

## CONTENIDO

1	OBJETO DEL DOCUMENTO .....	4
2	NORMATIVA DE APLICACIÓN .....	5
3	AISLAMIENTO .....	6
3.1	NIVELES DE AISLAMIENTO NOMINALES .....	6
3.2	ENSAYOS .....	8
3.3	DISTANCIAS MÍNIMAS .....	8
3.3.1	DISTANCIAS DE AISLAMIENTO ADOPTADAS .....	8
3.3.2	PASILLOS Y ZONAS DE PROTECCIÓN .....	9
3.3.3	ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ACCIDENTALES EN EL INTERIOR DEL RECINTO DE LA INSTALACIÓN .....	11
3.3.4	ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ACCIDENTALES DESDE EL EXTERIOR DEL RECINTO DE LA INSTALACIÓN .....	12
3.3.5	INSTALACIONES SOBRE APOYO O AL PIE DEL APOYO .....	14
3.3.6	PROXIMIDAD DE LÍNEAS AÉREAS .....	14
3.4	CRITERIOS DE IMPLANTACIÓN .....	16
4	CÁLCULO DE CONDUCTORES .....	17
4.1	CAPACIDAD DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES DESNUDOS .....	17
4.1.1	PARQUE DE 220 KV .....	17
4.1.2	PARQUE DE 30 KV .....	27
4.2	CAPACIDAD DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES AISLADOS .....	27
4.2.1	CELDA DE TRANSFORMADOR TRP1-1 .....	27
4.2.2	REACTANCIA DE PUESTA A TIERRA .....	29
4.2.3	CELDA DE BANCO DE CONDENSADORES .....	30
4.2.4	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES .....	32
4.3	CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS .....	33
4.3.1	POSICIONES DE LÍNEAS Y TRANSFORMACIÓN .....	33
4.3.2	POSICIÓN DE BARRAS 220 KV .....	45
4.4	CÁLCULOS DE EFECTO CORONA .....	50
5	CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO Y TRIFÁSICO EN SET GUADARRAMA 220 kV Y 30 kV 53	
5.1	DATOS DE CORTOCIRCUITO EN EL PUNTO DE CONEXIÓN .....	53
5.2	CONFIGURACIÓN DE RED .....	53

5.3	DATOS PRELIMINARES.....	54
5.3.1	LAT SE GUADARRAMA - SE BUENAVISTA 220KV .....	54
5.3.2	LAAT SE GUADARRAMA III - SE GUADARRAMA.....	54
5.4	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....	54
5.5	IMPEDANCIA EQUIVALENTE DE LA RED EXISTENTE .....	56
5.6	RESULTADOS IMPEDANCIAS .....	58
5.7	RESULTADOS CORTOCIRCUITOS .....	59
6	CÁLCULO DE LA RED DE TIERRAS.....	60
6.1	RED DE TIERRAS INFERIORES .....	60
6.1.1	DATOS DE PARTIDA.....	60
6.1.2	CÁLCULOS .....	61
6.2	RED DE TIERRAS SUPERIORES .....	64
6.2.1	EVALUACIÓN DE RIESGO Y SELECCIÓN DE MÉTODO DE PROTECCIÓN .....	64

## 1 OBJETO DEL DOCUMENTO

El objeto de este documento es justificar, desde el punto de vista técnico, las soluciones adoptadas en la Subestación Guadarrama 220/30 kV para los elementos más críticos de la configuración adoptada y, asimismo para permitir la entrada de la línea en la subestación.

Este documento incluye la justificación de los siguientes elementos:

- Determinación de distancias eléctricas mínimas;
- Cálculo de conductores;
- Cálculo de cortocircuitos;
- Red de tierras inferiores;
- Red de tierras superiores.

Cada apartado contiene las hipótesis de diseño, los cálculos justificativos, criterios de validación y conclusiones.

## 2 NORMATIVA DE APLICACIÓN

Los cálculos que se realizan a continuación para la subestación Guadarrama 220/30 kV cumplen con la normativa vigente en España referente a este tipo de instalaciones y está basado en las siguientes Normas y Reglamentos:

- Real Decreto 842/2002, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-BT 01 a 51 y Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprueba la instrucción técnica complementaria ITC-BT 52.
- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Norma CEI 60865 de 1993, “Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito”.
- Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo”.
- Norma CEI 60909-2001, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma DIN 43670.
- IEEE 80-2013 Calculo de tierra. Tensiones de contacto y paso.

Si al aplicar las normas y reglamentos anteriores se obtuviesen valores que discrepasen de los que pudieran obtenerse con otras normas o métodos de cálculo, se considerará siempre el resultado más desfavorable, con objeto de estar siempre del lado de la seguridad.

## 3 AISLAMIENTO

### 3.1 NIVELES DE AISLAMIENTO NOMINALES

El aislamiento de los equipos que se empleen en las instalaciones de A.T. deberá adaptarse a la ITC-RAT 12, y a su vez, a los valores normalizados indicados en las Normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2, salvo en casos especiales debidamente justificados.

Los valores normalizados de los niveles de aislamiento nominales de los aparatos de A.T., definidos por las tensiones soportadas nominales para distintos tipos de solicitaciones dieléctricas, se muestran en las Tablas 1, 2 y 3 de la ITC-RAT 12, en la cual se distinguen los siguientes grupos:

- Grupo A. Tensión más elevada para el material mayor de 1 kV y menor o igual de 36 kV.
- Grupo B. Tensión más elevada para el material mayor de 36 kV y menor o igual de 245 kV.
- Grupo C. Tensión más elevada del material mayor de 245 kV

Dichas tablas especifican los niveles de aislamiento nominales asociados con los valores normalizados de la tensión más elevada del material de los grupos A, B y C, así como las distancias mínimas de aislamiento en aire, entre fases y entre cualquier fase y a tierra.

Los niveles de aislamiento que se han adoptado en la subestación corresponden a materiales del Grupo A y Grupo B para aislamiento pleno de la misma Instrucción Técnica.

En el sistema de 220 kV, el material soporta permanentemente como tensión más elevada 245 kV eficaces, así como 1050 kV cresta a impulsos tipo rayo y 460 kV eficaces a frecuencia industrial durante un minuto.

En el sistema de 30 kV, el material soporta permanentemente como tensión más elevada 36 kV eficaces, así como 170 kV cresta a impulsos tipo rayo y 70 kV eficaces a frecuencia industrial durante un minuto.

