

ÍNDICE.

1.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.	3
1.1.- Introducción.....	3
1.2.- Reglamentos de aplicación.	3
1.3.- Características generales.....	7
1.4.- Descripción de la instalación.....	8
1.4.1.- Obra civil.	8
1.4.1.1.- Local.	8
1.4.1.2.- Características del local.	8
1.4.2.- Instalación eléctrica.....	9
1.4.2.1.- Características del la red de alimentación.	9
1.4.2.2.- Características de la aparamenta de alta tensión.	10
1.4.2.3.- Características material vario de alta tensión.	16
1.4.2.4.- Características de la aparamenta de baja tensión.	16
1.4.3.- Puesta a tierra.	18
1.4.3.1.- Tierra de protección.	18
1.4.3.2.- Tierra de servicio.....	19
1.4.3.3.- Tierras interiores.	19
1.4.4.- Instalaciones secundarias.....	20
1.4.4.1.- Alumbrado.....	20
1.4.4.2.- Protección contra incendios.	20
1.4.4.3.- Ventilación.	20
1.4.4.4.- Medidas de seguridad.....	21
1.5.- Cálculos justificativos.	22
1.5.1.- Intensidad de alta tensión.	22
1.5.2.- Intensidad de baja tensión.	23
1.5.3.- Cortocircuitos.	24
1.5.3.1.- Observaciones.	24
1.5.3.2.- Cálculo de las corrientes.....	24
1.5.3.3.- Cortocircuito en el lado de alta tensión.	25
1.5.3.4.- Cortocircuito en el lado de baja tensión.	26
1.5.4.- Dimensionado del embarrado.	26
1.5.4.1.- Comprobación por densidad de corriente.	26
1.5.4.2.- Comprobación por sollicitación electrodinámica.	27
1.5.4.3.- Comprobación por sollicitación térmica. sobreintensidad térmica admisible.....	27
1.5.5.- Selección de las protecciones de alta y baja tensión.	28
1.5.6.- Dimensionado de la ventilación del c.t.	29
1.5.7.- Dimensiones del pozo apagafuegos.	30
1.5.8.- Cálculos de las instalaciones de puesta a tierra.	30
1.5.8.1.- Investigación de las características del suelo.	30
1.5.8.2.- Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.	30
1.5.8.3.- diseño preliminar de la instalación de tierra.	31
1.5.8.4.- Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.	34
1.5.8.5.- Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.	36

1.5.8.6.- Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.	36
1.5.8.7.- Cálculo de las tensiones aplicadas.	37
1.5.8.8.- Investigación de tensiones transferibles al exterior.....	39
1.5.8.9.- Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.	40

1.- CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

1.1.- Introducción.

El objeto del presente es especificar las condiciones técnicas, de ejecución y económicas de un centro de transformación de características normalizadas cuyo fin es suministrar energía eléctrica en baja tensión.

1.2.- Reglamentos de aplicación.

Para la elaboración se ha tenido en cuenta la siguiente normativa y reglamentos:

- Reglamento sobre las Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (R.D. 3275/82 de 12 de Noviembre.- B.O.E. nº 288 de fecha 1 de Diciembre de 1.982) e Instrucciones Técnicas Complementarias (O.M. de 18 de Octubre de 1.984 B.O.E. nº 256 de 25 de Octubre de 1.084)

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión según Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002, B.O.E. nº 224 de 18 de Septiembre de 2002.

- Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo según Decreto 432/1971 de 11 de Marzo de 1971 y Orden de 9 de Marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre sobre prevención de Riesgos Laborales B.O.E. nº 269 de 10 de Noviembre de 1.995.

- R.D. 2177/96 que aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI 96: Condiciones de protección contra incendios en los edificios. B.O.E. de 13 de Noviembre de 1.996.

- R.D. 154/01 de 23 de Julio de liberalización de instalaciones por el que se establece el procedimiento para la puesta en funcionamiento de industria e instalaciones industriales (BOC de fecha 1/08/01).

- Ordenanzas Municipales del Excmo. Ayuntamiento de Tegui se.

- Orden del 19 de Agosto de 1.997, por la que se aprueba la Norma particular para centros de transformación de hasta 30 Kv. En el ámbito de UNELCO, S.A. (B.O.C. 1999/031 de 12 de Marzo de 1999).

- Normas UNE y Recomendaciones UNESA que sean de aplicación, así como las normas particulares del Grupo Endesa.

- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.

- Cualquier Normativa de aplicación de publicación posterior a la aprobación del presente proyecto, se entenderá como parte integrante de esta relación.

- Orden de 6 de Julio de 1.984 por la que se aprueban o se modifican las Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.

