

CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

MEMORIA

1.- Objeto del anejo

El presente anejo tiene por objeto describir y especificar las características técnicas, de seguridad y las condiciones legales del Centro de Transformación a instalar en la urbanización PAI Vall d'Alba en Benlloch (Castellón).

1.1.- Reglamentación y disposiciones oficiales

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación e instrucciones complementarias.
- Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones técnicas complementarias.
- Reglamento de verificaciones eléctricas y regularidad en el suministro de energía eléctrica.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.
- Normas Particulares de la compañía suministradora, aprobadas por el Ministerio de Industria.

2.- Situación actual

Actualmente la Unidad de ejecución UE-2 del Vall d'Alba en Benlloch, está cruzada por un doble circuito aéreo de media tensión, correspondiente a las líneas aéreas STR Adzaneta L/La Barona 410401 y STR Torreblanca L/Cabanes 404310.

Este doble circuito se va a desviar a su paso por la unidad de actuación UE-2 del Plan General de Ordenación Urbana del ayuntamiento de Benlloch, con el fin de eliminar afecciones y urbanizar dicha unidad de ejecución.

Este proyecto ya ha sido realizado y se corresponde con el proyecto Nº CS-218/07 legalizado por la compañía distribuidora, por lo que para el proyecto de urbanización que nos ocupa, se ha considerado como situación de partida para la urbanización, las líneas desviadas y enterradas.

3.- Descripción de las obras proyectadas

Con objeto de disponer de suministro baja tensión para las diferentes parcelas, se instalará un centro de transformación, de acuerdo con las condiciones técnicas y de ejecución que se detallan a continuación.

La alimentación se realizará desde el entronque subterráneo con la LSMT de Cabanes de la subestación de Torreblanca, realizando una entrada y salida para el centro de transformación en proyecto.

El Centro de transformación estará integrados en la red de distribución en M.T. de la compañía distribuidora.

Cabe señalar que la solución definitiva vendrá dada por la parcelación última de las manzanas, así como por el informe último de la compañía suministradora.

4.- Descripción de los Centros

4.1.- Emplazamiento

Los terrenos están ubicados en el término municipal de Benloch (Castellón).

4.2.- Cálculo de cargas

La unidad de ejecución UE-2 se encuentra situada a las afueras de Benloch y el uso principal del suelo es uso RESIDENCIAL.

Para el cálculo de cargas se han considerado los siguientes criterios:

- Nuevas parcelas para uso residencial: 9,2 kW
- Parcelas existentes de uso residencial: 9,2 kW
- Bombeos existentes: 5 kW
- Edificios de carácter educativo y cultural: 50 kW

Las características de los centros a instalar se muestran en la siguiente tabla:

DESCRIPCIÓN	CANT	Potencia instalada (kW)	Potencia instalada (kW)	Factor simultaneidad	Potencia simultánea (kW)
Parcelas nuevas	44	9,2	404,8	0,5	202,4
Parcelas existentes UE-2	17	9,2	156,4	0,5	78,2
Parcelas existentes UE-5	6	9,2	55,2	0,5	27,6
Bombeos	6	5	30	0,5	15
Edificios carácter educativo	2	50	100	1	100
Alumbrado	1	10,1	10,1	1	10,1

Con estos cálculos resulta:

Total Potencia instalada (kW): 756,5
 Total Potencia simultánea (kW): 453,9

En potencia aparente resulta:

Total Potencia instalada (KVA): 840,5
 Total Potencia simultánea (KVA): 504,3

Finalmente se instalarán 1 centro de 2x630 KVA.

La ubicación del centro se detalla en los planos adjuntos.

5.- Características generales del Centro

5.1.- Centro de compañía con dos transformadores

El edificio que albergará cada centro será un prefabricado de hormigón, de dimensiones exteriores 6080 mm x 2380 mm modelo PFU-5 de Ormazabal, en el que se alojarán los equipos eléctricos necesarios.

Cada Centro estará formado por 2 ó 3 celdas de línea tipo CML(en función de las líneas que lleguen al centro) y 2 celdas de protección tipo CMP-F de la marca Ormazabal, ambas de la serie GGM

Cada centro estará equipado con dos máquinas de 630 kVA. En el secundario de cada transformador se dispondrá de un cuadro de Baja Tensión para dar salida a las líneas de Baja Tensión.

6.- Obra civil

6.1.- Obra civil de los centros de transformación

6.1.1.- Aspectos constructivos (según R.U. 1303-A)

Edificio prefabricado tipo aislado de superficie, de hormigón armado y vibrado, de ORMAZABAL diseñado para alojar aparata de media tensión de 24 kV., baja tensión, transformadores y elementos auxiliares de un Centro de Transformación. Posibilidad de recuperación en caso de necesitar un cambio de asentamiento.