A continuación, se muestran las tablas encontradas en la Instrucción Técnica de referencia:

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV cresta)		Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)			
		Lista 1	Lista 2	Lista 1		Lista 2	
				instalación en interior	instalación en exterior	instalación en interior	instalación en exterior
3,6	10	20		60	120		
			40			60	120
7,2	20	40		60	120		
			60			90	120
12	28	60		90	150		
			75			120	150
17,5	38	75		120	160		
			95			160	160
24	50	95		160	160		
			125			220	220
			145			270	270
36	70	145		270	270		
			170			320	320

Tabla 1. Niveles de aislamiento nominal asociado con los valores normalizados de la tensión más elevada para materiales del Grupo A

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
52	95	250	480
72,5	140	325	630
123	185	450	900
	230	550	1100
145	185	450	900
	230	550	1100
	275	650	1300
170	230	550	1100
	275	650	1300
	325	750	1500
245	325	750	1500
	360	850	1700
	395	950	1900
	460	1050	2100

Tabla 2. Niveles de aislamiento nominal asociado con los valores normalizados de la tensión más elevada para materiales del Grupo B

## 3.2 ENSAYOS

Los ensayos de tensión soportada de las instalaciones o de los distintos aparatos que las componen, están destinados a la comprobación de sus niveles de aislamiento.

Para la realización de los ensayos de verificación del nivel de aislamiento se seguirá lo especificado en la serie de normas UNE-EN 60060 sobre ensayos en alta tensión, y en las normas de la serie UNE-EN 60071 sobre coordinación de aislamiento, debiendo tenerse además en cuenta lo establecido para cada tipo particular de aparato o instalación en la correspondiente norma UNE que en cada caso establecen los ensayos que deben considerarse como ensayos de tipo y los que deben considerarse como ensayos individuales.

## 3.3 DISTANCIAS MÍNIMAS

### 3.3.1 DISTANCIAS DE AISLAMIENTO ADOPTADAS

De acuerdo con el nivel de aislamiento adoptado y según lo indicado en la instrucción ITC-RAT 12, las distancias mínimas que se adoptarán en la subestación son las siguientes:

Tensión nominal (kV eficaces)	Tensión más elevada para el material (kV eficaces)	Tensión soportada nominal a frecuencia industrial (kV eficaces)	Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV eficaces)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
220	245	460	1050	2100
30	36	70	170	320

Tabla 3. Resumen de tensiones y distancias de aislamiento

Estas distancias de aislamiento están realizadas bajo una serie de consideraciones que se describen a continuación:

- En las instalaciones en que, por alguna razón, no puedan realizarse ensayos de verificación del nivel de aislamiento, es aconsejable tomar ciertas medidas que eviten descargas disruptivas con tensiones inferiores a las correspondientes al nivel de aislamiento que hubiera sido prescrito en caso de haberse podido ensayar. Debe cumplirse la condición de que las tensiones soportadas en el aire entre las partes en tensión y entre éstas y tierra sean iguales a las tensiones nominales soportadas especificadas en las Tablas 1 y 2. Esta condición equivale a mantener unas distancias mínimas que dependen de las configuraciones de las partes activas y de las estructuras próximas.
- No se establece ninguna distancia para aquellos equipos para los que están especificados ensayos de comprobación del nivel de aislamiento, puesto que ello entorpecería su diseño, aumentaría su costo y dificultaría el progreso tecnológico.
- Las tablas 1 y 2 indican el valor mínimo de la distancia, que debe respetarse en los equipos e instalaciones en que no se realicen ensayos en correspondencia con un nivel de

aislamiento. Las distancias especificadas en ellas se refieren simplemente a distancias en el aire sin tener en consideración los caminos de descarga por contorno de un aislador, que habrán de haberse ensayado en laboratorio según las normas UNE-EN 60168 y UNE-EN 60507.

- Para separar eléctricamente circuitos se utilizarán preferentemente seccionadores ensayados a la tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo o tipo maniobra para las distancias de seccionamiento (véase la norma UNE-EN 60271-1). No obstante, también puede lograrse la condición de seccionamiento sin necesidad de ningún ensayo, si las distancias entre los dos extremos seccionados de cada una de las fases se incrementan al menos en un 25 por ciento respecto de las distancias mínimas de aislamiento en el aire de las tablas 1 y 2 para los grupos de tensiones A y B.
- Las distancias mínimas de aislamiento en el aire entre partes de una instalación que puedan separarse mediante un seccionador o distancia de seccionamiento equivalente (tanto entre conductores de una misma fase como de fases distintas) serán, al menos un 25 por ciento superiores a las distancias mínimas de aislamiento entre fases de las tablas 1 y 2 de esta ITC. Si los niveles de aislamiento asignados para las dos partes de la instalación que se pueden separar son distintos se tomará la correspondiente al nivel de aislamiento mayor. Esto no aplica a las distancias dentro de un mismo equipo, que vendrán marcadas por sus normas correspondientes.
- Los valores de las distancias indicados en las tablas son los valores mínimos determinados por consideraciones de tipo eléctrico, por lo que, en ciertos casos, deben ser incrementados para tener en cuenta otros conceptos como tolerancias de construcción, efectos de cortocircuitos, efectos del viento, seguridad del personal, etc. Por otra parte, estas distancias son solamente válidas para altitudes no superiores a 1000 metros. Para instalaciones situadas por encima de los 1000 metros de altitud, las distancias mínimas en el aire hasta los 3000 metros deberán aumentarse en un 1,4 por ciento por cada 100 metros o fracción por encima de los 1000 m.

### 3.3.2 PASILLOS Y ZONAS DE PROTECCIÓN

#### 3.3.2.1 PASILLOS DE SERVICIO

Respecto a la anchura de los pasillos de servicio, en el apartado 6.1.1. de la ITC-RAT 14, se explica que dicha longitud deberá ser suficiente para permitir la fácil maniobra e inspección de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos en las operaciones de montaje o revisión de estos.

Esta anchura no será inferior a la que a continuación se indica según los casos:

- Pasillos de maniobra con elementos en tensión a un solo lado: 1,0 m.
- Pasillos de maniobra con elementos en tensión a ambos lados: 1,2 m.
- Pasillos de inspección con elementos en tensión a un solo lado: 0,8 m.
- Pasillos de inspección con elementos en tensión a ambos lados: 1,0 m.

En cualquier otro caso, la anchura de los pasillos de maniobra no será inferior a 1,0 m, y la de los pasillos de inspección a 0,8 m.



Los valores anteriores deberán ser totalmente libres, es decir, medidos entre las partes salientes que pudieran existir, tales como mandos de aparatos, barandillas, etc. El ancho libre del pasillo será al menos de 0,5 m cuando las partes móviles o las puertas abiertas de los equipos, interfieran en la ruta hacia la salida.