- Decreto 2617/66 de 20 de Octubre de 1.966 sobre autorización de instalaciones eléctricas según B.O.E. de 24 de Octubre de 1.996.

- Decreto Territorial 26/96 de 9 de Febrero por el que se simplifica los procedimientos administrativos aplicables a instalaciones eléctricas según B.O.E. nº 28 de 4 de Marzo 1.996.

- Ley 21/1992 de Industria, 16 de Julio de 1992, B.O.E. nº 176.
- Decreto 724/79 modificando los Art. 2 y 92 del Reglamento de Verificaciones Eléctricas, sobre revisiones periódicas en este tipo de instalaciones.
- Decreto 1.955/2.000 de 1 de Diciembre por la que se regulan las actividades de transporte distribución, comercialización, suministro y procedimiento de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Circular nº1 de la Consejería de Industria y Energía del Gobierno de Canarias, sobre la interpretación del R.D. 3.275/1.982 de 12 de Noviembre y O.M. de 6 de Julio de 1.084, que aprueba las Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Circular 1/03 AT de la Consejería de la Presidencia e Innovación Tecnológica, sobre criterios de elección de la protección de transformadores en Centros de Transformación particular.
- Pliego de Condiciones Técnicas de los Organismos Autonómicos o locales donde se ejecute la obra.
- Orden del 10 de Marzo de 2.000, por la que se modifican las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT 01, MIE-RAT 02, MIE-RAT 06, MIE-RAT 14, MIE-RAT 15, MIE-RAT 16, MIE-RAT 17, MIE-RAT 18, MIE-RAT 19, del Reglamento, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Orden de 30 de Enero de 1.996, sobre mantenimiento y revisiones periódicas de Instalaciones eléctricas de alto riesgo B.O.C. nº 46 de 15 de Abril de 1.996.
- R.D. 1.627/1.997 de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en la obras de construcción.

- Ley 38/1.999 de 5 de Noviembre de Ordenación de la Edificación, B.O.E. nº 266 de 6 de Noviembre de 1.999.
- R.D. 485/1.997 de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- R.D. 486/1.997 de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 614/2000, de 8 de Junio sobre disposiciones mínimas, en materia de seguridad y salud de los trabajadores, frente a riesgos eléctricos.
- R.D. 487/1.997 de 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de materiales, y cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores, B.O.E. 97 de 23 de Abril de 1.997.
- Resolución de 4 de Junio de 1.997, de la Dirección General de Industria y Energía, por la que se convalida el método de UNESA para el diseño y cálculo de instalaciones de puesta a tierra en centros de transformación de tercera categoría (tensión hasta 30 Kv.), a efectos de su aplicación en la Comunidad Autónoma de Canarias.
- R.D. 2018/1997, de 26 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Puntos de Medida de los Consumos y Tránsitos de Energía Eléctrica.
- Orden de 12 de Abril de 1999 por la que se dictan las instrucciones técnicas complementarias al Reglamento de Punto de Medida de los Consumos Tránsitos de Energía Eléctrica.

1.3.- Características generales.

El centro de transformación objeto del presente será de tipo interior, empleando para su aparellaje celdas prefabricadas bajo envolvente metálica según norma UNE -EN 60298.

La acometida al mismo será subterránea, alimentando al centro mediante una red de Media Tensión, y el suministro de energía se efectuará a una tensión de servicio de 20 kV y una frecuencia de 50 Hz, siendo la Compañía Eléctrica suministradora Endesa Distribución (Unión Eléctrica de Canarias - UNELCO ENDESA ENDESA).

* CARACTERÍSTICAS CELDAS RM6.

Las celdas a emplear serán de la serie RM6 de Merlin Gerin, un conjunto de celdas compactas equipadas con aparata de alta tensión, bajo envolvente única metálica con aislamiento integral, para una tensión admisible hasta 24 kV, acorde a las siguientes normativas:

- UNE 20-090, 20-135, 21-081.
- UNE-EN 60129, 60265-1.
- CEI 60298, 60420, 60265, 60129.
- UNESA Recomendación 6407 A.

Toda la aparata estará agrupada en el interior de una cuba metálica estanca rellena de hexafluoruro de azufre con una presión relativa de 0.1 bar (sobre la presión atmosférica), sellada de por vida y acorde a la norma CEI 56-4-17, clase III.

1.4.- Descripción de la instalación.

1.4.1.- Obra civil.

1.4.1.1.- Local.

El centro de transformación estará ubicado en el interior de un edificio destinado a otros usos.

Será de las dimensiones necesarias para alojar las celdas correspondientes y transformadores de potencia, respetándose en todo caso las distancias mínimas entre los elementos que se detallan en el vigente reglamento de alta tensión.