Está formado por cuatro paramentos verticales y una solera, construidos en una sola pieza y un techo. La armadura metálica de la caseta, está formada por varillas metálicas electrosoldadas y unidas entre sí, formando un conjunto equipotencial.

Los Centros de Transformación objeto de este proyecto consta únicamente de una envolvente, en la que se encuentra toda la aparata eléctrica y demás equipos eléctricos.

Para el diseño de estos Centros de Transformación se han observado todas las normativas antes indicadas, teniendo en cuenta las distancias necesarias para pasillos, accesos, etc.

6.1.2.- Edificio de transformación: PFU

Los edificios prefabricados de hormigón PFU están formados por las siguientes piezas principales: una que aglutina la base y las paredes, otra que forma la solera, y una tercera que forma el techo. Adicionalmente, se incorporan otras pequeñas piezas para constituir un Centro de Transformación de superficie y maniobra interior (tipo caseta), estando la estanqueidad garantizada por el empleo de juntas de goma esponjosa entre ambas piezas principales exteriores.

Estas piezas son construidas en hormigón, con una resistencia característica de 300 kg/cm², y tienen una armadura metálica, estando unidas entre sí mediante latiguillos de cobre, y a un colector de tierras, formando de esta manera 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.

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

Estos edificios prefabricados han sido acreditados con el certificado de Calidad Unesa de acuerdo a la Recomendación Unesa 1303A.

6.1.3.- Cimentación

Para la ubicación de los Centros de Transformación PFU es necesaria una excavación, cuyas dimensiones dependen del modelo seleccionado, sobre cuyo fondo se extiende una capa de arena compactada y nivelada de unos 10 cm. de espesor.

6.1.4.- Solera, pavimento y cerramientos exteriores

Todos estos elementos están fabricados en una sola pieza de hormigón, tal y como se ha indicado anteriormente. Sobre la placa base, y a una altura de unos 400 mm, se sitúa la solera, que se apoya en algunos apoyos sobre la placa base, y en el 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.

En el hueco para transformador, se dispone de dos perfiles en forma de "U", que se pueden deslizar en función de la distancia entre las ruedas del transformador.

En la parte inferior de las paredes frontal y posterior se sitúan los agujeros para los cables de MT y BT. Estos agujeros están semiperforados, realizándose en obra la apertura de los que sean necesarios para cada aplicación. De igual forma, dispone de unos agujeros semiperforados practicables para las salidas a las tierras exteriores.

En la pared frontal se sitúan las puertas de acceso de peatones, puertas de transformador y rejillas de ventilación. Todos estos materiales están fabricados en chapa de acero.

Las puertas de acceso de peatones tienen unas dimensiones de 900 x 2100 mm, mientras que las de los transformadores tienen unas dimensiones de 1250 x 2100 mm (1250 x 2400 mm en el caso de Centros de 36 kV). Ambos tipos de puertas pueden abrirse 180°.

Las puertas de acceso de peatón disponen de un sistema de cierre con objeto de garantizar la seguridad de funcionamiento: evitar aperturas intempestivas de las mismas y la violación del Centro de Transformación. Para ello se utiliza una cerradura de diseño ORMAZABAL, y las puertas tienen dos puntos de anclaje: en la parte superior y en la parte inferior.

Las rejillas de ventilación de cada transformador se sitúan en la parte inferior de la puerta de acceso al mismo, y en la parte superior tras el transformador. Estas rejillas tienen un área de 1200 x 677 mm². Para los transformadores de potencia superior a los 630 kVA, se añaden en la pared lateral junto al transformador 4 rejillas de 800 x 677 mm² cada una. Todas estas rejillas 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 cada rejilla con una rejilla mosquitera.

6.1.5.- Cubiertas

Las cubiertas están formadas por piezas de hormigón, con inserciones en la parte superior para su manipulación.

6.1.6.- Pinturas

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

6.1.7.- Varios

Los índices de protección presentados por estos edificios son:

Centro:	IP 23
Rejillas:	IP 33

Las sobrecargas admisibles en los PFU son:

Sobrecarga de nieve:	250 kg/m ²
Sobrecarga del viento:	100 kg/m ² (144 km/h)
Sobrecarga en el piso:	400 kg/m ²

Las temperaturas de funcionamiento, hasta una humedad del 100% son:

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

6.1.8.- Características detalladas

- **Centro de compañía con dos transformadores**

Nº de transformadores:	2 trafos a dcha. e izda
Puertas de acceso peatón:	1 puerta
Tensión nominal:	24 kV

Dimensiones exteriores

Longitud:	6080 mm
Fondo:	2380 mm
Altura:	3045 mm
Altura vista:	2585 mm
Peso:	17000 Kg.