Respecto a la altura, y según el apartado 4.1.2 de la ITC-RAT 15, los elementos en tensión no protegidos que se encuentran sobre los pasillos, deberán estar a una altura mínima “H” sobre el suelo, medida en centímetros, igual a:

$$H = 250 + d$$

Siendo “d” la distancia expresada en centímetros de la tabla 1 y 2 de la ITC-RAT 12, dadas en función de la tensión soportada nominal a impulso tipo rayo adoptada para la instalación.

En nuestro caso, dichas distancias deberán ser igual a:

#### **Sistema de 220 kV**

$$H = 250 + d = 250 + 210 = 460 \text{ cm}$$

#### **Sistema de 30 kV**

$$H = 250 + d = 250 + 32 = 282 \text{ cm}$$

En las zonas donde se prevea el paso de aparatos o máquinas deberá mantenerse una distancia mínima entre los elementos en tensión y el punto más alto de aquellos no inferior a:

$$T = d + 10$$

Con un mínimo de 50 cm. Se señalizará la altura máxima permitida para el paso de aparatos o máquinas.

En nuestro caso, dichas distancias deberán ser igual a:

#### **Sistema de 220 kV**

$$T = d + 10 = 210 + 10 = 220 \text{ cm}$$

#### **Sistema de 30 kV**

$$T = d + 10 = 32 + 10 = 42 \text{ cm} \rightarrow 50 \text{ cm}$$

En cualquier caso, los pasillos de servicio estarán libres de todo obstáculo hasta una altura de 250 cm sobre el suelo.

En las zonas accesibles, la parte más baja de cualquier elemento aislante, por ejemplo, el borde superior de la base metálica de los aisladores estará situado a la altura mínima sobre el suelo de 230 cm. En

el caso en que dicha altura sea menor, será necesario establecer sistemas de protección, tal como se indica en el siguiente apartado.

### 3.3.3 ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ACCIDENTALES EN EL INTERIOR DEL RECINTO DE LA INSTALACIÓN

Según el apartado 4.2 de la ITC-RAT 15, los sistemas de protección que deban establecerse guardarán unas distancias mínimas medidas en horizontal a los elementos en tensión que se respetarán en toda zona comprendida entre el suelo y una altura de 200 cm que, según el sistema de protección elegido y expresadas en centímetros, serán:

- De los elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima:

$$B = d + 3$$

- De los elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima:

$$C = d + 10$$

- De los elementos en tensión a cierres de cualquier tipo (paredes macizas, enrejados, barreras, etc.) con una altura que en ningún caso podrá ser inferior a 100 cm:

$$E = d + 30$$

Con un mínimo de 125 cm.

- Para barreras no rígidas y enrejados los valores de las distancias de seguridad en el aire deben incrementarse para tener en cuenta cualquier posible desplazamiento de la barrera o enrejado.

En nuestro caso, dichas distancias deberán ser igual a:

#### **Sistema de 220 kV**

$$B = d + 3 = 63 + 3 = 66 \text{ cm}$$

$$C = d + 10 = 63 + 10 = 73 \text{ cm}$$

$$E = d + 30 = 63 + 30 = 93 \text{ cm} \rightarrow 125 \text{ cm}$$

#### **Sistema de 30 kV**

$$B = d + 3 = 32 + 3 = 35 \text{ cm}$$

$$C = d + 10 = 32 + 10 = 42 \text{ cm}$$

$$E = d + 30 = 32 + 30 = 62 \text{ cm} \rightarrow 125 \text{ cm}$$

A continuación, se refleja un croquis de la distancia a guardar en este aspecto, siendo “X” la altura del cierre y la “Y” la distancia calculada:

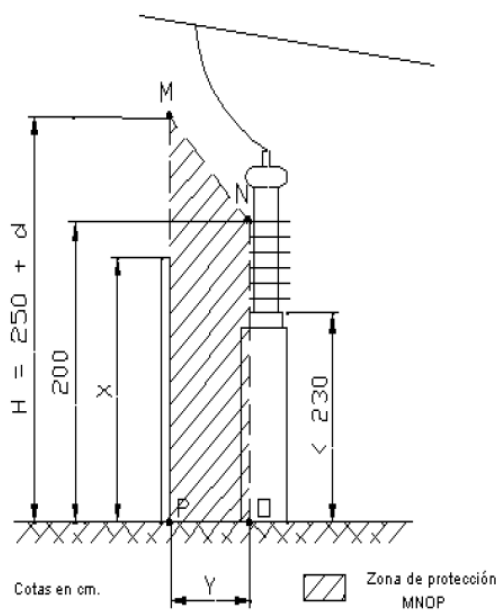


Fig. 1

Ilustración 1. Zonas de protección contra contactos accidentales desde el interior

### 3.3.4 ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ACCIDENTALES DESDE EL EXTERIOR DEL RECINTO DE LA INSTALACIÓN

Según el apartado 4.3 de la ITC-RAT 15, para evitar los contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación con los elementos en tensión, deberán existir entre estos y el cierre las distancias mínimas de seguridad, medidas en horizontal y en centímetros, que a continuación se indican:

- De los elementos en tensión al cierre cuando este es una pared maciza de altura  $k < 250 + d$  (cm):

$$F = d + 100$$

- De los elementos en tensión al cierre cuando este es una pared maciza de altura  $k \geq 250 + d$  (cm):

$$B = d + 3$$

- De los elementos en tensión al cierre cuando este es un enrejado de cualquier altura  $k \geq 220$  cm:

$$G = d + 150$$

Si la altura sobre el suelo a la parte más baja de cualquier elemento aislante, por ejemplo, el borde superior de la base metálica de los aisladores es inferior a 230 cm, no podrán establecerse pasillos de servicio, a no ser que se disponga de una protección situada entre los aparatos y el cierre exterior de la instalación, de modo que se cumpla simultáneamente lo indicado en el apartado 3.3.3.

En nuestro caso, dichas distancias deberán ser igual a:

### Sistema de 220 kV

$$F = d + 100 = 210 + 100 = 310 \text{ cm}$$

$$B = d + 3 = 210 + 3 = 213 \text{ cm}$$

$$G = d + 150 = 210 + 150 = 360 \text{ cm}$$

### Sistema de 30 kV

$$F = d + 100 = 32 + 100 = 132 \text{ cm}$$

$$B = d + 3 = 32 + 3 = 35 \text{ cm}$$

$$G = d + 150 = 32 + 150 = 182 \text{ cm}$$

Teniendo en cuenta estas distancias mínimas, las zonas de protección que deberán establecerse entre el cierre y los aparatos o elementos en tensión, se representan rayadas en las ilustraciones 2, 3, 4 y 5, a modo de ejemplo. En todas ellas:

- L es la altura mínima que deben tener los conductores sobre el suelo, de acuerdo con el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, y que se calculará en el apartado 3.3.6 del presente documento.
- X e Y según ilustración 1 y aclaraciones del apartado anterior.
- Z es la anchura de pasillo de acuerdo con el apartado 3.3.2 del presente documento.

