TENSIÓN.
6. DIMENSIONADO DE LA VENTILACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.
7. DIMENSIONADO DEL POZO APAGAFUEGOS.
8. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.
  - 8.1. Investigación de las características del suelo.
  - 8.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente a la eliminación del defecto.
  - 8.3. Diseño de la instalación de tierra.
  - 8.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.
  - 8.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.
  - 8.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.
  - 8.7. Cálculo de las tensiones aplicadas.
  - 8.8. Investigación de las tensiones transferibles al exterior.
  - 8.9. Corrección del diseño inicial.

Se seguirá el índice general establecido:

### 1. INTENSIDAD EN ALTA TENSIÓN.

En un transformador trifásico la intensidad del circuito primario  $I_p$  viene dada por la expresión:

$$I_p = S / (1,732 \cdot U_p) ; \text{ siendo:}$$

S = Potencia del transformador en kVA.  
 $U_p$  = Tensión compuesta primaria en kV.  
 $I_p$  = Intensidad primaria en A.

Sustituyendo valores:

Transformador	Potencia (kVA)	$U_p$ (kV)	$I_p$ (A)
trafo 1	50	13.2	2.19

### 2. INTENSIDAD EN BAJA TENSIÓN.

En un transformador trifásico la intensidad del circuito secundario  $I_s$  viene dada por la expresión:

$$I_s = (S \cdot 1000) / (1,732 \cdot U_s) ; \text{ siendo:}$$

S = Potencia del transformador en kVA.  
 $U_s$  = Tensión compuesta secundaria en V.  
 $I_s$  = Intensidad secundaria en A.

Sustituyendo valores:

Transformador	Potencia (kVA)	$U_s$ (V)	$I_s$ (A)
trafo 1	50	400	72.17

### 3. CORTOCIRCUITOS.

#### 3.1. Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad primaria de cortocircuito se tendrá en cuenta una potencia de cortocircuito de 350 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Cía suministradora.

#### 3.2. Cálculo de corrientes de cortocircuito.

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las siguientes expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de Alta Tensión:

$$I_{ccp} = S_{cc} / (1,732 \cdot U_p) ; \text{ siendo:}$$

$S_{cc}$  = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.  
 $U_p$  = Tensión compuesta primaria en kV.  
 $I_{ccp}$  = Intensidad de cortocircuito primaria en kA.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de Baja Tensión (despreciando la impedancia de la red de Alta Tensión):

$$I_{ccs} = (100 \cdot S) / (1,732 \cdot U_{cc} (\%) \cdot U_s) ; \text{ siendo:}$$

S = Potencia del transformador en kVA.  
 $U_{cc} (\%)$  = Tensión de cortocircuito en % del transformador.  
 $U_s$  = Tensión compuesta en carga en el secundario en V.  
 $I_{ccs}$  = Intensidad de cortocircuito secundaria en kA.

#### 3.3. Cortocircuito en el lado de Alta Tensión.

Utilizando las expresiones del apartado 3.2.

$S_{cc}$	$U_p$	$I_{ccp}$
----------	-------	-----------

(MVA)	(kV)	(kA)
350	13.2	15.31

### 3.4. Cortocircuito en el lado de Baja Tensión.

Utilizando las expresiones del apartado 3.2.

Transformador	Potencia (kVA)	Us (V)	Ucc (%)	Iccs (kA)
trafo 1	50	400	4	1.8

## 4. DIMENSIONADO DEL EMBARRADO.

Las características del embarrado son:

Intensidad asignada : 400 A.

Límite térmico, 1 s. : 16 kA eficaces.

Límite electrodinámico : 40 kA cresta.

Por lo tanto dicho embarrado debe soportar la intensidad nominal sin superar la temperatura de régimen permanente (comprobación por densidad de corriente), así como los esfuerzos electrodinámicos y térmicos que se produzcan durante un cortocircuito.