Dimensiones interiores

Longitud:	5900 mm
Fondo:	2200 mm
Altura:	2355 mm

Dimensiones de la excavación

Longitud:	6880 mm
Fondo:	3180 mm
Profundidad:	560 mm

7.- Instalaciones Eléctricas

7.1.- Instalaciones eléctricas del centro de compañía

7.1.1.- Aparata de alta tensión

- **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 20 kV, nivel de aislamiento según lista 2 (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 10.1 kA eficaces.

- **Características de la aparata de alta tensión**

El material vario del 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 aparata.

Interconexiones de Alta Tensión:

Puentes A.T. trafo:

Cables AT 12/20 kV del tipo DHZ-1, unipolares, con conductores de sección y material 1x50 Al, y terminaciones ELASTIMOLD de 24 kV del tipo enchufable y modelo K-158-LR.

En los centros con dos transformadores se instalarán dos puentes de A.T. según se han descrito.

- Interconexiones de Baja Tensión:

Puentes B.T. 420V - trafo 630 kVA

Juego de puentes de cables de Baja Tensión, 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 3xfase+2xneutro.

En los centros con dos transformadores se instalarán dos puentes de B.T. según se han descrito.

- Defensas de transformadores.

Defensa trafo:

Rejilla metálica para defensa de transformador.

En los centros con dos transformadores se instalarán dos rejillas metálicas.

- Equipos de iluminación.

Ilum. Centro Transformación

Equipo de alumbrado que permita la suficiente visibilidad para ejecutar las maniobras y revisiones necesarias en las celdas de A.T.

7.1.2.- Transformador

El transformador será del tipo trifásico reductor de tensión, según las normas citadas en el apartado 1.1, con neutro accesible en el secundario, de potencia 630 kVA. y refrigeración natural Aceite, de tensión primaria 20 kV y tensión secundaria 400 V.

Otras características constructivas:

Regulación en el primario:	± 10%
Tensión de cortocircuito (Ecc):	4%
Grupo de conexión:	Dyn11
Protección incorporada al trafo:	Termómetro

7.1.3.- Cuadros de baja tensión

- **Características descriptivas de los cuadros de baja tensión**

La estructura del cuadro de BT de ORMAZABAL está compuesta por un bastidor de chapa blanca, en el que se distinguen las siguientes zonas:

Zona de acometida, medida y de equipos auxiliares

En la parte superior del módulo AC-4 existe un compartimiento para la acometida al mismo, que se realiza a través de un pasamuros tetrapolar, evitando la penetración de agua al interior. Dentro de este compartimiento, existen cuatro pletinas deslizantes que hacen la función de seccionador.

El acceso a este compartimiento es por medio de una puerta abisagrada en dos puntos. Sobre ella se montan los elementos normalizados por la compañía suministradora.

Zona de salidas

Está formada por un compartimiento que aloja exclusivamente el embarrado y los elementos de protección de cada circuito de salida, que son 4. Esta protección se encomienda a fusibles de la intensidad máxima más adelante citada, dispuestos en bases trifásicas pero maniobradas fase a fase, pudiéndose realizar las maniobras de apertura y cierre en carga.

Características constructivas

Anchura:	580 mm
Altura:	1690 mm
Fondo:	290 mm

Características eléctricas

Tensión nominal:	440 V
Int. nominal embarrados:	1600 A
Aisl. a frec. ind. (1 min)	
entre fases y a tierra:	8 kV
entre fases:	2,5 kV
Aisl. a onda de choque	
entre fases y a tierra:	20 Kv

Dado que en varios de los centros son necesarias más de 4 salidas, se incluye también un cuadro AM-4 de ampliación, con las mismas características eléctricas que el módulo AC-4, y misma anchura y fondo que ese cuadro, pero una altura de sólo 1190 mm, ya que no incluye el compartimiento superior.

Otras características

Int. nom. salidas: 400 A

7.1.4.- Descripción de las celdas

- **Celdas de línea**

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo de Vn=24 kV e In=400 A y 370 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 140 kg de peso.

La celda CML de interruptor-seccionador, o celda de línea, está constituida por un módulo metálico, con aislamiento y corte en SF6, 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.

Otras características constructivas:

Capacidad de ruptura:	400 A
Intensidad de cortocircuito:	16 kA / 40 kA
Capacidad de cierre:	40 kA
Mando interruptor:	manual tipo B
Cajón de control:	no

- **Celdas de protección**

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo de Vn=24 kV e In=400 A (200 A en la salida inferior) y 480 mm de ancho por 850 mm de fondo por 1800 mm de alto y 215 kg de peso.