Las dimensiones del local, accesos, así como la ubicación de las celdas se indican en los planos correspondientes.

1.4.1.2.- Características del local.

Se detallan a continuación las condiciones mínimas que debe cumplir el local para poder albergar el C.T.:

- Acceso de personas: El acceso al Centro estará restringido al personal de la Compañía Eléctrica suministradora. El Centro dispondrá de una puerta peatonal cuya cerradura estará normalizada por la Cía. Eléctrica. La(s) puerta(s) se abrirá(n) hacia el exterior y tendrán como mínimo 2.10 m. de altura y 0.90 m. de anchura.

- Acceso de materiales: las vías para el acceso de materiales deberá permitir el transporte, en camión, de los transformadores y demás elementos pesados hasta el local. Las puertas se abrirán hacia el exterior y tendrán una luz mínima de 2.30 m. de altura y de 1.40 m. de anchura.

- Dimensiones interiores y disposición de los diferentes elementos: ver planos correspondientes.

- Paso de cables A.T.:

- Se dispondrá un foso de recogida de aceite por transformador con revestimiento resistente y estanco. Su capacidad mínima se indica en el capítulo de Cálculos. En dicho foso o cubeta se dispondrá, como cortafuegos, un lecho de guijarros.

- Acceso a transformadores: una malla de protección impedirá el acceso directo de personas a la zona de transformador.

- Piso: se instalará un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm. formando una retícula no superior a 0.30 x 0.30 m. Este mallazo se conectará al sistema de tierras a fin de evitar diferencias de tensión peligrosas en el interior del C.T. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm. de espesor como mínimo.

- Ventilación: se dispondrá un sistema de ventilación forzada mediante extractor debido a la imposibilidad de refrigerar el local por ventilación natural. El caudal de aire mínimo necesario se indica en el Capítulo de Cálculos.

El C.T. no contendrá otras canalizaciones ajenas al mismo y deberá cumplir las exigencias que se indican en el pliego de condiciones respecto a resistencia al fuego, condiciones acústicas, etc.

1.4.2.- Instalación eléctrica.

1.4.2.1.- Características de la red de alimentación.

La red de alimentación al centro de transformación será de tipo subterráneo a una tensión de 20 kV y 50 Hz de frecuencia.

La potencia de cortocircuito máxima de la red de alimentación será de 500 MVA, según datos proporcionados por la Compañía suministradora.

1.4.2.2.- Características de la aparamenta de alta tensión.

* CARACTERÍSTICAS GENERALES CELDAS RM6

- Tensión asignada: 24 kV.
- Tensión soportada entre fases, y entre fases y tierra:
 - a frecuencia industrial (50 Hz), 1 minuto: 50 kV ef.
 - a impulso tipo rayo: 125 kV cresta.
- Intensidad asignada en funciones de línea: 400 A.
- Intensidad asignada en funciones de protección. 200 A (400 A en interrup. automat).
- Intensidad nominal admisible durante un segundo: 16 kA ef.
- Valor de cresta de la intensidad nominal admisible: 40 kA cresta, es decir, 2.5 veces la intensidad nominal admisible de corta duración.

El poder de corte de la aparamenta será de 400 A eficaces en las funciones de línea y de 16 kA en las funciones de protección (ya se consiga por fusible o por interruptor automático).

El poder de cierre de todos los interruptores será de 40 kA cresta.

Todas las funciones (tanto las de línea como las de protección) incorporarán un seccionador de puesta a tierra de 40 kA cresta de poder de cierre.

Deberá existir una señalización positiva de la posición de los interruptores y seccionadores de puesta a tierra. Además, el seccionador de puesta a tierra deberá ser directamente visible a través de visores transparentes.

El embarrado estará sobredimensionado para soportar sin deformaciones permanentes los esfuerzos dinámicos que en un cortocircuito se puedan presentar y que se detallan en el apartado de cálculos.

CELDAS:

*** CELDA DE ENTRADA, SALIDA Y PROTECCIÓN.**

Conjunto Compacto Merlin Gerin gama RM6, modelo RM6 3I2Q (3L+2P), equipado con TRES funciones de línea y DOS funciones de protección con fusibles, de dimensiones: 1.142 mm de alto (siendo necesarios otros 280 mm adicionales para extracción de fusibles), 2.171 mm de ancho, 710 mm de profundidad.

Conjunto compacto estanco RM6 en atmósfera de hexafluoruro de azufre SF6, 24 kV tensión nominal, para una intensidad nominal de 400 A y poder de corte en cortocircuito de 16 kA eficaces en las funciones de línea y de 200 A en la de protección.