### 4.1. Comprobación por densidad de corriente.

La comprobación por densidad de corriente tiene por objeto verificar que el conductor que constituye el embarrado es capaz de conducir la corriente nominal máxima sin sobrepasar la densidad de corriente máxima en régimen permanente. Dado que se utilizan celdas bajo envolvente metálica fabricadas por Orma-SF6 conforme a la normativa vigente, se garantiza lo indicado para la intensidad asignada de 400 A.

### 4.2. Comprobación por sollicitación electrodinámica.

La resistencia mecánica de los conductores deberá verificar, en caso de cortocircuito que:

$$\sigma_{\max} \geq (I_{ccp}^2 \cdot L^2) / (60 \cdot d \cdot W), \text{ siendo:}$$

$\sigma_{\max}$  = Valor de la carga de rotura de tracción del material de los conductores. Para cobre semiduro 2800 Kg / cm<sup>2</sup>.

$I_{ccp}$  = Intensidad permanente de cortocircuito trifásico, en kA.

L = Separación longitudinal entre apoyos, en cm.

d = Separación entre fases, en cm.

W = Módulo resistente de los conductores, en cm<sup>3</sup>.

Dado que se utilizan celdas bajo envolvente metálica fabricadas por Orma-SF6 conforme a la normativa vigente se garantiza el cumplimiento de la expresión anterior.

### 4.3. Comprobación por sollicitación térmica a cortocircuito.

La sobreintensidad máxima admisible en cortocircuito para el embarrado se determina:

$$I_{th} = \alpha \cdot S \cdot \sqrt{(\Delta T / t)}, \text{ siendo:}$$

$I_{th}$  = Intensidad eficaz, en A.

$\alpha$  = 13 para el Cu.

S = Sección del embarrado, en mm<sup>2</sup>.

$\Delta T$  = Elevación o incremento máximo de temperatura, 150°C para Cu.

t = Tiempo de duración del cortocircuito, en s.

Puesto que se utilizan celdas bajo envolvente metálica fabricadas por Orma-SF6 conforme a la normativa vigente, se garantiza que:

$$I_{th} \geq 16 \text{ kA durante 1 s.}$$

## 5. SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES DE ALTA Y BAJA TENSIÓN.

Los transformadores están protegidos tanto en AT como en BT. En Alta tensión la protección la efectúan las celdas asociadas a esos transformadores, y en baja tensión la protección se incorpora en los cuadros de BT.

### Protección trafo 1.

La protección del transformador en AT de este CT se realiza utilizando una celda de interruptor con fusibles combinados, siendo éstos los que efectúan la protección ante cortocircuitos. Estos fusibles son limitadores de corriente, produciéndose su fusión antes de que la corriente de cortocircuito haya alcanzado su valor máximo.

Los fusibles se seleccionan para:

- Permitir el paso de la punta de corriente producida en la conexión del transformador en vacío.
- Soportar la intensidad nominal en servicio continuo.

La intensidad nominal de los fusibles se escogerá por tanto en función de la potencia:

Potencia (kVA)	In fusibles (A)
50	6

Para la protección contra sobrecargas se instalará un relé electrónico con captadores de intensidad por fase, cuya señal alimentará a un disparador electromecánico liberando el dispositivo de retención del interruptor.

### Protección en Baja Tensión.

En el circuito de baja tensión de cada transformador según RU6302 se instalará un Cuadro de Distribución de 4 salidas con posibilidad de extensionamiento. Se instalarán fusibles en todas las salidas, con una intensidad nominal igual al valor de la intensidad exigida a esa salida, y un poder de corte mayor o igual a la corriente de cortocircuito en el lado de baja tensión, calculada en el apartado 3.4.

La descarga del trafo al cuadro de Baja Tensión se realizará con conductores XLPE 0,6/1kV 240 mm<sup>2</sup> Al unipolares instalados al aire cuya intensidad admisible a 40°C de temperatura ambiente es de 390 A.

Para el trafo 1, cuya potencia es de 50 kVA y cuya intensidad en Baja Tensión se ha calculado en el apartado 2, se emplearán 1 conductor por fase y 1 para el neutro.