La celda CMP-F de protección con fusibles, está constituida por un módulo metálico, con aislamiento y corte en SF6, 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, y en serie con el, un conjunto de fusibles fríos, combinados o asociados a ese interruptor. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida.

Otras características constructivas:

Capacidad de ruptura:	400 A
Intensidad de cortocircuito:	16 kA / 40 kA
Capacidad de cierre:	40 kA
Fusibles:	3x40 A (630 KVA)
Relé de protección:	no
Mando interruptor:	manual tipo BR

8.- Puesta a Tierra

8.1.- Puesta a tierra del centro de transformación

8.1.1.- 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 Baja Tensión, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc., así como la armadura del edificio (si este es prefabricado). No se unirán, por contra, las rejillas y puertas metálicas del Centro, si son accesibles desde el exterior.

8.1.2.- Tierra de servicio

Con objeto de evitar tensiones peligrosas en Baja Tensión, debido a faltas en la red de Alta Tensión, el neutro del sistema de Baja Tensión se conecta a una toma de tierra independiente del sistema de Alta Tensión, de tal forma que no exista influencia en la red general de tierra, para lo cual se emplea un cable de cobre aislado (0,6/1 kV).

8.2.- Varios. Centros de transformación

8.2.1.- Alumbrado

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

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

8.2.2.- Protección Contra Incendios

Para la determinación de las protecciones contra incendios a que puedan dar lugar las instalaciones eléctricas de alta tensión, además de otras disposiciones específicas en vigor, tal y como se indica en el MIE-RAT 14, se tendrá en cuenta:

1. La posibilidad de propagación del incendio a otras partes de la instalación.
2. La posibilidad de propagación del incendio al exterior de la instalación, por lo que respecta a daños a terceros.
3. La presencia o ausencia de personal de servicio permanente en la instalación.
4. La naturaleza y resistencia al fuego de la estructura soporte del edificio y de sus cubiertas.
5. La disponibilidad de medios públicos de lucha contra incendios.

Con carácter general, se aplicará lo indicado por las Normas Básicas de la Edificación, Condiciones de Protección contra el Incendio en los Edificios (NBE-CPI), en lo que respecta a las características de los materiales de construcción, resistencia al fuego de las estructuras, compartimentación, evacuación, y en particular, sobre aquellos aspectos que no hayan sido recogidos en este Reglamento y afecten a la edificación.

Tal y como indica la MIE-RAT 14, se colocará un extintor (como mínimo) de eficacia 89B. Este extintor deberá colocarse siempre que sea posible en el exterior de la instalación para facilitar su accesibilidad y, en cualquier caso, a una distancia no superior a 15 m de la misma.

Si existe personal itinerante de mantenimiento con la misión de vigilancia y control de varias instalaciones que no dispongan de personal fijo, este personal deberá llevar, como

mínimo, dos extintores de eficacia 89B, no siendo preciso en este caso la existencia de extintores en los recintos que estén bajo su vigilancia y control.

8.2.3.- Ventilación

En las paredes frontal y posterior se sitúan las puertas de acceso de peatones, puertas de transformador y rejillas de ventilación. Todos estos materiales están fabricados en chapa de acero.

Las puertas de acceso de peatones tienen unas dimensiones de 900 x 2100 mm (900 x 2400 mm en el caso de Centros de 36 kV), mientras que las de los transformadores tienen unas dimensiones de 1250 x 2100 mm (1250 x 2400 mm en el caso de Centros de 36 kV). Ambos tipos de puertas pueden abrirse 180°.

Las puertas de acceso de peatón disponen de un sistema de cierre con objeto de garantizar la seguridad de funcionamiento: evitar aperturas intempestivas de las mismas y la violación del Centro de Transformación. Para ello se utiliza una cerradura de diseño ORMAZABAL, y las puertas tienen dos puntos de anclaje: en la parte superior y en la parte inferior.

Las rejillas de ventilación de cada transformador se sitúan en la parte inferior de la puerta de acceso al mismo, y en la parte superior tras el transformador. Estas rejillas tienen un área de 1200 x 677 mm. Para los transformadores de potencia superior a los 630 kVA, se añaden en la pared lateral junto al transformador 4 rejillas de 800 x 677 mm. cada una. Estas rejillas están formadas por lamina 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 cada rejilla con una rejilla mosquitera.

8.2.4.- Medidas de seguridad y enclavamientos

Los enclavamientos incluidos en todas las celdas CGM pretenden 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.