Los interruptores de la función de protección se equiparán con fusibles de baja disipación térmica tipo MESA CF (DIN 43625), de 24kV, de 25 A de intensidad nominal para el primer transformador, y de 25 A para el segundo, que provocarán la apertura de los mismos por fusión de cualquiera de ellos.

El conjunto compacto incorporará:

- Seccionador de puesta a tierra en SF6.
- Palanca de maniobra.
- Dispositivos de detección de presencia de tensión en todas las funciones, tanto en las de línea como en las de protección.
- 3 lámparas individuales (una por fase) para conectar a dichos dispositivos.
- Bobina de apertura a emisión de tensión de 220 V c.a. en las funciones de protección.

- Pasatapas de tipo roscado M16 de 400 A en las funciones de línea.
- Pasatapas enchufable de tipo liso de 200 A en las funciones de protección.
- Cubrebornas metálicos en todas las funciones.
- Manómetro para el control de la presión del gas.

La conexión de los cables se realizará mediante conectores de tipo roscado M16 de 400 A para las funciones de línea y de tipo liso de 200 A para las funciones de protección, asegurando así la estanqueidad del conjunto y, por tanto, la total insensibilidad al entorno en ambientes extraordinariamente polucionados, e incluso soportando una eventual sumersión.

- 3 Equipamientos de 3 conectores apantallados en "T" roscados M16 400A cada uno.
- 2 Equipamientos de 3 conectores apantallados enchufables rectos lisos 200A cada uno.

TRANSFORMADOR:

*** TRANSFORMADOR 1**

Será una máquina trifásica reductora de tensión, referencia JLJ1EN0400GZ, siendo la tensión entre fases a la entrada de 20 kV y la tensión a la salida en vacío de 420V entre fases y 242V entre fases y neutro(*).

El transformador a instalar tendrá el neutro accesible en baja tensión y refrigeración natural (ONAN), marca Merlin Gerin, en baño de aceite mineral.

La tecnología empleada será la de llenado integral a fin de conseguir una mínima degradación del aceite por oxidación y absorción de humedad, así como unas dimensiones reducidas de la máquina y un mantenimiento mínimo.

Sus características mecánicas y eléctricas se ajustarán a la Norma GE FND001 y a las normas particulares de la compañía suministradora, siendo las siguientes:

- Potencia nominal: 400 kVA.
- Tensión nominal primaria: 20.000 V.
- Regulación en el primario: +/-2,5%, +/-5%.
- Tensión nominal secundaria en vacío : 420 V.
- Tensión de cortocircuito: 4 %.
- Grupo de conexión: Dyn11.
- Nivel de aislamiento:
 - Tensión de ensayo a onda de choque 1,2/50 s 125 kV.
 - Tensión de ensayo a 50 Hz, 1 min, 50 kV.

(*)Tensiones según:

- UNE 21301:1991 (CEI 38:1983 modificada)(HD 472:1989)
- UNE 21428 (96)(HD 428.1 S1)
- 3 pasatapas para conexión a bornas enchufables en MT en la tapa del transformador.

CONEXIÓN EN EL LADO DE ALTA TENSIÓN:

- Juego de puentes III de cables AT unipolares de aislamiento seco RHZ1, aislamiento 12/20 kV, de 35 mm² en Al con sus correspondientes elementos de conexión.

- Equipamiento de 3 conectores apantallados enchufables rectos lisos 200 A.

CONEXIÓN EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN:

- Juego de puentes III de cables BT unipolares de aislamiento seco tipo RV, aislamiento 0.6/1 kV, de 2x240 mm² Al para las fases y de 1x240 mm² Al para el neutro.

DISPOSITIVO TÉRMICO DE PROTECCIÓN.

- Protección térmica por conmutador de cambio de alta tensión sobre tapa (norma Unelco).

** TRANSFORMADOR 2*

Será una máquina trifásica reductora de tensión, referencia JLJ1EN0400GZ, siendo la tensión entre fases a la entrada de 20 kV y la tensión a la salida en vacío de 420V entre fases y 242V entre fases y neutro(*).

El transformador a instalar tendrá el neutro accesible en baja tensión y refrigeración natural (ONAN), marca Merlin Gerin, en baño de aceite mineral.

La tecnología empleada será la de llenado integral a fin de conseguir una mínima degradación del aceite por oxidación y absorción de humedad, así como unas dimensiones reducidas de la máquina y un mantenimiento mínimo.