## 6. DIMENSIONADO DE LA VENTILACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

Para el cálculo de la superficie mínima de las rejillas de entrada de aire en el edificio del centro de transformación, se utiliza la siguiente expresión:

$$S_r = (W_{cu} + W_{fe}) / (0,24 \cdot k \cdot \sqrt{(h \cdot \Delta T^3)}), \text{ siendo:}$$

$W_{cu}$  = Pérdidas en el cobre del transformador, en kW.

$W_{fe}$  = Pérdidas en el hierro del transformador, en kW.

$k$  = Coeficiente en función de la forma de las rejillas de entrada de aire, 0,5.

$h$  = Distancia vertical entre centros de las rejillas de entrada y salida, en m.

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre el aire de salida y el de entrada, 15°C.

$S_r$  = Superficie mínima de la rejilla de entrada de ventilación del transformador, en m<sup>2</sup>.

No obstante, puesto que se utilizan edificios prefabricados de Orma-mn éstos han sufrido ensayos de homologación en cuanto al dimensionado de la ventilación del centro de transformación.

## 7. DIMENSIONADO DEL POZO APAGAFUEGOS.

El pozo de recogida de aceite será capaz de alojar la totalidad del volumen que contiene el transformador, y así es dimensionado por el fabricante al tratarse de un edificio prefabricado.

## 8. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.

### 8.1. Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina una resistividad media superficial de 150 Ωxm.

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

En instalaciones de Alta Tensión de tercera categoría los parámetros de la red que intervienen en los cálculos de

faltas a tierras son:

#### Tipo de neutro.

El neutro de la red puede estar aislado, rígidamente unido a tierra, o a través de impedancia (resistencia o reactancia), lo cual producirá una limitación de las corrientes de falta a tierra.

#### Tipo de protecciones en el origen de la línea.

Cuando se produce un defecto, éste es eliminado mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un relé de intensidad, el cual puede actuar en un tiempo fijo (relé a tiempo independiente), o según una curva de tipo inverso (relé a tiempo dependiente).

Asimismo pueden existir reenganches posteriores al primer disparo que sólo influirán en los cálculos si se producen en un tiempo inferior a 0,5 s.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora, se tiene:

- Intensidad máxima de defecto a tierra (Inicial),  $I_{dm\acute{a}x}$  (A): 300.

- Duración de la falta.

Desconexión inicial:

Tiempo máximo de eliminación del defecto (s): 0.7.

### **8.3. Diseño de la instalación de tierra.**

Para los cálculos a realizar se emplearán los procedimientos del "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA.

#### TIERRA DE PROTECCIÓN.

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero pueden estarlo por defectos de aislamiento, averías o causas fortuitas, tales como chasis y bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

#### TIERRA DE SERVICIO.

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador y la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad de la celda de medida.

Para la puesta a tierra de servicio se utilizarán picas en hilera de diámetro 14 mm. y longitud 2 m., unidas mediante conductor desnudo de Cu de 50 mm<sup>2</sup> de sección. El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37  $\Omega$ .

La conexión desde el centro hasta la primera pica del electrodo se realizará con cable de Cu de 50 mm<sup>2</sup>, aislado de 0,6/1 kV bajo tubo plástico con grado de protección al impacto mecánico de 7 como mínimo.

### **8.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.**

Las características de la red de alimentación son:

- Tensión de servicio, U = 13200 V.
- Puesta a tierra del neutro:
  - Desconocida.
- Nivel de aislamiento de las instalaciones de Baja Tensión,  $U_{bt}$  = 10000 V.
- Características del terreno:
  - $\rho$  terreno ( $\Omega\text{m}$ ): 150.
  - $\rho_H$  hormigón ( $\Omega\text{m}$ ): 3000.