CÁLCULOS CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

1.- Intensidad de alta tensión

En un sistema trifásico la intensidad primaria viene determinada por la expresión:

$$I_p = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot V_p}$$

Siendo:

W= Potencia en KVA

V_p= Tensión primaria en Kilovoltios

I_p= Intensidad primaria en Amperios

Sustituyendo valores, se tiene:

$$I_{p1} = \frac{630}{1,73 \cdot 20} = 18,21A$$

2.- Intensidad en baja tensión

En un sistema trifásico la intensidad secundaria viene determinada por la expresión:

$$I_s = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot V_s}$$

Siendo:

W Potencia en KVA

V_s Tensión secundaria en KV

I_s Intensidad secundaria en Amperios

Sustituyendo valores, tendremos:

$$I_{s1} = \frac{630}{1,73 \cdot 0,40} = 910,4A$$

3.- Cortocircuitos

3.1.- Observaciones

Para los cálculos de las intensidades de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 350 MVA, dato proporcionado por la empresa suministradora.

3.2.- Cálculo de las corrientes de cortocircuito

Para la realización del cálculo de la corriente de cortocircuito, se emplearán las expresiones:

$$I_{CCP} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \cdot V_p}$$

Siendo:

MVA Potencia de cortocircuito de la red
 Vp Tensión primaria en Kilovoltios
 Iccp Intensidad de cortocircuito primaria

$$I_{CCS} = \frac{W}{\sqrt{3} \cdot V_{CC} \cdot V_s}$$

Siendo:

W Potencia del trafo en KVA
 Vcc Tensión porcentual de cortocircuito del transformador
 Vs Tensión secundaria en voltios
 Iccs Intensidad de cortocircuito secundaria en KA

3.3.- Cortocircuitos en el lado de alta tensión

Utilizaremos la fórmula expuesta anteriormente y sustituyendo valores tendremos:

$$I_{CCP} = \frac{350}{\sqrt{3} \cdot 20} = 10.1 \text{ kA}$$

3.4.- Cortocircuito en el lado de baja tensión

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente y sustituyendo valores tendremos:

$$I_{ccs} (630 \text{ KVA}) = \frac{630}{1,73 \cdot 0,04 \cdot 400} = 27,76 \text{ kA}$$

4.- Dimensionado del embarrado

Esta formado por barras de cobre aislado, modular y extensible a voluntad, con un calibre para 400 A.

El embarrado es adecuado para un límite térmico de 16 KA efectivos durante 1 segundo, y un límite electrodinámico de 40 KA de cresta.

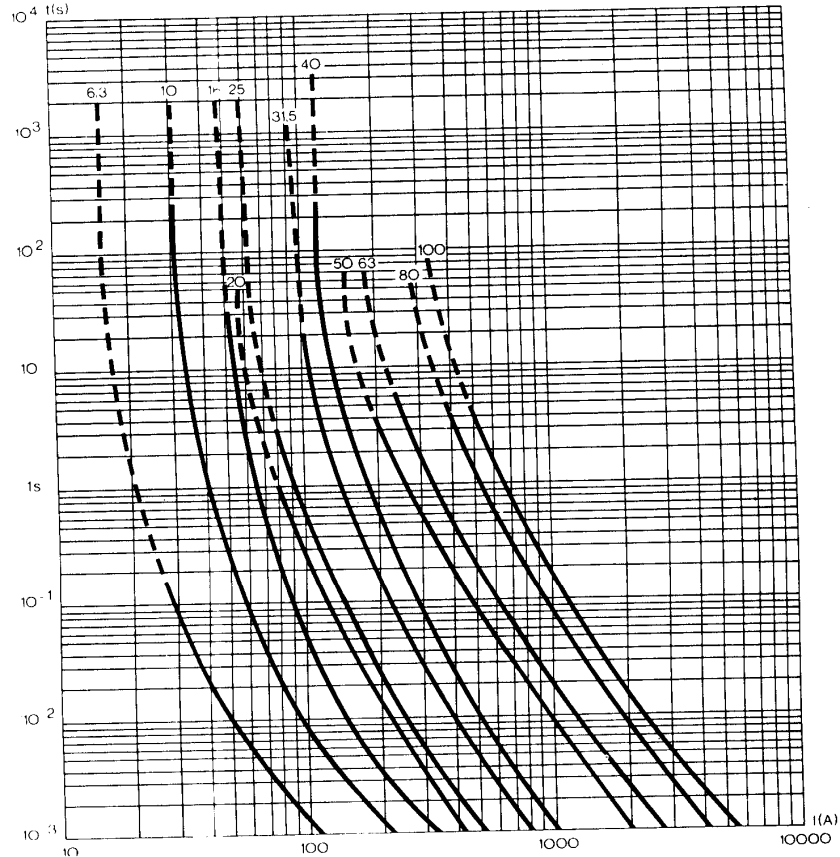
5.- Selección de fusibles de alta y baja tensión. Protección contra sobrecargas.