Sus características mecánicas y eléctricas se ajustarán a la Norma GE FND001 y a las normas particulares de la compañía suministradora, siendo las siguientes:

- | | |
|--|-----------------|
| - Potencia nominal: | 400 kVA. |
| - Tensión nominal primaria: | 20.000 V. |
| - Regulación en el primario: | +/-2,5%, +/-5%. |
| - Tensión nominal secundaria en vacío: | 420 V. |
| - Tensión de cortocircuito: | 4 %. |

- Grupo de conexión: Dyn11.
- Nivel de aislamiento:
 - Tensión de ensayo a onda de choque 1,2/50 s 125 kV.
 - Tensión de ensayo a 50 Hz, 1 min, 50 kV.

(*)Tensiones según:

- UNE 21301:1991 (CEI 38:1983 modificada)(HD 472:1989)
- UNE 21428 (96)(HD 428.1 S1)
- 3 pasatapas para conexión a bornas enchufables en MT en la tapa del transformador.

CONEXIÓN EN EL LADO DE ALTA TENSIÓN:

- Juego de puentes III de cables AT unipolares de aislamiento seco RHZ1, aislamiento 12/20 kV, de 35 mm² en Al con sus correspondientes elementos de conexión.
- Equipamiento de 3 conectores apantallados enchufables rectos lisos 200 A.

CONEXIÓN EN EL LADO DE BAJA TENSIÓN:

- Juego de puentes III de cables BT unipolares de aislamiento seco tipo RV, aislamiento 0.6/1 kV, de 2x240 mm² Al para las fases y de 1x240 mm² Al para el neutro.

DISPOSITIVO TÉRMICO DE PROTECCIÓN.

- Protección térmica por conmutador de cambio de alta tensión sobre tapa (norma Unelco).

1.4.2.3.- Características material vario de alta tensión.

* *EMBARRADO GENERAL CELDAS RM6.*

El embarrado general de los conjuntos compactos RM6 se construye con barras cilíndricas de cobre semiduro (F20) de 16 mm de diámetro.

* *AISLADORES DE PASO CELDAS RM6.*

Son los pasatapas para la conexión de los cables aislados de alta tensión procedentes del exterior. Cumplen la norma UNESA 5205A y serán de tipo roscado para las funciones de línea y enchufables para las de protección.

1.4.2.4.- Características de la aparamenta de baja tensión.

Las salidas de Baja Tensión del Centro de Transformación irán protegidas con Cuadros Modulares de Distribución en Baja Tensión de Merlin Gerin y características según se definen en la Recomendación UNESA 6302B.

Dichos cuadros deberán estar homologados por la Compañía Eléctrica suministradora y sus elementos principales se describen a continuación:

- Unidad funcional de embarrado: constituida por dos tipos de barras: barras verticales de llegada, que tendrán como misión la conexión eléctrica entre los conductores procedentes del transformador y el embarrado horizontal; y barras horizontales o repartidoras que tendrán como misión el paso de la energía procedente de las barras verticales para ser distribuida en las diferentes salidas. La intensidad nominal de cada una de las salidas será de 400 Amperios.

- Unidad funcional de seccionamiento: constituida por cuatro conexiones de pletinas deslizantes que podrán ser maniobradas fácil e independientemente con una sola herramienta aislada.

Transformador 1:

- Unidad funcional de protección: constituida por un sistema de protección formado por 4 bases tripolares verticales con cortacircuitos fusibles 400 A.

- 2 Base portafusible 125A.
- 1 Fusible 22 x 58 16A.
- 2 Lámpara roja de señalización neón.
- Panel puerta y resote de compresión de cierre.
- Base Enchufable 2P blanco 10A, 250V.
- Perfil simétrico liso DIN 46227.
- 1 Amperímetro.
- 1 Interruptor diferencial.
- 2 Magnetotérmicos.
- 2 Contactos auxiliares.

Transformador 2:

- Unidad funcional de protección: constituida por un sistema de protección formado por 4 bases tripolares verticales con cortacircuitos fusibles 400 A.

- 2 Base portafusible 125A.
- 1 Fusible 22 x 58 16A.

- 2 Lámpara roja de señalización neón.
- Panel puerta y resote de compresión de cierre.
- Base Enchufable 2P blanco 10A, 250V.
- Perfil simétrico liso DIN 46227.
- 1 Amperímetro.
- 1 Interruptor diferencial.
- 2 Magnetotérmicos.
- 2 Contactos auxiliares.

1.4.3.- Puesta a tierra.

1.4.3.1.- 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.

1.4.3.2.- Tierra de servicio.

Se conectarán a tierra el neutro del transformador y los circuitos de baja tensión de los transformadores del equipo de medida, según se indica en el apartado de "Cálculo de la instalación de puesta a tierra" del capítulo 2 de este proyecto.