#### TIERRA DE PROTECCIÓN.

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas ( $R_t$ ), la intensidad y tensión de defecto ( $I_d$ ,  $U_E$ ), se utilizarán las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra,  $R_t$ :

$$R_t = K_r \cdot \rho \ (\Omega)$$

- Intensidad de defecto,  $I_d$ :

$$I_d = I_{d\text{máx}} \text{ (A)}$$

- Aumento del potencial de tierra,  $U_E$ :

$$U_E = R_t \cdot I_d \text{ (V)}$$

El electrodo adecuado para este caso tiene las siguientes propiedades:

- Configuración seleccionada: 50-35/5/42.
- Geometría: Anillo.
- Dimensiones (m): 5x3.5.
- Profundidad del electrodo (m): 0.5.
- Número de picas: 4.
- Longitud de las picas (m): 2.

Los parámetros característicos del electrodo son:

- De la resistencia,  $K_r (\Omega/\Omega\text{m}) = 0.089$ .
- De la tensión de paso,  $K_p (V/((\Omega\text{m})A)) = 0.0201$ .
- De la tensión de contacto exterior,  $K_c (V/((\Omega\text{m})A)) = 0.044$ .

Sustituyendo valores en las expresiones anteriores, se tiene:

$$R_t = K_r \cdot \rho = 0.089 \cdot 150 = 13.35 \Omega.$$

$$I_d = I_{d\text{máx}} = 300 \text{ A.}$$

$$U_E = R_t \cdot I_d = 13.35 \cdot 300 = 4005 \text{ V.}$$

#### TIERRA DE SERVICIO.

El electrodo adecuado para este caso tiene las siguientes propiedades:

- Configuración seleccionada: 5/32.
- Geometría: Picas en hilera.
- Profundidad del electrodo (m): 0.5.
- Número de picas: 3.
- Longitud de las picas (m): 2.
- Separación entre picas (m): 3.

Los parámetros característicos del electrodo son:

- De la resistencia,  $K_r (\Omega/\Omega\text{m}) = 0.135$ .

Sustituyendo valores:

$$R_{t\text{NEUTRO}} = K_r \cdot \rho = 0.135 \cdot 150 = 20.25 \Omega.$$

#### 8.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que estas serán prácticamente nulas. Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá dada por las características del electrodo y la resistividad del terreno según la expresión:

$$U_p = K_p \cdot \rho \cdot I_d = 0.0201 \cdot 150 \cdot 300 = 904.5 \text{ V.}$$

#### 8.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

En el piso del Centro de Transformación se instalará un mallazo electrosoldado, con redondos de diámetro no inferior a 4 mm. formando una retícula no superior a 0,30x0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos opuestos de la puesta a tierra de protección del Centro.

Dicho mallazo estará cubierto por una capa de hormigón de 10 cm. como mínimo.

Con esta medida se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, estará sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo de la tensión de contacto y de paso interior.

De esta forma no será necesario el cálculo de las tensiones de contacto y de paso en el interior, ya que su valor será prácticamente cero.

Asimismo la existencia de una superficie equipotencial conectada al electrodo de tierra, hace que la tensión de paso en el acceso sea equivalente al valor de la tensión de contacto exterior.

$$U_p(\text{acc}) = K_c \cdot \rho \cdot I_d = 0.044 \cdot 150 \cdot 300 = 1980 \text{ V.}$$

### 8.7. Cálculo de las tensiones aplicadas.

Para la obtención de los valores máximos admisibles de la tensión de paso exterior y en el acceso, se utilizan las siguientes expresiones:

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot (1 + (2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho_s \cdot C_s) / 1000) \text{ V.}$$

$$U_p(\text{acc}) = 10 \cdot U_{ca} \cdot (1 + (2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho_s \cdot C_s + 3 \cdot \rho_H \cdot C_H) / 1000) \text{ V.}$$

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot [(1 - \rho / \rho_s) / (2 \cdot h_s + 0,106)].$$

$$C_H = 1 - 0,106 \cdot [(1 - \rho / \rho_H) / (2 \cdot h_H + 0,106)].$$

$$t = t' + t'' \text{ s.}$$

Siendo:

$U_p$  = Tensión de paso admisible en el exterior, en voltios.