Los cortocircuitos fusibles son los limitadores de corriente, produciéndose su fusión, para una intensidad determinada, antes que la corriente haya alcanzado su valor máximo. De todas formas, esta protección debe permitir el paso de la punta de corriente producida en la conexión del transformador, soportar la intensidad en servicio continuo y sobrecargas eventuales y cortar las intensidades de defectos en los bornes del secundario del transformador.

Como regla práctica, simple y comprobada, que tiene en cuenta estos requisitos y evita envejecimiento del fusible, consiste en verificar que el fusible sea capaz de no fundirse ante dos situaciones, que simulan la punta de arranque del transformador:

Para $I = 14 I_{n\text{trafo}}$ $t_{1\text{fusión}} > 100 \text{ ms}$
 Para $I = 25 I_{n\text{trafo}}$ $t_{2\text{fusión}} > 10 \text{ ms}$

Para ello se seleccionará el fusible de acuerdo con las siguientes curvas.



Para el trafo de 630 KVA tomamos un fusible de 40 A y resultan los siguientes valores:

$t_{1\text{fusión}}$ 200 ms
 $t_{2\text{fusión}}$ 15 ms

En baja tensión se instalarán los fusibles que correspondan en función de la sección de cada una de las líneas de salida.

La protección contra sobrecargas del transformador se garantizará mediante la instalación de un termómetro en la cuba del transformador, con contactos que permitan disparar la protección del transformador cuando se supere una temperatura predeterminada.

6.- Dimensionado de la ventilación del centro de transformación

Se realizará el cálculo para uno de los dos transformadores de 630 KVA por resultar equivalente para la ventilación.

Datos de partida

El calor emitido por el transformador corresponde a las pérdidas por efecto Joule que este tiene. Hay que considerar dos tipos de pérdidas, a saber, pérdidas en vacío y pérdidas en carga (o pérdidas calculadas en el ensayo de cortocircuito).

Potencia del transformador	:	630
Pérdidas en vacío	:	1,26
Pérdidas en carga	:	6,93
Pérdidas del trafo	$P = P_v + P_c =$	8,19

Condiciones de entrada del aire exterior:

$T_{ext} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

$H = 80 \text{ \%}$ (humedad relativa)

Condiciones interiores del Centro:

$T_{int} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

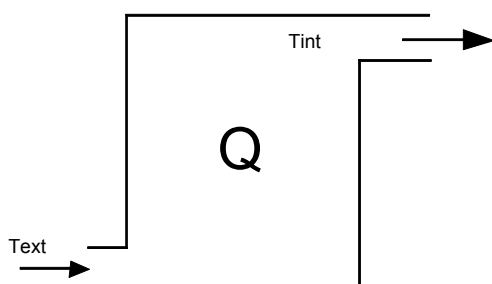
La humedad relativa, se obtiene del diagrama psicrométrico, teniendo presente que el aire sufre un proceso en el cual no se ve alterada su humedad específica. Por tanto la humedad relativa en el interior será:

$H_{int} = 35 \text{ \%}$

Determinación del Caudal de aire necesario para la ventilación.

Aplicando el primer principio de la Termodinámica a los sistemas abiertos, y admitiendo que las pérdidas de calor a través de las paredes del Centro son despreciables, se tiene que verificar la expresión:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial m}{\partial t} (H_{int} - H_{ext})$$



O dicho en otras palabras la potencia emitida en pérdidas por el transformador, es igual a la variación de entalpía sufrida por el aire entre las condiciones de entrada y salida.

$$P = \dot{m} (\Delta H)$$

La entalpía específica del aire interior y exterior se determina a partir del diagrama psicrométrico.

$H_{ext} = 20 \text{ kcal/kg}$

$H_{int} = 23.8 \text{ kcal/kg}$

$$\Delta h = 3.8 \text{ kcal/kg} = 15.8 \text{ kJ/kg}$$

Por tanto el caudal másico necesario será:

$$m' = \frac{P}{\Delta H} = \frac{8,19}{15,8} = 0,518 \text{ kg/s}$$

Con objeto de determinar el volumen de aire circulante, es imprescindible conocer la densidad del aire en cada uno de los estados. El volumen específico se puede determinar a partir del diagrama psicrométrico y por tanto la densidad:

$$d_{ext} = 1.15 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{int} = 1.102 \text{ kg/m}^3$$

Determinación de la velocidad de salida del fluido.

El aire exterior que entra en contacto con el transformador, cambia su temperatura por convección, con las alas del transformador. Este aire posee una temperatura y densidad diferentes, que le hacen más ligero. Por tanto está sometido a una diferencia de presiones, que hace que sobre él aparezca un empuje vertical, igual al peso del aire desalojado (aire frío) menos su peso propio.