1.4.3.3.- 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 mm² de cobre desnudo formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos indicados en el apartado anterior e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujección y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP54.

La tierra interior de servicio se realizará con cable de 50 mm² de cobre aislado formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos indicados en el apartado anterior e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujección y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP54.

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

1.4.4.- Instalaciones secundarias.

1.4.4.1.- Alumbrado.

En el interior del centro de transformación 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.

1.4.4.2.- Protección contra incendios.

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

1.4.4.3.- Ventilación.

El local deberá estar dotado de un sistema mecánico adecuado para proporcionar un caudal de ventilación equivalente al que se indica en el capítulo de cálculos, y dispondrá de cierre automático en caso de incendio.

Los conductos de ventilación forzada del centro deberán ser totalmente independientes de otros conductos de ventilación del edificio.

Las rejillas de admisión y expulsión de aire se instalarán de forma que un normal funcionamiento de la ventilación no pueda producir molestias a vecinos y viandantes.

1.4.4.4.- Medidas de seguridad.

* *SEGURIDAD EN CELDAS RM6*

Los conjuntos compactos RM6 estarán provistos de enclavamientos de tipo MECÁNICO que relacionan entre sí los elementos que la componen.

El sistema de funcionamiento del interruptor con tres posiciones, impedirá el cierre simultáneo del mismo y su puesta a tierra, así como su apertura y puesta inmediata a tierra.

En su posición cerrado se bloqueará la introducción de la palanca de accionamiento en el eje de la maniobra para la puesta a tierra, siendo asimismo bloqueables por candado todos los ejes de accionamiento.

Un dispositivo anti-reflex impedirá toda tentativa de reapertura inmediata de un interruptor.

Asimismo es de destacar que la posición de puesta a tierra será visible, así como la instalación de dispositivos para la indicación de presencia de tensión.

El compartimento de fusibles, totalmente estanco, será inaccesible mediante bloqueo mecánico en la posición de interruptor cerrado, siendo posible su apertura únicamente cuando éste se sitúe en la posición de puesta a tierra y, en este caso, gracias a su metalización exterior, estará colocado a tierra todo el compartimento, garantizándose así la total ausencia de tensión cuando sea accesible.

1.5.- Cálculos justificativos.

1.5.1.- Intensidad de alta tensión.

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

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

U = Tensión compuesta primaria en kV = 20 kV.

I_p = Intensidad primaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	I_p (A)
400	11.55
400	11.55

siendo la intensidad total primaria de 0 Amperios.

Cable de conexión de alta entre protección y transformador.

Será de 35 mm² cuya intensidad dada por el fabricante es muy superior a la calculada, cumpliendo con la normativa.

1.5.2.- Intensidad de baja tensión.

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

$$I_s = \frac{S - W_{fe} - W_{cu}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

W_{fe} = Pérdidas en el hierro.

W_{cu} = Pérdidas en los arrollamientos.

U = Tensión compuesta en carga del secundario en kilovoltios = 0.4 kV.

I_s = Intensidad secundaria en Amperios.

Sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	I_s (A)
400	569.37
400	569.37

La sección del cable de baja se selecciona en función de las especificaciones técnicas de la compañía distribuidora y lo especificado en el R.B.T.

1.5.3.- Cortocircuitos.

1.5.3.1.- Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 500 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Compañía suministradora.

1.5.3.2.- Cálculo de las corrientes.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} * U}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U = Tensión primaria en kV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en kA.

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de baja tensión:

No la vamos a calcular ya que será menor que la calculada en el punto anterior.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de baja tensión (despreciando la impedancia de la red de alta tensión):

$$I_{ccs} = \frac{S}{\sqrt{3} * \frac{U_{cc}}{100} * U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

U_{cc} = Tensión porcentual de cortocircuito del transformador.

U_s = Tensión secundaria en carga en voltios.

I_{ccs} = Intensidad de cortocircuito secundaria en kA.

1.5.3.3.- Cortocircuito en el lado de alta tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

S_{cc} = 500 MVA.

U = 20 kV.

y sustituyendo valores tendremos una intensidad primaria máxima para un cortocircuito en el lado de A.T. de:

I_{ccp} = 14.43 kA.

1.5.3.4.- Cortocircuito en el lado de baja tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente y sustituyendo valores, tendremos:

Potencia del transformador (kVA)	Ucc (%)	Iccs (kA)
400	4	14.43
400	4	14.43

Siendo:

- Ucc: Tensión de cortocircuito del transformador en tanto por ciento.
- Iccs: Intensidad secundaria máxima para un cortocircuito en el lado de baja tensión.

1.5.4.- Dimensionado del embarrado.