$U_p(\text{acc})$  = Tensión en el acceso admisible, en voltios.

$U_{ca}$  = Tensión de contacto aplicada admisible según ITC-RAT 13 (Tabla 1), en voltios.

$R_{ac}$  = Resistencias adicionales, como calzado, aislamiento de la torre, etc, en  $\Omega$ .

$C_s$  = Coeficiente reductor de la resistencia superficial del suelo.

$C_H$  = Coeficiente reductor de la resistencia del hormigón.

$h_s$  = Espesor de la capa superficial del terreno, en m.

$h_H$  = Espesor de la capa de hormigón, en m.

$\rho$  = Resistividad natural del terreno, en  $\Omega\text{m}$ .

$\rho_s$  = Resistividad superficial del suelo, en  $\Omega\text{m}$ .

$\rho_H$  = Resistividad del hormigón, 3000  $\Omega\text{m}$ .

$t$  = Tiempo de duración de la falta, en segundos.

$t'$  = Tiempo de desconexión inicial, en segundos.

$t''$  = Tiempo de la segunda desconexión, en segundos.

Según el punto 8.2. el tiempo de duración de la falta es:

$$t' = 0.7 \text{ s.}$$

$$t = t' = 0.7 \text{ s.}$$

Sustituyendo valores:

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot (1 + (2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho_s \cdot C_s) / 1000) = 10 \cdot 165.2 \cdot (1 + (2 \cdot 2000 + 6 \cdot 150 \cdot 1) / 1000) = 9746.8 \text{ V.}$$

$$U_p(\text{acc}) = 10 \cdot U_{ca} \cdot (1 + (2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho_s \cdot C_s + 3 \cdot \rho_H \cdot C_H) / 1000) = 10 \cdot 165.2 \cdot (1 + (2 \cdot 2000 + 3 \cdot 150 \cdot 1 + 3 \cdot 3000 \cdot 0.67) / 1000) = 18978.56 \text{ V.}$$

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot [(1 - \rho / \rho_s) / (2 \cdot h_s + 0,106)] = 1 - 0,106 \cdot [(1 - 150 / 150) / (2 \cdot 0.1 + 0,106)] = 1$$

$$C_H = 1 - 0,106 \cdot [(1 - \rho / \rho_H) / (2 \cdot h_H + 0,106)] = 1 - 0,106 \cdot [(1 - 150 / 3000) / (2 \cdot 0.1 + 0,106)] = 0.67$$

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso.

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$U_p = 904.5 \text{ V.}$	$\leq$	$U_p = 9746.8 \text{ V.}$
Tensión de paso en el acceso	$U_p (\text{acc}) = 1980 \text{ V.}$	$\leq$	$U_p (\text{acc}) = 18978.56 \text{ V.}$

Tensión e intensidad de defecto.

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Aumento del potencial de tierra	$U_E = 4005 \text{ V.}$	$\leq$	$U_{bt} = 10000 \text{ V.}$
Intensidad de defecto	$I_d = 300 \text{ A.}$	$>$	

**8.8. Investigación de las tensiones transferibles al exterior.**

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio para su reducción o eliminación.

No obstante, para garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima (Dn-p), entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio.

$$D_{n-p} \geq (\rho \cdot I_d) / (2000 \cdot \pi) = (150 \cdot 300) / (2000 \cdot \pi) = 7.16 \text{ m.}$$

Siendo:

$\rho$  = Resistividad del terreno en  $\Omega\text{m}$ .

$I_d$  = Intensidad de defecto en A.

La conexión desde el centro hasta la primera pica del electrodo de servicio se realizará con cable de Cu de 50 mm<sup>2</sup>, aislado de 0,6/1 kV bajo tubo plástico con grado de protección al impacto mecánico de 7 como mínimo.

**8.9. Corrección del diseño inicial.**

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado según se pone de manifiesto en las tablas del punto 8.7.