Por tanto:

$$F = (d_{ext} - d_{int}) \times 9.81 \times 1 \text{ m}^3 = 0.45 \text{ N}$$

Esta fuerza implica una aceleración uniforme dada por:

$$a = F/m = 0.48 / (1 \text{ m}^3 \times d_{int}) = 0.45 \text{ m/s}^2$$

Dado un movimiento uniformemente acelerado, de aceleración a , la velocidad tras recorrer una distancia H , será:

$$v = (2 \times a \times H)^{1/2}$$

Debido a las pérdidas de carga que sufre el aire, la aceleración queda disminuida.

Esta pérdida de aceleración se da como coeficiente R de aceleración, de tal modo que:

$$v = (2 \times a/R)^{1/2} \times (H)^{1/2}$$

$$\text{Siendo } R = R_1 + m^2 \times R_2$$

R_1 significa coeficiente de aceleración y resistencia en el canal de entrada y R_2 coeficientes de aceleración y resistencia en el canal de salida, m relación entre la sección A_1 del canal de entrada y A_2 del canal de salida.

La resistencia total está formada por varios componentes. Deben tomarse los siguientes valores para los coeficientes de aceleración o resistencia individuales.

Aceleración	1
Codo de 90 °	1.5
Codo redondeado	1
Codo de 135 °	0.6
Cambio gradual de dir.	0.. 0.6
Rejilla de alambres	0.5 .. 1
Aumento de sección	0.25 .. 0.9

En nuestro caso se tendrá:

entrada de aire:aceleración	1
rejilla	1.5
salida de aire : aceleración	1
rejilla	1.5

Admitiendo que el canal de salida es igual al de entrada (m=1)

$$R = 5$$

En nuestro caso R = 5 y H = 2.5

$$v = 0.43 \times \text{RAIZ}(H) = 0,68 \text{ m/s}$$

Determinación de la sección de las rejillas de salida.

$$A(m^2) = \frac{\text{Caudal}}{V} = \frac{0,470054}{0,68} = 0,69125588m^2$$

Sección que se obtiene tanto a la entrada como a la salida, mediante las rejillas dispuesta en la puerta del C.T.

7.- Dimensiones del pozo apagafuegos

El pozo apagafuegos debe de ser adecuado para poder dar cabida al aceite del transformador.

En este caso el volumen de aceite máximo vertido por el transformador es de 397 litros, y por tanto este será el volumen mínimo del pozo apagafuegos para cada transformador.

8.- Calculo de las instalaciones de puesta a tierra

8.1.- Investigación de las características del suelo

Por las características del terreno se adopta una resistividad de 50 ohmios metro.

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

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora, corresponde una intensidad máxima de defecto de 500 A, siendo el tiempo máximo de eliminación del defecto de 0.7 segundos, a los que corresponden valores de k = 72 y n= 1 según MIE RAT.

La tensión máxima de contacto admisible por el cuerpo humano valdrá:

$$\begin{aligned} \text{en la tierra de protección } V_{ca} &= K/t_n = 72 / 0,7=102 \text{ V} \\ \text{en la tierra de servicio } V_{ca} &= 50 \text{ V} \end{aligned}$$

8.3.- Diseño preliminar de la instalación de tierra

Sistema de protección:

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

Esta tierra está construida con 5 picas de acero-cobre de 2 m. de longitud, 14.6 mm de diámetro, hincadas verticalmente, auxiliadas por un flagelo de cobre de 50 mm², unido el conjunto a la masa del centro por conductor de cobre de 50 mm² de sección, aislamiento 0.6/1KV. Todo el sistema estará profundizado 1 metro.

Sistema de servicio:

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador.
El sistema de tierras será idéntico al anterior.
Ambos sistemas estarán separados un mínimo de 15 metros.

8.4.- Cálculo de la resistencia del sistema de tierras

Para los cálculos utilizaremos las siguientes expresiones:

$$R_p = \frac{\rho}{n \cdot L_p}$$

$$R_f = \frac{2 \cdot \rho}{L_f}$$

Siendo:

- ρ Resistividad del terreno en ohmios metro
- n número de picas
- L_p Longitud unitaria de pica
- L_f Longitud de flagelo
- R_p Resistencia del sistema de picas
- R_f Resistencia del sistema de flagelos.

Con el sistema elegido, utilizaremos 5 picas de 2 m. y 12 m. de flagelo auxiliar, con lo que tendremos para una resistencia superficial de 50 ohmios metro.

$$R_p = \frac{50}{5 \cdot 2} = 5 \Omega$$

$$R_f = \frac{2 \cdot 50}{12} = 8,33 \Omega$$

y la resistencia del sistema será:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_f}$$

de donde $R_t = 3.12 \Omega$

8.5.- Cálculo de la tensión de paso admisible en el exterior de la instalación

A efectos de cálculo en proyecto se emplea para la estimación de la tensión de paso admisible en el exterior de la instalación:

$$V_p = 10 \cdot V_{ca} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right)$$

Siendo:

V_p Tensión de paso admisible

V_{ca} tensión de contacto admisible por el cuerpo humano

ρ Resistividad de la capa superficial

Sustituyendo valores, en este caso tendremos:

Defecto en B.T.

$$V_p = 10 \cdot 50 \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 50}{1000}\right) = 650 \text{ V}$$

Defecto en M.T.

$$V_p = 10 \cdot 102,86 \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 50}{1000}\right) = 1340 \text{ V}$$

8.6.- Cálculo de las tensiones de paso y contacto admisibles en el interior de la instalación

Las expresiones a aplicar son:

$$V_p = 10 \cdot V_{ca} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right)$$

$$V_c = V_{ca} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot \rho}{1000}\right)$$

Donde ahora ρ será la resistividad de la capa superficial del centro (5.000 $\Omega \cdot m$.)

Con ello las tensiones admisibles en el interior de la instalación serán:

Defecto B.T.

$$V_p = 10 \cdot 50 \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 5000}{1000}\right) = 15500 \text{ V}$$

$$V_c = 50 \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot 5000}{1000}\right) = 425 \text{ V}$$

Defecto M.T.

$$V_p = 10 \cdot 102 \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 5000}{1000}\right) = 31860 \text{ V}$$

$$V_c = 102,8 \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot 5000}{1000}\right) = 873,8 \text{ V}$$

8.7.- Cálculo de las tensiones aplicadas

Para la determinación de estas tensiones, en ambos sistemas de tierras: protección y servicio, los cálculos se basan en los datos recogidos en el escrito 8.236/85, dirigido a los Servicios Territoriales de Industria y Energía, de fecha 18 de julio de 1985.

a) Tensiones de paso

$$V_p = \frac{K_1 \cdot s \cdot I_d}{h \cdot L}$$

En la que h es la profundidad del conductor enterrado. Como valores de K1 se toman los siguientes:

- flagelo a 0.8 m de profundidad $K_1 = 0,16$
- flagelo a 1 m de profundidad $K_1 = 0,14$
- flagelo a 1.3 m de profundidad, $K_1 = 0,11$
- pica profundizada 1 m $K_1 = 0,036$

a1) Sistema de protección (M.T.)

Exterior e interior
$$V_p = \frac{0,14 \cdot 50 \cdot 500}{1 \cdot 22} = 159 \text{ V}$$

a2) Sistema de servicio (B.T.)

Para este sistema se considera como I_d la correspondiente al lado de B.T., despreciando las impedancias del trafo y de la red exterior, dando para la resistencia de 3.12 ohms:

$$I_{d2} = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{R_t} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{3,12} = 210 \text{ A}$$

Así:

Interior y Exterior

$$V_p = \frac{0,14 \cdot 50 \cdot 210}{1 \cdot 22} = 66 \text{ V}$$

b) Tensión de contacto

La tensión masa tierra aplicada es de

$$V_c = K_2 \cdot R_t \cdot I_d$$

Como valores de K se toman los siguientes:

- Pica profundizada 1 m $K_2 = 0,83$
- Pica a ras del suelo $K_2 = 0,7$
- flagelo $K_2 = 0,42$
- bucle $K_2 = 0,4$

Así se tiene:

Sistema de protección (M.T.)

$$V_c = 0,42 \cdot 3,12 \cdot 500 = 655 \text{ V}$$

Sistema de servicio (B.T.)

$$V_c = 0,42 \cdot 3,12 \cdot 210 = 275 \text{ V}$$

Resultando en todos los casos las tensiones inferiores a las admisibles.

8.8.- Tensiones aplicadas objeto de medición

a) Tensión de paso

$$V_a = V_p / (1 + 6 \cdot \rho / 1000) \cdot 10$$

a.1) Sistema de protección

Exterior	12,2 V
Interior	5.12 V

a.2) Sistema de servicio

Exterior 5.07 V

b) Tensión de contacto

$$V_a = V_c / (1 + 1,5 \cdot \rho / 1000) = 77 V$$

8.9.- Investigación de las tensiones transferibles al exterior

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

8.10.- Corrección y ajuste del diseño inicial

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas se corregirían estas mediante la disposición de alfombra aislante en el suelo del Centro de Transformación o cualquier medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

Gandía a Julio de 2008
Por E. A. Estudio de Arquitectura S. L.
El Arquitecto.



José Tomás Pastor Puig.