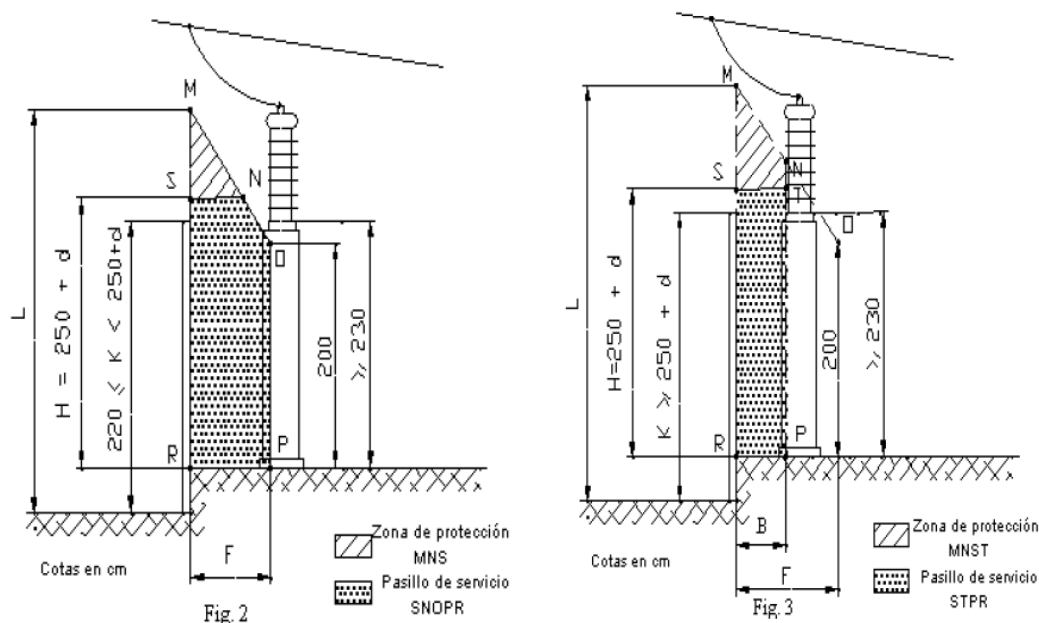


Ilustración 2

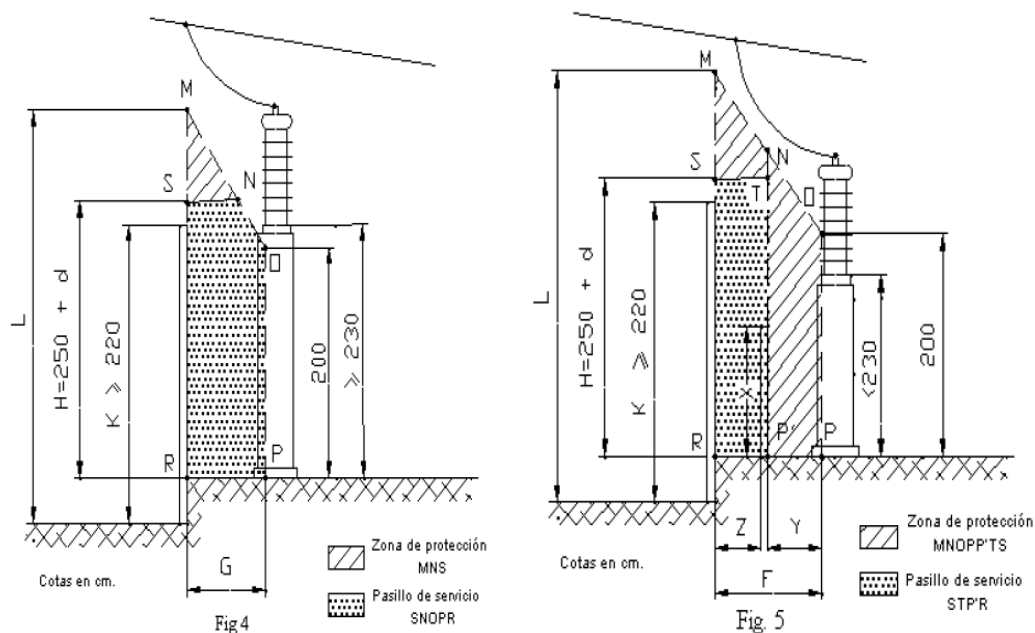


Ilustración 3

### 3.3.5 INSTALACIONES SOBRE APOYO O AL PIE DEL APOYO

Según el apartado 5 de la ITC-RAT 15, los apoyos podrán ser metálicos, de hormigón armado o combinaciones de estos materiales.

Se evitará el empleo de tirantes o vientos que dificulten las maniobras del personal de servicio.

Los apoyos deberán ser calculados teniendo en cuenta los pesos del equipo instalado, además de los prescritos por el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión.

La altura y disposición de los apoyos serán tales que las partes que se encuentren bajo tensión y no estén protegidas contra contactos accidentales se sitúen como mínimo a 5 metros de altura sobre el suelo.

La parte inferior de las masas del equipo (cuba de transformador, interruptor, condensadores, etc.) deberá estar situada respecto al suelo a una altura no inferior a 3 metros. En los casos en que no se cumplieren estas alturas será necesario establecer un cierre de protección de acuerdo con lo prescrito en el reglamento de aplicación.

### 3.3.6 PROXIMIDAD DE LÍNEAS AÉREAS

Según el apartado 6.5 de la ITC-RAT 15, las líneas aéreas de entrada o salida a una subestación de exterior no sobrevolarán el parque eléctrico, de forma que se garantice que en caso de rotura de un conductor de la línea no se alcanzan partes en tensión de la subestación.

Por motivos de seguridad no se permite la construcción de subestaciones de exterior bajo la franja del terreno definida por la servidumbre de vuelo de una línea aérea de alta tensión ajena a la subestación, incrementada a cada lado en la altura de los apoyos de la línea más 10 m. Por el mismo motivo, tampoco se permite la construcción de líneas eléctricas de alta tensión ajenas a la subestación, pero próximas a ella, si la franja de terreno definida anteriormente para la línea interfiere en el perímetro de la subestación.