Como resultado de los ensayos que han sido realizados a las celdas fabricadas por Schneider Electric no son necesarios los cálculos teóricos ya que con los certificados de ensayo ya se justifican los valores que se indican tanto en esta memoria como en las placas de características de las celdas.

1.5.4.1.- Comprobación por densidad de corriente.

La comprobación por densidad de corriente tiene como objeto verificar que no se supera la máxima densidad de corriente admisible por el elemento conductor cuando por el circule una corriente igual a la corriente nominal máxima.

Para las celdas modelo RM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51168218XB realizado por VOLTA.

1.5.4.2.- Comprobación por sollicitación electrodinámica.

La comprobación por sollicitación electrodinámica tiene como objeto verificar que los elementos conductores de las celdas incluidas en este proyecto son capaces de soportar el esfuerzo mecánico derivado de un defecto de cortocircuito entre fase.

Para las celdas modelo RM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51168210XB realizado por VOLTA.

El ensayo garantiza una resistencia electrodinámica de 40kA.

1.5.4.3.- Comprobación por sollicitación térmica. sobreintensidad térmica admisible.

La comprobación por sollicitación térmica tiene como objeto comprobar que por motivo de la aparición de un defecto o cortocircuito no se producirá un calentamiento excesivo del elemento conductor principal de las celdas que pudiera así dañarlo.

Para las celdas modelo RM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51168210XB realizado por VOLTA.

El ensayo garantiza una resistencia térmica de 16kA 1 segundo.

1.5.5.- Selección de las protecciones de alta y baja tensión.

* ALTA TENSIÓN.

Los cortacircuitos 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 en vacío, soportar la intensidad en servicio continuo y sobrecargas eventuales y cortar las intensidades de defecto en los bornes del secundario del transformador.

Como regla práctica, simple y comprobada, que tiene en cuenta la conexión en vacío del transformador y evita el envejecimiento del fusible, se puede verificar que la intensidad que hace fundir al fusible en 0,1 segundo es siempre superior o igual a 14 veces la intensidad nominal del transformador.

La intensidad nominal de los fusibles se escogerá por tanto en función de la potencia del transformador a proteger.

Potencia del transformador (kVA)	Intensidad nominal del fusible de A.T. (A)
400	25
400	25

* BAJA TENSIÓN.

En el circuito de baja tensión del transformador se instalará un Cuadro de Distribución homologado por la Compañía Suministradora.

Potencia del transformador (kVA)	Nº de Salidas en B.T.

400	4
400	4

1.5.6.- Dimensionado de la ventilación del c.t.

Al no ser posible un sistema de ventilación natural, se adoptará un sistema de ventilación forzada. Para el cálculo del caudal de aire necesario se aplicará la siguiente expresión:

$$\text{Caudal (m}^3\text{/h)} = \text{Pérdidas (kW)} \times 216.$$

De esta manera, tenemos que:

Potencia del transformador (kVA)	Potencia de pérdidas (kW)	Caudal (m ³ /h)

400	5.53	1194.48
400	5.53	1194.48

Siendo el caudal total necesario de 2388.96 m³/h.

1.5.7.- Dimensiones del pozo apagafuegos.

El foso de recogida de aceite será capaz de alojar la totalidad del volumen de agente refrigerante que contiene el transformador en caso de su vaciamiento total.

Potencia del transformador (kVA)	Volumen mínimo del foso (litros)
400	312
400	312

1.5.8.- Cálculos de las instalaciones de puesta a tierra.

1.5.8.1.- 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 = 300 $\Omega\cdot\text{m}$.

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

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora (Unión Eléctrica de Canarias (UNELCO)), el tiempo máximo de eliminación del defecto es de 0.12 s. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la Compañía son:

$$K = 72 \text{ y } n = 1.$$

Por otra parte, los valores de la impedancia de puesta a tierra del neutro, corresponden a:

$$R_n = 0\Omega \text{ y } X_n = 25 \Omega.$$

con

$$|Z_n| = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$$

La intensidad máxima de defecto se producirá en el caso hipotético de que la resistencia de puesta a tierra del Centro de Transformación sea nula. Dicha intensidad será, por tanto igual a:

$$I_d(\text{máx}) = \frac{U_{s\text{max}}}{\sqrt{3} * Z_n}$$

Donde $U_{s\text{max}}=20000$ V con lo que el valor obtenido es $I_d=461.88$ A, valor que la Compañía redondea a 500 A.

1.5.8.3.- diseño preliminar de la instalación de tierra.

* TIERRA DE PROTECCIÓN.

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan 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 carcasas de los transformadores.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las

características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \Omega/(\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 V/(\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos

* TIERRA DE SERVICIO.