En el caso de esta subestación, se cumplen ambas instrucciones, no existiendo ninguna línea aérea de entrada o salida que sobrevuele el parque ni el perímetro de la subestación interfiere con la servidumbre de las líneas ajenas a ella.

### 3.3.6.1 CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE LOS CONDUCTORES DE LÍNEA AL TERRENO

Según el apartado 5.5 de la Instrucción Técnica Complementaria 07 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, la altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha vertical según las hipótesis en el mismo reglamento, queden situados por encima de cualquier punto del terreno, senda, vereda o superficies de agua no navegables, a una altura mínima de:

$$D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el}$$

Con un mínimo de 6 metros. No obstante, en lugares de difícil acceso las anteriores distancias podrán ser reducidas en un metro.

Los valores de  $D_{el}$  se indican en la tabla siguiente, extraída del apartado 5.2 de la ITC-LAT 07, en función de la tensión más elevada de la línea:

Tensión más elevada de la red $U_s$ (kV)	$D_{el}$ (m)	$D_{pp}$ (m)
3,6	0,08	0,10
7,2	0,09	0,10
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,20
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,40
52	0,60	0,70
72,5	0,70	0,80
123	1,00	1,15
145	1,20	1,40
170	1,30	1,50
245	1,70	2,00
420	2,80	3,20

Tabla 4. Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas

En nuestro caso, dicha distancia es de:

**Sistema de 220 kV**

$$D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el} = 5,3 + 1,70 = 7,00 \text{ m}$$

**Sistema de 30 kV**

$$D_{add} + D_{el} = 5,3 + D_{el} = 5,3 + 0,35 = 5,65 \text{ m} \rightarrow 6,00 \text{ m}$$

### 3.4 CRITERIOS DE IMPLANTACIÓN

Se definen en este apartado las distancias a respetar en la Subestación Guadarrama 220/30 kV:

Distancia entre ejes de aparellaje.....4000 mm

Ancho de calle ..... 13500 mm

Altura de embarrados de conexión entre aparatos .....6000 mm

## 4 CÁLCULO DE CONDUCTORES

### 4.1 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES DESNUDOS

#### 4.1.1 PARQUE DE 220 KV

##### 4.1.1.1 POSICIÓN DE LÍNEA GUADARRAMA III

##### 4.1.1.1.1 Cable de aluminio homogéneo

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a las potencias nominales de los transformadores de la subestación Guadarrama III, que en este nivel de tensión será:

$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{350 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 919 \text{ A}$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material .....	Aluminio
Denominación del cable .....	Cowslip
Configuración.....	Símplex
Calibre .....	2000 AWG
Resistencia eléctrica en c.c. a 20 °C .....	0,0284 Ω/km
N.º de hilos .....	91 x 3,76 mm
Sección.....	1013 mm <sup>2</sup>
Diámetro total del cable.....	41,41 mm
Peso .....	2,79 kg/m
Carga de rotura .....	15489 kg

#### **Intensidad nominal admisible en el conductor (Cable de aluminio)**

La densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente en función de la sección nominal y el material elegido se halla en la Tabla 11 de la ITC-LAT 07: Líneas Aéreas con Conductores Desnudos.



En el caso del conductor elegido, aplicando los coeficientes reductores por la composición de este y extrapolando entre los valores encontrados en la mencionada tabla, se obtiene que la densidad de corriente admisible es de 1,41 A/mm<sup>2</sup>.

La intensidad admisible que podrá circular por los conductores según dicho método será el siguiente:

$$I_{admisible} = \delta \cdot S = 1,41 \cdot 1013 = 1428 \text{ A}$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admisible} > I_{nominal} \rightarrow 1428 \text{ A} > 919 \text{ A}$$

### **Intensidad de cortocircuito (Cable de aluminio)**

Los métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito en las redes trifásicas de corriente alternan se dan en la norma UNE-EN 60909 y los métodos de cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito son dados en la norma UNE-EN 60865-1. No obstante se abre la posibilidad de elección de otro método de cálculo.

En este caso se realizará según el indicado en la norma UNE 21192: Cálculo de las intensidades de cortocircuito térmicamente admisibles, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático.

La intensidad de cortocircuito admisible viene dada por la expresión:

$$I_{cc} = \varepsilon \cdot I_{AD}$$

Donde:

- $I$  es la intensidad de cortocircuito admisible;
- $I_{AD}$  es la intensidad de cortocircuito calculada en una hipótesis adiabática;
- $\varepsilon$  es el factor que tiene en cuenta la pérdida de calor en los componentes adyacentes, y que en régimen adiabático es igual a la unidad.

La fórmula que rige la intensidad de cortocircuito calculada en una hipótesis adiabática se presenta bajo la siguiente forma general:

$$I_{AD} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}$$

Donde:

- $t$  es la duración del cortocircuito en segundos;
- $K$  es la constante que depende del material del componente conductor de corriente, la cual podemos encontrar en la Tabla 1 de la norma citada anteriormente y que en el caso del aluminio vale 148 (A·√s)/mm<sup>2</sup>;
- $S$  es la sección geométrica del componente conductor de corriente en mm<sup>2</sup>
- $\theta_f$  es la temperatura final en K
- $\theta_i$  es la temperatura inicial en K

- $\beta$  es la inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura del componente conductor de corriente en °C, y que para el caso del aluminio vale 228 K.

En nuestro caso  $I_{AD}$  será igual a:

$$I_{AD} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}} = \frac{148 \cdot 1013}{\sqrt{0,5}} \cdot \sqrt{\ln \frac{250 + 228}{85 + 228}} = 138963 \text{ A}$$

En este caso, al ser conductores de cables desnudos y no encontrarse componentes adyacentes

$$\varepsilon = 1$$

Por lo tanto:

$$I_{cc} = I_{AD} = 138963 \text{ A}$$

Esta intensidad es mayor que la intensidad de cortocircuito de diseño de la instalación como se puede comprobar:

$$I_{cc} > I_{ccnominal} \rightarrow 138963 \text{ A} > 40000 \text{ A}$$

#### 4.1.1.1.2 Tubo de aluminio homogéneo

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a la potencia nominal del transformador, que en este nivel de tensión será:

$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{125 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 329 \text{ A}$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material.....	Aluminio
Aleación.....	6063-T6
Conductividad térmica.....	201 W/m·K
Resistividad eléctrica a 20 °C.....	0,0325 $\mu\Omega \cdot m$
Coeficiente de temperatura de resistencia eléctrica a 20 °C.....	0,0035 K <sup>-1</sup>
Resistencia a la tracción.....	215 N/mm <sup>2</sup>
Diámetro exterior/interior del conductor.....	63/47 mm
Sección nominal.....	1382 mm <sup>2</sup>
Peso propio.....	3,732 kg/m

Vano admisible ..... 10,40 m

### **Intensidad nominal admisible en el conductor (Tubo de aluminio)**

Las corrientes máximas admisibles de las barras de aluminio de sección circular hueca tanto pintadas como desnudas e interiores como exteriores vienen dadas por la norma DIN 43670.

Estos valores están calculados para una temperatura ambiente de 35°C y una temperatura final del embarrado de 80 °C.

La intensidad nominal, por tanto, para el conductor elegido de 63/47 mm, será la siguiente:

$$I_{admissible} = 1820 A$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admissible} > I_{nominal} \rightarrow 1820 A > 329 A$$

### **Intensidad de cortocircuito (Tubo de aluminio)**

No se realiza en este sentido ningún estudio, ya que se realizará posteriormente en el apartado 4.2 “Cálculo mecánico de embarrados rígidos”, conjuntamente con el cálculo mecánico de los mismos.

## **4.1.1.2 POSICIÓN DE LÍNEA BUENAVISTA**

### **4.1.1.2.1 Cable de aluminio homogéneo**

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a la suma de las potencias nominales de los transformadores de las subestaciones Guadarrama y Guadarrama III, que en este nivel de tensión será:

$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{455 MVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV} = 1195 A$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material .....Aluminio

Denominación del cable .....Cowslip

Configuración..... Símplex

Calibre ..... 2000 AWG

Resistencia eléctrica en c.c. a 20 °C ..... 0,0284 Ω/km

N.º de hilos ..... 91 x 3,76 mm

Sección.....	1013 mm <sup>2</sup>
Diámetro total del cable.....	41,41 mm
Peso .....	2,79 kg/m
Carga de rotura .....	15489 kg

**Intensidad nominal admisible en el conductor (Cable de aluminio)**

La densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente en función de la sección nominal y el material elegido se halla en la Tabla 11 de la ITC-LAT 07: Líneas Aéreas con Conductores Desnudos.

En el caso del conductor elegido, aplicando los coeficientes reductores por la composición de este y extrapolando entre los valores encontrados en la mencionada tabla, se obtiene que la densidad de corriente admisible es de 1,41 A/mm<sup>2</sup>.

La intensidad admisible que podrá circular por los conductores según dicho método será el siguiente:

$$I_{admisible} = \delta \cdot S = 1,41 \cdot 1013 = 1428 \text{ A}$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admisible} > I_{nominal} \rightarrow 1428 \text{ A} > 1195 \text{ A}$$

**Intensidad de cortocircuito (Cable de aluminio)**

Los métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito en las redes trifásicas de corriente alterna se dan en la norma UNE-EN 60909 y los métodos de cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito son dados en la norma UNE-EN 60865-1. No obstante se abre la posibilidad de elección de otro método de cálculo.

En este caso se realizará según el indicado en la norma UNE 21192: Cálculo de las intensidades de cortocircuito térmicamente admisibles, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático.

La intensidad de cortocircuito admisible viene dada por la expresión:

$$I_{cc} = \varepsilon \cdot I_{AD}$$

Donde:

- $I$  es la intensidad de cortocircuito admisible;
- $I_{AD}$  es la intensidad de cortocircuito calculada en una hipótesis adiabática;
- $\varepsilon$  es el factor que tiene en cuenta la pérdida de calor en los componentes adyacentes, y que en régimen adiabático es igual a la unidad.

La fórmula que rige la intensidad de cortocircuito calculada en una hipótesis adiabática se presenta bajo la siguiente forma general:

$$I_{AD} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}$$

Donde:

- $t$  es la duración del cortocircuito en segundos;
- $K$  es la constante que depende del material del componente conductor de corriente, la cual podemos encontrar en la Tabla 1 de la norma citada anteriormente y que en el caso del aluminio vale  $148 \text{ (A} \cdot \sqrt{\text{s}}\text{)}/\text{mm}^2$ ;
- $S$  es la sección geométrica del componente conductor de corriente en  $\text{mm}^2$
- $\theta_f$  es la temperatura final en K
- $\theta_i$  es la temperatura inicial en K
- $\beta$  es la inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura del componente conductor de corriente en  $^{\circ}\text{C}$ , y que para el caso del aluminio vale 228 K.

En nuestro caso  $I_{AD}$  será igual a:

$$I_{AD} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}} = \frac{148 \cdot 1013}{\sqrt{0,5}} \cdot \sqrt{\ln \frac{250 + 228}{85 + 228}} = 138963 \text{ A}$$

En este caso, al ser conductores de cables desnudos y no encontrarse componentes adyacentes

$$\varepsilon = 1$$

Por lo tanto:

$$I_{cc} = I_{AD} = 138963 \text{ A}$$

Esta intensidad es mayor que la intensidad de cortocircuito de diseño de la instalación como se puede comprobar:

$$I_{cc} > I_{ccnominal} \rightarrow 138963 \text{ A} > 40000 \text{ A}$$

#### 4.1.1.2.2 Tubo de aluminio homogéneo

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a la suma de las potencias nominales de los transformadores de Sagra II y Sagra I, que en este nivel de tensión será:

$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{250 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 657 \text{ A}$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material.....Aluminio

Aleación..... 6063-T6

Conductividad térmica .....	201 W/m·K
Resistividad eléctrica a 20 °C .....	0,0325 $\mu\Omega\cdot m$
Coeficiente de temperatura de resistencia eléctrica a 20 °C .....	0,0035 K <sup>-1</sup>
Resistencia a la tracción .....	215 N/mm <sup>2</sup>
Diámetro exterior/interior del conductor .....	63/47 mm
Sección nominal.....	1382 mm <sup>2</sup>
Peso propio .....	3,732 kg/m
Vano admisible .....	10,40 m

#### **Intensidad nominal admisible en el conductor (Tubo de aluminio)**

Las corrientes máximas admisibles de las barras de aluminio de sección circular hueca tanto pintadas como desnudas e interiores como exteriores vienen dadas por la norma DIN 43670.

Estos valores están calculados para una temperatura ambiente de 35°C y una temperatura final del embarrado de 80 °C.

La intensidad nominal, por tanto, para el conductor elegido de 63/47 mm, será la siguiente:

$$I_{admisible} = 1820 A$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admisible} > I_{nominal} \rightarrow 1820 A > 657 A$$

#### **Intensidad de cortocircuito (Tubo de aluminio)**

No se realiza en este sentido ningún estudio, ya que se realizará posteriormente en el apartado 4.2 “Cálculo mecánico de embarrados rígidos”, conjuntamente con el cálculo mecánico de los mismos.