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

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección. La configuración escogida se describe a continuación:

- Identificación: código 5/62 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.073 \cdot \Omega / (\Omega \cdot m).$$

$$K_p = 0.012 \text{ V} / (\Omega \cdot m \cdot A).$$

- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 Ω . Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios (=37 x 0,650).

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión. Dicha separación está calculada en el apartado 2.8.8.

1.5.8.4.- Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.

* TIERRA DE PROTECCIÓN.

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del Centro (R_t), intensidad y tensión de defecto correspondientes (I_d , U_d), utilizaremos las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, R_t :

$$R_t = K_r \cdot \sigma.$$

- Intensidad de defecto, I_d :

$$I_d = \frac{U_{s_{max}} V}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

donde $U_{s_{max}}=20000$

- Tensión de defecto, Ud:

$$U_d = I_d * R_t .$$

Siendo:

$$\sigma = 300 \Omega \cdot m.$$

$$K_r = 0.073 \Omega / (\Omega m).$$

se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 21.9 \Omega$$

$$I_d = 347.43 A.$$

$$U_d = 7608.7 V.$$

El aislamiento de las instalaciones de baja tensión del C.T. deberá ser mayor o igual que la tensión máxima de defecto calculada (U_d), por lo que deberá ser como mínimo de 8000 Voltios.

De esta manera se evitará que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de Alta Tensión deterioren los elementos de Baja Tensión del centro, y por ende no afecten a la red de Baja Tensión.

Comprobamos asimismo que la intensidad de defecto calculada es superior a 100 Amperios, lo que permitirá que pueda ser detectada por las protecciones normales.

* TIERRA DE SERVICIO.

$$R_t = K_r \cdot \sigma = 0.073 \cdot 300 = 21.9 \Omega$$

que vemos que es inferior a 37 Ω .

1.5.8.5.- 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 de ventilación 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.

Los muros, entre sus paramentos tendrán una resistencia de 100.000 ohmios como mínimo (al mes de su realización).

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p \cdot \sigma \cdot I_d = 0.012 \cdot 300 \cdot 347.43 = 1250.7 \text{ V.}$$

1.5.8.6.- Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

El piso del Centro estará constituido por un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm. formando una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente

opuestos a la puesta a tierra de protección del Centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, está sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm. de espesor como mínimo.

En el caso de existir en el paramento interior una armadura metálica, ésta estará unida a la estructura metálica del piso.

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_p \text{ acceso} = U_d = R_t * I_d = 21.9 * 347.43 = 7608.7 \text{ V.}$$

1.5.8.7.- Cálculo de las tensiones aplicadas.

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, que se puede aceptar, según el reglamento MIE-RAT, será:

$$U_{ca} = \frac{K}{t^n}$$

Siendo:

U_{ca} = Tensión máxima de contacto aplicada en Voltios.

$K = 72$.

$$n = 1.$$

$$t = \text{Duración de la falta en segundos: } 0.12 \text{ s}$$

Obtenemos el siguiente resultado:

$$U_{ca} = 600 \text{ V}$$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al Centro, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_p(\text{exterior}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{6 * \sigma}{1.000} \right)$$

$$U_p(\text{acceso}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{3 * \sigma + 3 * \sigma h}{1.000} \right)$$

Siendo:

U_p = Tensiones de paso en Voltios.

$$K = 72.$$

$$n = 1.$$

$$t = \text{Duración de la falta en segundos: } 0.12 \text{ s}$$

σ = Resistividad del terreno.

$$\sigma h = \text{Resistividad del hormigón} = 3.000 \Omega.m$$

Obtenemos los siguientes resultados:

$$U_p(\text{exterior}) = 16800 \text{ V}$$

$$U_p(\text{acceso}) = 65400 \text{ V}$$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$$U_p = 1250.7 \text{ V.} < U_p(\text{exterior}) = 16800 \text{ V.}$$

- en el acceso al C.T.:

$$U_d = 7608.7 \text{ V.} < U_p(\text{acceso}) = 65400 \text{ V.}$$

1.5.8.8.- Investigación de tensiones transferibles al exterior.

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

No obstante, con el objeto de 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 $D_{\text{mín}}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{\text{mín}} = \frac{\sigma * I_d}{2.000 * \pi}$$

con:

$$\sigma = 300 \Omega \text{m.}$$

$$I_d = 347.43 \text{ A.}$$

obtenemos el valor de dicha distancia:

$$D_{\text{mín}} = 16.59 \text{ m.}$$

1.5.8.9.- Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.

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 una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

Fdo:

José Bailón Peidró
E.S.I.
Sevilla, Octubre de 2010