### **4.1.1.3 POSICIÓN DE TRANSFORMACIÓN**

#### **4.1.1.3.1 Cable de aluminio homogéneo**

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a las potencias nominal del transformador, que en este nivel de tensión será:

$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{105 MVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV} = 276 A$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material .....	Aluminio
Denominación del cable .....	Cowslip
Configuración.....	Símplex
Calibre .....	2000 AWG
Resistencia eléctrica en c.c. a 20 °C .....	0,0284 Ω/km
N.º de hilos .....	91 x 3,76 mm
Sección.....	1013 mm <sup>2</sup>
Diámetro total del cable.....	41,41 mm
Peso .....	2,79 kg/m
Carga de rotura .....	15489 kg

#### **Intensidad nominal admisible en el conductor (Cable de aluminio)**

La densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente en función de la sección nominal y el material elegido se halla en la Tabla 11 de la ITC-LAT 07: Líneas Aéreas con Conductores Desnudos.

En el caso del conductor elegido, aplicando los coeficientes reductores por la composición de este y extrapolando entre los valores encontrados en la mencionada tabla, se obtiene que la densidad de corriente admisible es de 1,41 A/mm<sup>2</sup>.

La intensidad admisible que podrá circular por los conductores según dicho método será el siguiente:

$$I_{admissible} = \delta \cdot S = 1,41 \cdot 1013 = 1428 \text{ A}$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admissible} > I_{nominal} \rightarrow 1428 \text{ A} > 276 \text{ A}$$

#### **Intensidad de cortocircuito (Cable de aluminio)**

Los métodos de cálculo de las corrientes de cortocircuito en las redes trifásicas de corriente alterna se dan en la norma UNE-EN 60909 y los métodos de cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito son dados en la norma UNE-EN 60865-1. No obstante se abre la posibilidad de elección de otro método de cálculo.

En este caso se realizará según el indicado en la norma UNE 21192: Cálculo de las intensidades de cortocircuito térmicamente admisibles, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático.

La intensidad de cortocircuito admisible viene dada por la expresión:

$$I_{cc} = \varepsilon \cdot I_{AD}$$

Donde:

- $I$  es la intensidad de cortocircuito admisible;
- $I_{AD}$  es la intensidad de cortocircuito calculada en una hipótesis adiabática;
- $\varepsilon$  es el factor que tiene en cuenta la pérdida de calor en los componentes adyacentes, y que en régimen adiabático es igual a la unidad.

La fórmula que rige la intensidad de cortocircuito calculada en una hipótesis adiabática se presenta bajo la siguiente forma general:

$$I_{AD} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}$$

Donde:

- $t$  es la duración del cortocircuito en segundos;
- $K$  es la constante que depende del material del componente conductor de corriente, la cual podemos encontrar en la Tabla 1 de la norma citada anteriormente y que en el caso del aluminio vale  $148 \text{ (A} \cdot \sqrt{\text{s}} \text{) / mm}^2$ ;
- $S$  es la sección geométrica del componente conductor de corriente en  $\text{mm}^2$
- $\theta_f$  es la temperatura final en K
- $\theta_i$  es la temperatura inicial en K
- $\beta$  es la inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura del componente conductor de corriente en  $^{\circ}\text{C}$ , y que para el caso del aluminio vale 228 K.

En nuestro caso  $I_{AD}$  será igual a:

$$I_{AD} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}} = \frac{148 \cdot 1013}{\sqrt{0,5}} \cdot \sqrt{\ln \frac{250 + 228}{85 + 228}} = 138963 \text{ A}$$

En este caso, al ser conductores de cables desnudos y no encontrarse componentes adyacentes

$$\varepsilon = 1$$

Por lo tanto:

$$I_{cc} = I_{AD} = 138963 \text{ A}$$

Esta intensidad es mayor que la intensidad de cortocircuito de diseño de la instalación como se puede comprobar:

$$I_{cc} > I_{ccnominal} \rightarrow 138963 \text{ A} > 40000 \text{ A}$$

#### 4.1.1.3.2 Tubo de aluminio homogéneo

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a la potencia nominal del transformador, que en este nivel de tensión será:



$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{125 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 329 \text{ A}$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material .....	Aluminio
Aleación.....	6063-T6
Conductividad térmica .....	201 W/m·K
Resistividad eléctrica a 20 °C .....	0,0325 $\mu\Omega\cdot\text{m}$
Coeficiente de temperatura de resistencia eléctrica a 20 °C .....	0,0035 K <sup>-1</sup>
Resistencia a la tracción .....	215 N/mm <sup>2</sup>
Diámetro exterior/interior del conductor .....	63/47 mm
Sección nominal.....	1382 mm <sup>2</sup>
Peso propio .....	3,732 kg/m
Vano admisible .....	10,40 m

#### **Intensidad nominal admisible en el conductor (Tubo de aluminio)**

Las corrientes máximas admisibles de las barras de aluminio de sección circular hueca tanto pintadas como desnudas e interiores como exteriores vienen dadas por la norma DIN 43670.

Estos valores están calculados para una temperatura ambiente de 35°C y una temperatura final del embarrado de 80 °C.

La intensidad nominal, por tanto, para el conductor elegido de 63/47 mm, será la siguiente:

$$I_{admisible} = 1820 \text{ A}$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admisible} > I_{nominal} \rightarrow 1820 \text{ A} > 329 \text{ A}$$

#### **Intensidad de cortocircuito (Tubo de aluminio)**

No se realiza en este sentido ningún estudio, ya que se realizará posteriormente en el apartado 4.2 “Cálculo mecánico de embarrados rígidos”, conjuntamente con el cálculo mecánico de los mismos.

## 4.1.2 PARQUE DE 30 KV

### 4.1.2.1 POSICIÓN DE TRANSFORMADOR

#### 4.1.2.1.1 PLETINA DE COBRE

La intensidad máxima calculada que recorrerá los conductores será la correspondiente a la potencia nominal del transformador, que en este nivel de tensión será:

$$S_{nominal} = \sqrt{3} \cdot U_{nominal} \cdot I_{nominal} \rightarrow I_{nominal} = \frac{S_{nominal}}{\sqrt{3} \cdot U_{nominal}} = \frac{105 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV}} = 2021 \text{ A}$$

El conductor elegido deberá ser mayor que la intensidad anteriormente calculada. Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Tipo .....	Pletina
Material .....	Cobre
Pletinas por fase .....	1
Medidas .....	120x15 mm
Sección nominal .....	1800 mm <sup>2</sup>
Peso propio .....	16,2 kg/m
Intensidad admisible según fabricante .....	2550A

La intensidad nominal, por tanto, para el conductor elegido, será la siguiente:

$$I_{admisible} = 2550 \text{ A}$$

Se puede comprobar que dicho valor es superior al calculado:

$$I_{admisible} > I_{nominal} \rightarrow 2550 \text{ A} > 2421 \text{ A}$$

## 4.2 CAPACIDAD DE CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES AISLADOS

### 4.2.1 CELDA DE TRANSFORMADOR TRP1-1

Para hacer la conexión con la barra del parque de 30 kV tipo GIS se conectarán los correspondientes cables aislados, los cuales irán hasta el edificio auxiliar de celdas. La intensidad que circulará por la celda de transformación del módulo TRP1-1 de 30 kV, será la siguiente:

$$I = \frac{P_{mód}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{95 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV} \cdot 0,95} = 1925 \text{ A}$$

Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material .....Aluminio

Tensión nominal ..... 18/30 kV

Denominación del cable .....AL HEPRZ1 (AS)

Configuración..... Cuatro cables por fase

Resistencia eléctrica en c.a. a 105 °C y 50 Hz..... 0,0643  $\Omega$ /km

Sección.....630 mm<sup>2</sup>

Diámetro total del cable..... 45,3 mm

Peso ..... 3,6 kg/m

Carga de rotura mínima..... 850 N/cm<sup>2</sup>

Intensidad admisible según fabricante ..... 905 A

Para la elección del conductor deberemos tener en cuenta las características en las que se instalarán estos cables, debido a que supondrán un aumento o disminución en la capacidad admisible del mismo. Estas características son:

Tipo de instalación.....Instalación al aire

Configuración del cable .....Cable trifásico o ternas de cables unipolares

Temperatura ambiente.....45°C

Cables instalados al aire en canales o galerías..... Si

Separación entre cables .....Sin separación

Distancia a la pared.....Menor de 2 cm

Bandejas de cables .....Bandejas continuas

Número de bandejas de cables ..... 1

Número de cables o ternas de cables unipolares en el mismo canal..... 6

Exposición al sol .....No

En base a estos condicionantes, el factor de minoración de la intensidad admisible del conductor es el siguiente:

$$k = 0,57$$

La intensidad admisible de este conductor en la configuración elegida será de 905 A, que minorada con el coeficiente anterior será de:

$$I_{adm} = I \cdot k = 905 \cdot 0,57 = 515 \text{ A}$$

La intensidad admisible que circulará por cada conductor será la intensidad nominal entre el número de conductores por fase, de manera que:

$$I_{cond} = \frac{I}{n} = \frac{1925}{4} = 482 \text{ A}$$

Se demuestra que el conductor elegido es válido ya que:

$$I_{admisible} > I_{cond} \rightarrow 515 \text{ A} > 482 \text{ A}$$

#### 4.2.2 REACTANCIA DE PUESTA A TIERRA

La intensidad requerida para la interconexión entre la reactancia y el embarrado de salida del transformador de potencia que circulará por cada conductor será la siguiente:

$$I_{limite} = 500 \text{ A}$$

Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material.....	Aluminio
Tensión nominal .....	18/30 kV
Denominación del cable .....	AL HEPRZ1 (AS)
Configuración.....	Un cable por fase
Resistencia eléctrica en c.a. a 105 °C y 50 Hz.....	0,089 Ω/km
Sección.....	500 mm <sup>2</sup>
Diámetro total del cable.....	48,70 mm
Peso .....	2,876 kg/m
Carga de rotura .....	850 N/cm <sup>2</sup>
Intensidad admisible según fabricante .....	775 A

Para la elección del conductor deberemos tener en cuenta las características en las que se instalarán estos cables, debido a que supondrán un aumento o disminución en la capacidad admisible del mismo. Estas características son:

Tipo de instalación..... Instalación al aire  
Configuración del cable..... Cable trifásico o ternas de cables unipolares  
Temperatura ambiente..... 45°C  
Cables instalados al aire en canales o galerías..... Si  
Separación entre cables ..... Sin separación  
Distancia a la pared ..... Menor de 2 cm  
Bandejas de cables ..... Bandejas continuas  
Número de bandejas de cables ..... 1  
Número de cables o ternas de cables unipolares en el mismo canal ..... 1  
Exposición al sol ..... Si

En base a estos condicionantes, el factor de minoración de la intensidad admisible del conductor es el siguiente:

$$k = 0,75$$

La intensidad admisible de este conductor en la configuración elegida será de 775 A, que minorada con el coeficiente anterior será de:

$$I_{adm} = I \cdot k = 775 \cdot 0,75 = 578,93 \text{ A}$$

Se demuestra que el conductor elegido es válido, ya que:

$$I_{admisible} > I_{nominal} \rightarrow 578,93 \text{ A} > 500 \text{ A}$$

#### 4.2.3 CELDA DE BANCO DE CONDENSADORES

La intensidad requerida para la interconexión entre el banco de condensadores y su correspondiente celda de media tensión que circulará por cada conductor será la siguiente:

$$I = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{8 \text{ MVAR}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV} \cdot 1} = 154 \text{ A}$$

Por lo tanto, el conductor seleccionado que cumple con las condiciones para realizar las interconexiones dispone de las siguientes características:

Material .....	Aluminio
Denominación del cable .....	AL HEPRZ1 (AS)
Tensión nominal .....	18/30 kV
Configuración.....	Un cable por fase
Resistencia eléctrica en c.a. a 105 °C y 50 Hz.....	0,168 Ω/km
Sección.....	240 mm <sup>2</sup>
Diámetro total del cable.....	36 mm
Peso .....	1,600 kg/m
Carga de rotura .....	850 N/cm <sup>2</sup>
Intensidad admisible según fabricante .....	345 A

Para la elección del conductor deberemos tener en cuenta las características en las que se instalarán estos cables, debido a que supondrán un aumento o disminución en la capacidad admisible del mismo. Estas características son:

Tipo de instalación.....	Instalación enterrada
Configuración del cable .....	Cables en interior de tubos enterrados
Temperatura del terreno .....	45°C
Resistividad térmica del terreno.....	2 K·m/W
Profundidad de enterramiento.....	1,50 m
Número de ternos distintos en la zanja .....	N/A
Separación entre cables .....	0 m

En base a estos condicionantes, el factor de minoración de la intensidad admisible del conductor es el siguiente:

$$k = 0,785$$

La intensidad admisible de este conductor en la configuración elegida será de 345 A, que minorada con el coeficiente anterior será de:

$$I_{adm} = I \cdot k = 345 \cdot 0,785 = 270,83 \text{ A}$$

Se demuestra que el conductor elegido es válido, ya que: