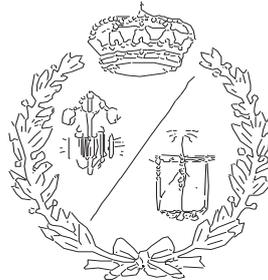


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Proyecto / Trabajo Fin de Carrera***

**SUBESTACIÓN DE INTEMPERIE  
220/66 kV  
(220/66 kV Outdoor Substation)**

Para acceder al Título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**Autor: Pablo Sanz Diez**

**Julio - 2012**



Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV





## **Documentos del Proyecto**

**Documento N°1: Memoria**

**Documento N°2: Planos**

**Documento N°3: Pliego de condiciones**

**Documento N°4: Presupuesto**



## Documento N°1: Memoria

- Memoria descriptiva
  
- Anejos a la memoria:
  - Anejo I: Cálculos justificativos.
  
  - Anejo II: Estudio de seguridad y salud.
  
  - Anejo III: Estudio de impacto ambiental.



## Memoria descriptiva

1. Antecedentes .....	1
2. Objeto del proyecto .....	1
3. Emplazamiento de la subestación .....	2
4. Normativa aplicada en el proyecto .....	3
5. Descripción general de la subestación .....	4
5.1. Hipótesis de partida.....	4
5.2. Características generales.....	5
5.3. Parque de 220 kV.....	6
5.3.1. Descripción.....	6
5.3.2. Magnitudes eléctricas .....	7
5.3.3. Distancias .....	9
5.3.4. Embarrados .....	12
5.3.5. Piezas de conexión .....	16
5.3.6. Características de la aparamenta.....	17
5.4. Parque de 66 kV.....	22
5.4.1. Descripción.....	22
5.4.2. Magnitudes eléctricas .....	23
5.4.3. Distancias .....	25
5.4.4. Embarrados .....	28
5.4.5. Piezas de conexión .....	32
5.4.6. Características de la aparamenta.....	33
5.5. Transformación .....	38
5.6. Red de tierras.....	40



5.6.1. Red de tierras inferiores .....	40
5.6.2. Red de tierras superiores .....	42
5.7. Sistemas de control y protección .....	43
6. Descripción de las instalaciones.....	45
6.1. El edificio .....	45
6.2. Telecontrol y comunicaciones .....	45
6.3. Equipos de medida.....	46
6.4. Servicios generales .....	46
6.4.1. Cuadro de corriente alterna y continua .....	46
6.4.2. Sistemas de mando y protección .....	46
6.4.3. Rectificador de batería .....	47
6.4.4. Transformador de servicios auxiliares .....	47
6.5. Instalación del alumbrado .....	47
6.6. Sistema de protección contra incendios e intrusos .....	48
6.7. Cerramientos y señalización .....	49
7. Obra civil.....	49
7.1. Movimiento de tierras .....	49
7.2. Cimentaciones.....	50
7.3. Arquetas y canalización para paso de cables .....	51
7.4. Sistema de recogida de aceite .....	52
8. Estructuras metálicas y soportes.....	52
9. Presupuesto.....	54
10. Conclusiones y estudios futuros .....	55
11. Bibliografía .....	57



<b>Anejo I: Cálculos Justificativos</b> .....	<b>58</b>
1. Objeto .....	59
2. Parque de 220 kV .....	59
2.1. Tensiones nominales normalizadas .....	59
2.2. Niveles de aislamiento .....	60
2.3. Distancias mínimas .....	61
2.3.1. Distancias fase-tierra y entre fases .....	61
2.3.2. Distancias en pasillos de servicio y zonas de protección.....	62
2.3.3. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales desde el interior del recinto de las instalación .....	63
2.3.4. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación.....	64
2.4. Cálculos eléctricos .....	65
2.4.1. Corrientes nominales.....	65
2.4.2. Corrientes de cortocircuito.....	65
2.5. Embarrados.....	66
2.5.1. Embarrados flexibles .....	66
2.5.2. Embarrados principales.....	67
2.5.3. Embarrados secundarios.....	69
2.6. Cálculos mecánicos .....	70
2.6.1. Cálculo mecánico del embarrado principal.....	70
2.6.2. Cálculo mecánico del embarrado secundario .....	84
2.7. Selección de autoválvulas.....	98
3. Parque de 66 kV .....	101



3.1. Tensiones nominales normalizadas .....	101
3.2. Niveles de aislamiento .....	102
3.3. Distancias mínimas .....	103
3.3.1. Distancias fase-tierra y entre fases .....	103
3.3.2. Distancias en pasillos de servicio y zonas de protección.....	103
3.3.3. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales desde el interior del recinto de las instalación ...	104
3.3.4. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación.....	106
3.4. Cálculos eléctricos .....	107
3.4.1. Corrientes nominales.....	107
3.4.2. Corrientes de cortocircuito.....	107
3.5. Embarrados.....	110
3.5.1. Embarrados flexibles .....	110
3.5.2. Embarrados principales.....	111
3.5.3. Embarrados secundarios.....	112
3.6. Cálculos mecánicos .....	114
3.6.1. Cálculo mecánico del embarrado principal.....	114
3.6.2. Cálculo mecánico del embarrado secundario .....	128
3.7. Selección de autoválvulas.....	142
4. Red de tierras .....	145
4.1. Criterios de cálculo.....	145
4.2. Red de tierras inferiores .....	146
4.2.1. Descripción.....	146
4.2.2. Conductor de la red de tierras inferiores .....	146



4.2.3. Resistencia de puesta a tierra .....	148
4.2.4. Cálculos eléctricos. Tensiones de paso y contacto .....	148
4.3. Red de tierras superiores .....	154
<b>Anejo II: Estudio de seguridad y salud.....</b>	<b>157</b>
1. Objeto .....	158
2. Normas legales, reglamentos y leyes aplicables de seguridad .....	159
3. Actividades .....	160
4. Equipos de trabajo .....	160
4.1. Maquinaria a utilizar .....	161
4.2. Elementos a utilizar .....	161
5. Riesgos laborales y medidas preventivas .....	161
5.1. Actividades .....	162
5.1.1. Implantación de la obra .....	162
5.1.2. Acopio del material, almacenamiento y expedición.....	162
5.1.3. Movimiento de tierras .....	163
5.1.4. Obra civil.....	165
5.1.5. Montaje del parque .....	166
5.1.6. Tendido de claves y montaje de equipos .....	169
5.1.7. Puesta en servicio de la instalación .....	170
5.2. Utilización de la maquinaria .....	171
5.2.1. Actuación del maquinista.....	171
5.2.2. Condiciones que deben reunir las máquinas de obra .....	172
5.2.3. Almacenamiento de combustible.....	172



5.3. Servicios Sanitarios.....	173
5.3.1. Primeros auxilios .....	173
5.3.2. Medicina preventiva.....	173
5.3.3. Evacuación de accidentados.....	173
5.4. Servicios comunes .....	174
5.5. Seguridad e higiene en el trabajo.....	174
5.6. Formación .....	174
<b>Anejo III: Estudio de Impacto Ambienta.....</b>	<b>176</b>
1. Localización y Objeto.....	177
2. Características y descripción de la zona .....	177
2.1. Características de la zona.....	177
2.2. Valoración ambiental.....	179
3. Alteraciones generadas por el proyecto .....	181
3.1. Fase de construcción .....	181
3.2. Fase de explotación .....	182
4. Consideración de impactos ambientales .....	182
4.1. Recursos naturales que emplea o consume .....	182
4.2. Hábitats y elementos naturales singulares.....	182
4.3. Impacto sobre la fauna y la vegetación.....	183
4.4. Equilibrios ecológicos.....	183
4.5. El paisaje.....	183
5. Valoración de los impactos.....	184
6. Medidas correctoras .....	187



6.1. Protección de la fauna.....	187
6.2. Protección del paisaje .....	187
7. Conclusiones .....	187



## Índice de tablas:

<i>Tabla 1: Magnitudes eléctricas del parque de 220 kV .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2: Distancias fase-tierra entre conductores parque 220 kV .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3: Distancias fase-fase entre conductores en el parque 220 kV .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 4: distancias de seguridad en pasillos de maniobra e inspección en el parque de 220 kV .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 5: Distancias en zonas de protección en el interior de la subestación .....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 6: Distancias en zonas de protección desde el exterior de la subestación ....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 7: Magnitudes eléctricas del parque de 66 kV .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 8: Distancias fase tierra entre conductores parque de 66 kV.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 9: Distancias fase tierra entre conductores parque de 66 kV.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 10: Distancias de seguridad en pasillos de maniobra e inspección en el parque de 66 kV .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 11: Distancia en zonas de protección interior de la subestación .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 12: Distancia en zonas de protección desde el exterior de la subestación....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 13: Tensiones normalizadas del parque de 220 kV .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 14: Niveles de aislamiento del parque de 220 kV .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 15: Niveles de tensión, características de autoválvulas parque 220 kV .....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 16: Tensiones normalizadas del parque de 66 kV .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 17: Niveles de aislamiento del parque de 66 kV .....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 18: Niveles de tensión, características de autoválvulas parque 66 kV .....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 19: Matriz de impacto ambiental .....</i>	<i>186</i>



## Documento N°2: Planos

1. Diagrama unifilar de la subestación.....	1
2. Vista en planta de la subestación .....	2
3. Red de tierras de la subestación .....	3
4. Secciones A-A'; B-B' .....	4



## Documento N°3: Pliego de condiciones

1. Objeto .....	1
2. Disposiciones generales .....	1
2.1. Seguridad en el trabajo .....	1
2.2. Gestión ambiental .....	1
2.3. Códigos y normas .....	2
2.4. Condiciones para la ejecución por contrata .....	2
3. Condiciones de los materiales de la obra civil.....	4
3.1. Hormigones .....	4
3.2. Áridos para morteros y hormigones .....	5
3.3. Morteros .....	5
3.4. Cementos .....	6
3.5. Agua .....	7
3.6. Armaduras .....	7
3.7. Piezas de hormigón armado o pretensado .....	8
3.8. Materiales siderúrgicos .....	8
3.9. Laminados de acero y para estructuras .....	8
4. Condiciones generales para la ejecución de las obras .....	8
4.1. Movimiento de tierras .....	8
4.2. Hormigones .....	10
4.3. Pavimentos de hormigón.....	11
4.4. Armaduras .....	11
4.5. Laminados .....	12
4.6. Encofrados .....	12



4.7. Piezas prefabricadas de hormigón.....	12
4.8. Estructura metálica.....	12
4.9. Embarrados y conexiones.....	13
4.10. Aparamenta.....	13
4.11. Transformadores de potencia y reactancias .....	14
4.12. Batería de condensadores .....	15
4.13. Cables de potencia.....	16
4.14. Puesta a tierra .....	16
5. Plan de control de calidad .....	16
6. Recepción y puesta en marcha de las obras.....	21
7. Resumen de las características de los equipos a instalar .....	24



## Documento N°4: Presupuesto

1. Presupuesto desglosado .....	1
1.1. Obra civil .....	1
1.2. Suministro de equipos estratégicos .....	8
1.3. Suministro de equipos principales.....	8
1.4. Suministro de conductores y piezas.....	9
1.5. Suministro de estructuras.....	10
1.6. Sistema de red de tierras .....	12
1.7. Pruebas de puesta en marcha .....	13
1.8. Montaje electromecánico .....	14
1.9. Seguridad e higiene .....	14
2. Presupuesto de ejecución material.....	15
3. Presupuesto de ejecución por contrata .....	16



Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV





Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV



# Documento N°1: Memoria



## 1. Antecedentes

Ante la necesidad de mejorar el transporte de energía en España, interconexionando entre sistemas de transporte y distribución de la red eléctrica e intentando siempre hacerlo de la manera más eficiente y segura, se ha proyectado la construcción de una futura subestación de intemperie formada por dos parques, uno de 220 kV de interruptor y medio y otro de 66kV de doble barra. Ambas configuraciones están diseñadas para asegurar la continuidad de suministro en caso de fallo de alguna de las barras.

Dicha subestación tiene como finalidad la de posibilitar la conexión de una red de 220 kV propiedad de red eléctrica española, a una red de líneas de 66 kV, cuyo uso está destinado a la distribución de energía.

## 2. Objeto del proyecto

Teniendo en cuenta aspecto técnicos, económicos y de medio ambiente, se requiere diseñar una subestación reductora con dos niveles de tensión, 220 kV y 66 kV, capaz de transformar una potencia total de 240 MVA. Dicha subestación será alimentada por dos puntos mediante dos entradas de línea de 220 kV, cuyos datos técnicos se especifican posteriormente.

Para la salida de la subestación se tienen previstas 5 salidas de línea de 66 kV, 3 de ellas en salida aérea y 2 en salida subterránea.

El sistema de 220 kV adoptará una configuración en interruptor y medio, en el que inicialmente se equiparán dos calles completas con sus debidas posiciones, con la posibilidad de aumentar el número de calles en un futuro. Además, para dicho parque, se utilizará aparamenta de intemperie híbrida.

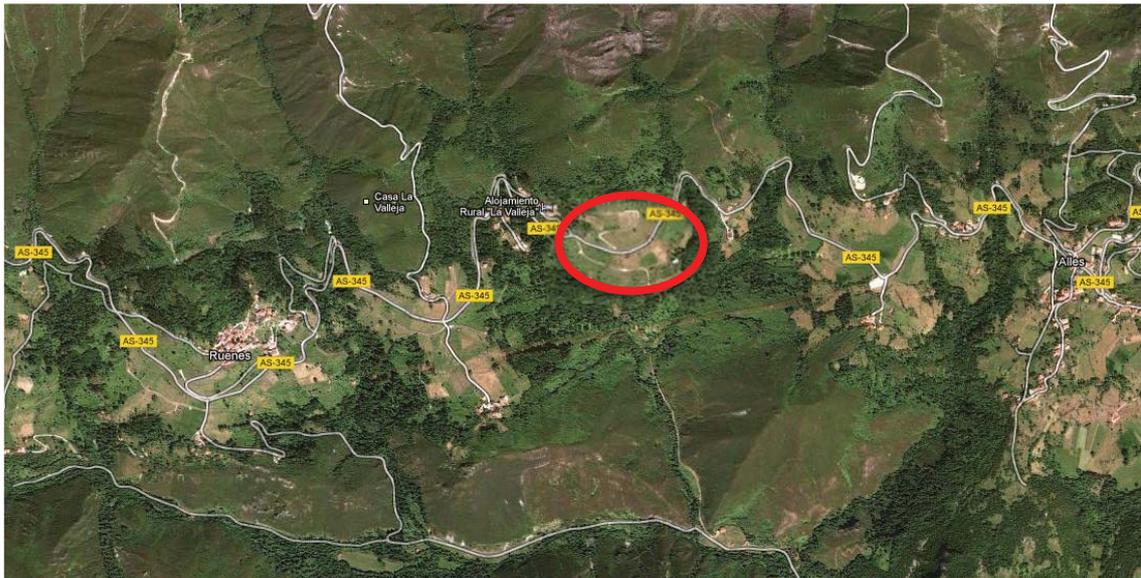
El sistema de 66 kV adoptará una configuración de doble barra, en el que se equiparán dos calles completas con sus posiciones. Para este parque también será utilizada aparamenta de intemperie híbrida.



### 3. Emplazamiento de la subestación

La subestación proyectada está prevista para su construcción en Asturias, concretamente entre las localidades de Ruenes y Alles.

Se trata de una parcela de terreno cercana a la carretera nacional AS-345 y tiene el tamaño suficiente para albergar la subestación proyectada.



Las características del lugar de emplazamiento son las siguientes:

- Altura sobre el nivel del mar: 232m
- Tipo de zona: A (según R.L.A.T.)
- Temperaturas extremas: -15°C/+50°C
- Contaminación ambiental: Media
- Nivel de niebla: Bajo-Medio
- Coeficiente sísmico básico: <0,04 g

Se construirá en una parcela ocupando 12.600m<sup>2</sup>, superficie necesaria para su construcción. Las dimensiones de dicha parcela serán 105 x 120 metros.



#### 4. Normativa aplicada en el proyecto

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación O.M. de 18 de Octubre de 1994, e instrucciones técnicas complementarias ITC MIE – RAT.
- En especial las ITC del “Reglamento sobre Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación”:
  - ITC-MIE-RAT-04 : tensiones nominales.
  - ITC-MIE-RAT-09: protecciones.
  - ITC-MIE-RAT-12: aislamiento.
  - ITC-MIE-RAT-13: instalación de puesta a tierra.
  - ITC-MIE-RAT-15: instalaciones eléctricas de exterior.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión y disposiciones complementarias (Instrucciones MIBT, Ministerio de Industria).
- Normativa Europea EN.
- Normativa CEI.
- Normativa UNE.
- Reglamento de líneas eléctricas aéreas de alta tensión.



## 5. Descripción general de la subestación

### 5.1. Hipótesis de partida

La subestación proyectada está diseñada para ser construida en una zona de Asturias, en la que se cumplen con las siguientes características:

- Altura sobre el nivel del mar: <500m
- Tipo de zona: A (según R.L.A.T.)
- Temperaturas extremas: -15°C/+50°C
- Contaminación ambiental: Media
- Nivel de niebla: Bajo-Medio
- Coeficiente sísmico básico: <0,04 g

Para el diseño de la subestación, se han tomado como parámetros de partida las características solicitadas por la propiedad peticionaria del proyecto.

Se requiere una subestación reductora, con dos niveles de tensión, 220 kV y 66 kV, capaz de transformar una potencia total de 240 MVA.

Se requieren dos entradas de línea que llegan al parque de 220 kV en forma simétrica. Estas se tratan de líneas constituidas con conductor LA-455 cuya corriente máxima admisible tiene el valor de 803 A.

Se requieren cinco salidas de línea del parque de 66 kV. Tres de ellas deberán de ser aéreas y dos subterráneas con canalización hasta el exterior de la subestación. Estas cinco líneas, se tratan de líneas con conductor LA-380 cuya corriente máxima admisible tiene el valor de 431 A.



Además, la empresa propietaria de las líneas, ha proporcionado la corriente de cortocircuito en el punto de unión con las subestación, teniendo esta un valor de 15,3 kA.

En cuanto a la parcela de la que se dispone para la construcción de la subestación, se trata de un terreno llano, con poca vegetación y con unas dimensiones de unos 14.000 m<sup>2</sup>.

En cuanto a las condiciones del terreno, se ha considerado una resistividad del terreno de 100  $\Omega$ m, habiéndose extraído este valor de la instrucción técnica complementaria ITC-MIE-RAT-13.

Como resumen, destacar que se han considerado como factores de diseño:

- Potencia a transformar.
- Niveles de tensión.
- Función y situación en la red de la subestación.
- Tipo de subestación.
- Fiabilidad, continuidad y seguridad del servicio.
- Evolución futura y posibilidad de ampliación en caso de necesidad.
- Aspectos relativos a la explotación y al mantenimiento.
- Inversión.

## **5.2. Características generales**

La subestación proyectada estará destinada a la interconexión de una red de transporte de 220 kV con una red de distribución de 66 kV.



Para cumplir con este cometido, se ha diseñado una subestación reductora que consta de dos parques de subestación y transformación.

El parque que conecta con las líneas de entrada de 220 kV, tiene por tensión nominal la misma que las propias líneas de entrada y está interconectada al parque de 66 kV mediante dos transformadores trifásicos de potencia de 120 MVA cada uno de ellos.

Ambos parques contarán con la moderna tecnología híbrida compacta aislada en SF<sub>6</sub>. Dicha tecnología reúne en una misma apartamentación los seccionadores de barras, línea y tierra, el interruptor y el transformador de intensidad necesarios para el correcto funcionamiento y maniobras de la subestación.

### **5.3. Parque de 220 kV**

#### **5.3.1. Descripción**

El parque de 220 kV de la subestación, está destinado a ser conectado a la red de transporte de 220 kV e interconexionar esta con una red de distribución de 66 kV a través de dos transformadores trifásicos de potencia de 120 MVA.

La configuración adoptada para este parque, es la de interruptor y medio. Con esta configuración se asegura el suministro constante de energía incluso en el caso de tener que hacer operaciones de maniobra o mantenimiento en algún embarrado o apartamentación.

El parque de 220 kV consta de:

- 2 entradas de línea de 220 kV cada una.
- 2 Embarrados principales. Cada uno de ellos con una posición de línea y otra de transformación.



- Embarrados secundarios, de interconexión con la aparamenta del parque.
- 6 equipos híbridos compactos con aislamiento en SF<sub>6</sub>.
- 12 transformadores de tensión capacitivos, para protección y control de la entra de las líneas a la subestación.
- 18 aisladores de soporte que fijan los embarrados principales y secundarios.
- 12 autoválvulas pararrayos para la protección de la aparamenta.
- 4 pórticos par dar funcionalidad a la entrada y salida de líneas.

La superficie ocupada por el parque de 220kV es de 4.248 m<sup>2</sup>. Además, se ha provisto al parque de un vial en todo su perímetro, para permitir operaciones de maniobra y mantenimiento de la subestación.

### **5.3.2. Magnitudes eléctricas**

A efectos de cálculo y diseño del parque, se han tenido en cuenta varias magnitudes eléctricas principales.

La primera de ellas es la tensión nominal. Esta viene impuesta por la tensión de las líneas de transporte que alimentan la subestación, de 220 kV cada una.

Otro parámetro importante es la corriente máxima que va a circular por la subestación y que está fijada por la potencia máxima que puede transportar un circuito de la subestación en caso de fallo del otro circuito. Este valor es de 629,83 A en el caso de los embarrados principales y 310,41 en los embarrados secundarios.

A efectos de cálculo de los esfuerzos térmicos y dinámicos, y de la red de tierra de la subestación, se considerará como corriente de



cortocircuito una de 40 kA y un tiempo de extinción de la falta de 0,5 segundos. Las corrientes de cortocircuito proporcionadas por la empresa explotadora de la red eléctrica de 220 kV son de 15,3 kA en el los puntos de entrada a la subestación. A pesar de estas corrientes de cortocircuito, según normativa CEI, se utiliza para el diseño de la subestación como corriente de cortocircuito de diseño una de 40 kA para el parque de 220 kV. Toda la aparamenta utilizada en ambos parques, está previamente diseñada por defecto para soportar estas corrientes de cortocircuito establecidas por la normativa.

De la tensión nominal del parque se deducen, de la ITC-MIE-RAT-04 y ITC-MIE-RAT-12, la tensión más elevada para el material, que tendrá el valor de 245 kV, la tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo, con un valor de 1050 kV, y la tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial, que valdrá 460 kV.

Además, en función de dichas tensiones, se establece el grupo de nivel de aislamiento del parque, correspondiendo, según ITC-MIE-RAT 12, al grupo B, por estar su nivel de tensión entre 52 kV y 300 kV

Como resumen, en la tabla 1 se muestran todas estas magnitudes eléctricas descritas.



Tensión nominal	220 kV
Tensión más elevada del material	245 kV
Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo.	1050 kV
Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial	460 kV
Intensidad nominal	629,83 A
Corriente de cortocircuito de diseño y tiempo de extinción.	40 kA, 0,5 segundos
Grupo de aislamiento	B

*Tabla 1: Magnitudes eléctricas del parque de 220 kV.*

La justificación de las magnitudes eléctricas, está descrita en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.

### **5.3.3. Distancias**

La determinación de las distancias es uno de los aspectos de diseño más importantes y determinará las dimensiones de la subestación.

Como criterios para establecer las distancias mínimas que se deben cumplir, se ha utilizado ITC-MIE-RAT-12, donde se indican las distancias mínimas que deben establecerse en función de las tensiones del parque.

A continuación, se indican las distancias mínimas que se deben establecer y las que se han establecido, para que quede constancia de que todas ellas cumplen con la normativa.



### Distancia entre conductores

<b>Distancias fase-tierra</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Conductor estructura	190 cm	320 cm
Punta estructura	240 cm	320 cm

*Tabla 2: Distancias fase-tierra entre conductores.*

<b>Distancias fase-fase</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Conductor estructura	270 cm	400 cm
Punta estructura	320 cm	400 cm

*Tabla 3: Distancias fase-fase entre conductores*

### Distancia en pasillos de servicio y zonas de protección.

<b>Pasillos</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Pasillos de maniobra con elementos en tensión a un solo lado	100 cm	120 cm
Pasillos de maniobra con elementos en tensión a ambos lados	120 cm	150 cm
Pasillos de inspección con elementos en tensión a un solo lado	80 cm	120 cm
Pasillos de inspección con elementos en tensión a ambos lados	100 cm	150 cm
Altura de elementos en tensión sobre pasillos	570 cm	750 cm

*Tabla 4: Distancias de seguridad en pasillos de maniobra e inspección.*



Distancia en zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación.

<b>Distancia a zonas de protección interiores</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
De elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima	323 cm	12700 cm
De elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima	330 cm	10300 cm
De elementos en tensión a cierres de cualquier tipo	350 cm	10300 cm

*Tabla 5: Distancias en zonas de protección en el interior de la subestación.*

Distancia en zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación.

<b>Distancias a zonas de protección exteriores</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Distancia horizontal entre elementos en tensión t el cierre del recinto.	470 cm	10300 cm

*Tabla 6: Distancias en zonas de protección desde el exterior de la subestación.*



Como se puede comprobar, todas las distancias que se han establecido en el parque de 220 kV de la subestación, son superiores a las distancias mínimas exigidas por la normativa.

La justificación de las distancias mínimas exigidas, está descrita en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.

### **5.3.4. Embarrados**

#### **Embarrados flexibles**

Los embarrados flexibles son los utilizados para la unión de embarrados rígidos y aparamenta, y la unión de entradas y salidas de línea con la subestación.

En el caso del parque de 220 kV, los embarrados flexibles estarán formados por cables de aluminio con alma de acero, con la siguiente configuración y características:

- Formación.....Duplex
- Tipo.....Lapwing
- Sección total del conductor.....861,33 mm<sup>2</sup>
- Diámetro exterior.....38,16 mm
- Intensidad máxima admisible.....2205 A

El amarre de conexión de los embarrados flexibles a los pórticos se realizará mediante cadenas de aisladores. Dichos aisladores serán en forma de disco y su designación es U 40 BS; sus características principales son:

- Tipo ..... Normal
- Diámetro..... 175 mm
- Paso ..... 100 mm
- Línea de fuga ..... 185 mm



- Tensión soportada nominal .....220 kV

El número de aisladores necesarios para la unión de los embarrados flexibles, con los pórticos, será de 16 aisladores.

La justificación de los embarrados flexibles seleccionados y del número de aisladores necesario, está descrita en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.

### **Embarrados principales**

Los embarrados principales de la subestación se utilizarán para conectar las entradas de línea, con las posiciones de transformación de la subestación.

Según normativa, dichos tubos no pueden ser soldados en ningún punto o tramo, por lo que deben ser suministrados en tiradas continuas, y en tramos cortados y curvados en fábrica, pudiéndose proceder a pie de obra sólo a su limpieza y montaje posterior.

Los embarrados principales del parque de 220 kV, estarán conformados con tubos de aluminio cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....150 mm
- Diámetro interior .....134 mm
- Sección total del conductor.....3569 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....9,63 kg/m
- Momento de inercia.....902 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....120 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....70.000 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>



- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....215 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....4408 A

Estos tubos tendrán un diámetro externo de 150 mm y un diámetro interno de 134 mm. La longitud de los embarrados será de 18 m, la distancia entre apoyos será de 8 metros y la distancia entre los tubos, como ya se ha indicado en el apartado 5.3.3. *Distancias*, será de 4 metros.

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de estos tubos como parte de los embarrados principales.

Los embarrados principales hasta ahora descritos, estarán colocados sobre aisladores de soporte del tipo C10-1050. Dichos aisladores tendrán una altura de 7 metros, altura a la cual están instalados los tubos de los embarrados.

Las características de los aisladores de soporte de los embarrados principales son las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....10000 N
- Carga de rotura a torsión.....5000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....170 mm
- Diámetro del aislador.....350 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de aisladores de soporte como parte de los embarrados principales.



### **Embarrados secundarios**

Los embarrados secundarios del parque de 220 kV se utilizarán para conexas la aparamenta y los embarrados principales.

Los embarrados secundarios del parque, estarán conformados con tubos de aluminio cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....100 mm
- Diámetro interior .....88 mm
- Sección total del conductor.....1772 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....4,78 kg/m
- Momento de inercia.....196 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....100 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....70.000 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>
- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....215 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....2320 A

Estos tubos tendrán un diámetro externo de 100 mm y un diámetro interno de 88 mm. La longitud de los embarrados será de 9,5 m, la distancia entre apoyos será de 9,5 metros y la distancia entre los tubos, como ya se ha indicado en el apartado 5.3.3. Distancias, será de 4 metros.

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de estos tubos como parte de los embarrados secundarios.

Los embarrados secundarios hasta ahora descritos, estarán colocados sobre aisladores de soporte del tipo C6-1050. Dichos



aisladores tendrán una altura de 6,1 metros, altura a la cual están instalados los tubos de los embarrados.

Las características de los aisladores de soporte de los embarrados secundarios son las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....6000 N
- Carga de rotura a torsión.....3000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....140 mm
- Diámetro del aislador.....254 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de aisladores de soporte como parte de los embarrados secundarios.

### **5.3.5. Piezas de conexión**

Para absorber las variaciones longitudinales que se producen en los embarrados, tanto primarios como secundarios, debido a los efectos de las variaciones de temperaturas, se instalarán unas piezas de conexión elásticas que permiten la dilatación de los conductores sin producir esfuerzos perjudiciales sobre las bornas de conexión.

El cálculo de las dilataciones sufridas por los embarrados antes la temperatura, está justificado en el *Anejo I: Cálculos justificativos*.

Las uniones entre las bornas de la aparamenta y los conductores se realizarán mediante piezas de aleación de aluminio, diseñadas para soportar las intensidades permanentes y de cortocircuito previstas.



### **5.3.6. Características de la aparamenta**

#### **Módulos híbridos PASS M0S 252 kV**

Los módulos híbridos, con tecnología PASS, son módulos compactos de intemperie, con aislamiento en SF<sub>6</sub>, que agrupan en un único elemento el interruptor, seccionador de barras, seccionador de líneas y su puesta a tierra, y transformador de intensidad. El aislamiento en SF<sub>6</sub> evita al creación de posibles arcos eléctricos.

Cada unas de las funciones de estos elementos son las siguientes:

- Interruptor: establecer, mantener e interrumpir la intensidad de la corriente de servicio, o interrumpir automáticamente intensidades elevadas que puedan dañar la subestación, tales como corrientes de cortocircuito.
- Transformador de intensidad: las funciones del transformador de intensidad son las siguientes:
  - Convertir la intensidad de línea en una más reducida y normalizada para la alimentación de los instrumentos de medida y relés.
  - Proteger la línea cuando ocurra alguna falta, evitando la alta intensidad existente al equipo de protección.
  - Proteger al personal de la subestación, de modo que la intensidad que llegue a los paneles de control sea lo bastante reducida como para no ser peligrosa su manipulación.
- Seccionadores barras: su función es la de separar físicamente y de forma apreciable a la vista del operario la unión entre las barras principales y las barras secundarias. Estos tienen la



capacidad de abrirse y cerrarse siempre que la corriente que pasa por ellos sea nula o despreciable.

- Seccionador de línea: la función es la misma que la de los seccionadores de barras, pero separando físicamente la calle de la subestación de la entrada de línea.

Gracias a la utilización de estos módulos compactos, se reducen notablemente las dimensiones de la subestación, ya que al reunir en un único módulo, toda la aparamenta dicha, se eliminan muchas distancias de seguridad, y se consigue hacer las mismas maniobras en un espacio mucho menor.

El volumen de estos módulos es equivalente al de un interruptor convencional de la misma clase. Además está aislado en SF<sub>6</sub>, lo cual garantiza fiabilidad y durabilidad independientemente de las condiciones externas.

El módulo utilizado en el parque de 220 kV es el PASS M0S 252 kV de ABB.

Este en concreto, está compuesto por un seccionador de barras, un seccionador de línea y su correspondiente puesta a tierra, un interruptor y un transformador de tensión, por fase.

Las características del módulo híbrido PASS M0S 252 kV, son las siguientes:

- Tensión nominal de red .....220 kV
- Tensión más elevada .....252 kV
- Frecuencia.....50 Hz
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo.....1050 kV
- Tensión soportada nominal a frecuencia industrial.....460 kV
- Corriente máxima admisible.....4000 A
- Corriente de cortocircuito soportada.....50 kA



- Tiempo máximo soportado hasta despeje de falta.....3 s

Las características asignadas a los interruptores automáticos son las siguientes: :

- Fluido para el aislamiento .....SF<sub>6</sub>
- Tiempo de apertura ..... < 50 ms
- Tiempo de cierre..... < 150 ms
- Tensión auxiliar alimentación motor.....325 V
- Tensión auxiliar bobinas de apertura.....325 V
- Tensión auxiliar bobinas de cierre.....325 V

Las características asignadas a los transformadores de intensidad son las siguientes: :

- Tipo .....Toroidal
- Relación de transformación .....1200/15 A
- Potencia de los arrollamientos:
  - o Secundario 1 : 115 VA
  - o Secundario 2: 125 VA
  - o Secundario 3: 135 VA
  - o Secundario 4: 135 VA

Las características asignadas a los seccionadores son las siguientes:

- Accionamiento cuchillas principales .....Motorizado
- Poder de cierre del seccionador de puesta a tierra .....80 kA
- Tensión auxiliar alimentación motor y accionamiento.....325 V

Los módulos híbridos compactos son modulables y pueden ser intercambiados los seccionadores de línea y barras, para conseguir la disposición adecuada. El en caso de los módulos acoplados a las barras secundarias del parque de 220 kV, serán instalados a ambos



lados del PASS M0S, módulos de seccionamiento de línea con el correspondiente transformador de intensidad toroidal.

Las características geométricas y las dimensiones, están especificadas en el *Documento N°2: Planos*

### **Transformadores de tensión capacitivos**

Los transformadores de tensión capacitivos instalados en el parque de 220 kV, tienen las siguientes funciones:

- Convertir la tensión de línea o barra, en otra más reducida y normalizada para la alimentación de los instrumentos de medida y e protección.
- Proteger la línea o barra cuando ocurra alguna falta, enviando las altas tensiones existentes al equipo de protección.
- Proteger al personal, de modo que la tensión que llegue a los paneles de control sea lo suficientemente reducida como para no ser peligrosas las maniobras de manipulación y colocación.
- Permitir la transmisión de señales de alta frecuencia a través de las líneas.
- Servir como instrumento de medida fiscal, para la tarificación de la energía distribuida.

Los transformadores utilizados en el parque de 220 kV, son del modelo DFK-245 de la empresa ARTECHE. El número total de estos transformadores instalados en el parque es de 12. Se colocan un juego de tres transformadores en cada entrada de línea a la



subestación y en la entrada de los transformadores trifásicos de potencia.

Las características técnicas de los transformadores de tensión son las siguientes:

- Tensión máxima de funcionamiento .....245 kV
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo.....1050 kV
- Tensión soportada nominal a frecuencia industrial.....460 kV
- Frecuencia.....50 Hz
- Capacidad.....3600 pF
- Relación de transformación..... $220000:\sqrt{3}/110:\sqrt{3}-110\sqrt{3}-110\sqrt{3}$

En cuanto a las dimensiones del transformador, serán 2885 mm de alto, y 450 mm de diámetro en planta. Estos, van colocados sobre un soporte de acero de una altura de 3800 mm. Por tanto la altura total será de 6635 mm.

Las características geométricas y las dimensiones, están especificadas en el *Documento N°2: Planos*

### **Autoválvulas**

Las autoválvulas pararrayos que se instalan en el parque están destinadas a proteger contra las sobretensiones de tipo atmosférico. Normalmente se instalan a ambos lados de la aparamenta de transformación de potencia, y en las entradas de línea de la subestación.

Las autoválvulas seleccionadas en el parque de 220 kV, son EXLIM Q170-EH245. La de la selección de las mismas, está justificada en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.



Se instalarán un total de 12 autoválvulas en el parque de 220 kV. Una por cada fase de las entradas de línea y otra por cada fase de las entradas a los transformadores.

Las características técnicas de las autoválvulas seleccionadas son las siguientes:

- Tensión de servicio continuo (fase - tierra) .....144 kV
- Tensión de cebado (fase - tierra) .....208 kV
- Tensión máxima transitoria TOV 1 seg (fase-tierra).....208 kV
- Tensión máxima transitoria TOV 10 seg (fase-tierra).....460 kV
- Intensidad máxima de descarga..... 40 kA
- Longitud de la línea de fuga.....6336 mm

Las características geométricas y las dimensiones, están especificadas en el *Documento N°2: Planos*.

## **5.4. Parque de 66 kV**

### **5.4.1. Descripción**

El parque de 66 kV de la subestación, está destinado a ser conectado a la red de distribución de 66 kV e interconexionar esta con una red de transporte de 220 kV a través de unos transformadores trifásicos de potencia de 120 MVA.

La configuración adoptada para este parque, es la de doble barra. Con esta configuración se asegura el suministro constante de energía incluso en el caso de tener que hacer operaciones de maniobra o mantenimiento en algún embarrado o aparamenta.

El parque de 66 kV consta de:



- 5 salidas de línea de 66 kV cada una, 3 aéreas y 2 subterráneas.
- Embarrados principales. Compuestos por cinco posiciones de línea, dos de transformación, y una de acoplamiento. De las posiciones de línea, tres de ellas son línea aérea y 2 línea subterránea.
- Embarrados secundarios, de interconexión con la aparamenta del parque.
- 8 equipos híbridos compactos con aislamiento en SF<sub>6</sub>.
- 6 transformadores de tensión capacitivos, para protección y control de la entra de las líneas a la subestación.
- 22 aisladores de soporte que fijan los embarrados principales y secundarios.
- 6 autoválvulas pararrayos para la protección de la aparamenta.
- 1 pórtico par dar funcionalidad a la salida de líneas aéreas.

La superficie ocupada por el parque de 66 kV es de 1.587,4 m<sup>2</sup>. Además, se ha provisto al parque de un vial en todo su perímetro, para permitir operaciones de maniobra y mantenimiento de la subestación.

#### **5.4.2. Magnitudes eléctricas**

A efectos de cálculo y diseño del parque, se han tenido en cuenta varias magnitudes eléctricas principales.

La primera de ellas es la tensión nominal. Esta viene impuesta por la tensión de las líneas de transporte que alimentan la subestación, de 66 kV cada una.

Otro parámetro importante es la corriente máxima que va a circular por la subestación y que está fijada por la potencia máxima que puede transportar un circuito de la subestación en caso de fallo del



otro circuito. Este valor es de 1049,72 A para el caso de los embarrados secundarios y de 2099,45 A para el embarrado principal.

La corriente de cortocircuito que aparece en las barras principales del parque de 66 kV es de 20,9 kA. A pesar de esto, a efectos de cálculo de los esfuerzos térmicos y dinámicos, y de la red de tierra de la subestación, se considerará como corriente de cortocircuito una de 31,5 kA y un tiempo de extinción de la falta de 0,5 segundos. Según normativa CEI, se utiliza para el diseño de la subestación como corriente de cortocircuito de diseño una de 31,5 kA para el parque de 66 kV. Toda la aparamenta utilizada en ambos parques, está previamente diseñada por defecto para soportar estas corrientes de cortocircuito establecidas por la normativa.

De la tensión nominal del parque se deducen, de la ITC-MIE-RAT-04 y ITC-MIE-RAT-12, la tensión más elevada para el material, que tendrá el valor de 72,5 kV, la tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo, con un valor de 325 kV, y la tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial, que valdrá 140 kV.

Además, en función de dichas tensiones, se establece el grupo de nivel de aislamiento del parque, correspondiendo, según ITC-MIE-RAT 12, al grupo B, por estar su nivel de tensión entre 52 kV y 300 kV

Como resumen, en la tabla 7 se muestran todas estas magnitudes eléctricas descritas.



Tensión nominal	66 kV
Tensión más elevada del material	72,5 kV
Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo.	325 kV
Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial	140 kV
Intensidad nominal	431 A
Corriente de cortocircuito de diseño y tiempo de extinción.	31,5 kA, 0,5 segundos
Grupo de aislamiento	B

*Tabla 7: Magnitudes eléctricas del parque de 66 kV.*

La justificación de las magnitudes eléctricas, está descrita en el Anejo I: Cálculos Justificativos.

### **5.4.3. Distancias**

La determinación de las distancias es uno de los aspectos de diseño más importantes y determinará las dimensiones de la subestación.

Como criterios para establecer las distancias mínimas que se deben cumplir, se ha utilizado ITC-MIE-RAT-12, donde se indican las distancias mínimas que deben establecerse en función de las tensiones del parque.

A continuación, se indican las distancias mínimas que se deben establecer y las que se han establecido, para que quede constancia de que todas ellas cumplen con la normativa.



### Distancia entre conductores

<b>Distancias fase-tierra</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Entre conductores	63 cm	150 cm

*Tabla 8: Distancias fase-tierra entre conductores.*

<b>Distancias fase-fase</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Entre conductores	63 cm	150 cm

*Tabla 9: Distancias fase-fase entre conductores*

### Distancia en pasillos de servicio y zonas de protección.

<b>Pasillos</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Pasillos de maniobra con elementos en tensión a un solo lado	100 cm	120 cm
Pasillos de maniobra con elementos en tensión a ambos lados	120 cm	150 cm
Pasillos de inspección con elementos en tensión a un solo lado	80 cm	120 cm
Pasillos de inspección con elementos en tensión a ambos lados	100 cm	150 cm
Altura de elementos en tensión sobre pasillos	313 cm	450 cm

*Tabla 10: Distancias de seguridad en pasillos de maniobra e inspección.*



Distancia en zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación.

<b>Distancia a zonas de protección interiores</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
De elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima	66 cm	10800 cm
De elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima	73 cm	8700 cm
De elementos en tensión a cierres de cualquier tipo	93 cm	8700 cm

*Tabla 11: Distancias en zonas de protección en el interior de la subestación.*

Distancia en zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación.

<b>Distancias a zonas de protección exteriores</b>	Distancia mínima	Distancia establecida
Distancia horizontal entre elementos en tensión y el cierre del recinto.	213 cm	8700 cm

*Tabla 12: Distancias en zonas de protección desde el exterior de la subestación.*



Como se puede comprobar, todas las distancias que se han establecido en el parque de 66 kV de la subestación, son superiores a las distancias mínimas exigidas por la normativa.

La justificación de las distancias mínimas exigidas, está descrita en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.

#### **5.4.4. Embarrados**

##### **Embarrados flexibles**

Los embarrados flexibles son los utilizados para la unión de embarrados rígidos y aparamenta, y la unión de entradas y salidas de línea con la subestación.

En el caso del parque de 66 kV, los embarrados flexibles estarán formados por cables de aluminio con alma de acero, con la siguiente configuración y características:

- Formación.....Duplex
- Tipo.....Lapwing
- Sección total del conductor.....634,70 mm<sup>2</sup>
- Diámetro exterior.....32,76 mm
- Intensidad máxima admisible.....1115 A

El amarre de conexión de los embarrados flexibles a los pórticos se realizará mediante cadenas de aisladores. Dichos aisladores serán en forma de disco y su designación es U 40 BS; sus características principales son:

- Tipo ..... Normal
- Diámetro..... 175 mm
- Paso ..... 100 mm
- Línea de fuga ..... 185 mm



- Tensión soportada nominal .....66 kV

El número de aisladores necesarios para la unión de los embarrados flexibles, con los pórticos, será de 11 aisladores.

La justificación de los embarrados flexibles seleccionados y del número de aisladores necesario, está descrita en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.

### **Embarrados principales**

Los embarrados principales de la subestación se utilizarán para conectar las entradas de línea, con las posición de transformación de la subestación.

Según normativa, dichos tubos no pueden ser soldados en ningún punto o tramo, por lo que deben ser suministrados en tiradas continuas, y en tramos cortados y curvados en fábrica, pudiéndose proceder a pie de obra sólo a su limpieza y montaje posterior.

Los embarrados principales del parque de 66 kV, estarán conformados con tubos de aluminio cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....120 mm
- Diámetro interior .....100 mm
- Sección total del conductor.....3456 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....9,33 kg/m
- Momento de inercia.....812 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....110 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....69.200 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>



- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....205 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....3795 A

Estos tubos tendrán un diámetro externo de 120 mm y un diámetro interno de 100 mm. La longitud de los embarrados será de 32 m, la distancia entre apoyos será de 8 metros y la distancia entre los tubos, como ya se ha indicado en el apartado 5.3.3. *Distancias*, será de 2 metros.

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de estos tubos como parte de los embarrados principales.

Los embarrados principales hasta ahora descritos, estarán colocados sobre aisladores de soporte del tipo C10-1050. Dichos aisladores tendrán una altura de 6 metros, altura a la cual están instalados los tubos de los embarrados.

Las características de los aisladores de soporte de los embarrados principales son las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....10000 N
- Carga de rotura a torsión.....5000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....170 mm
- Diámetro del aislador.....350 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV



En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de aisladores de soporte como parte de los embarrados principales.

### **Embarrados secundarios.**

Los embarrados secundarios del parque de 66 kV se utilizarán para conectar la aparatada y los embarrados principales.

Los embarrados secundarios del parque, estarán conformados con tubos de aluminio cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....80 mm
- Diámetro interior .....68 mm
- Sección total del conductor.....1394 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....3,76 kg/m
- Momento de inercia.....96,1 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....90 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....68.600 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>
- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....225 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....2020 A

Estos tubos tendrán un diámetro externo de 80 mm y de diámetro interno de 68 mm. La longitud de los embarrados será de 5 m, la distancia entre apoyos será de 5 metros y la distancia entre los tubos, como ya se ha indicado en el apartado 5.3.3. Distancias, será de 2 metros.

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de estos tubos como parte de los embarrados secundarios.



Los embarrados secundarios hasta ahora descritos, estarán colocados sobre aisladores de soporte del tipo C6-1050. Dichos aisladores tendrán una altura de 6,1 metros, altura a la cual están instalados los tubos de los embarrados.

Las características de los aisladores de soporte de los embarrados secundarios son las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....6000 N
- Carga de rotura a torsión.....3000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....140 mm
- Diámetro del aislador.....254 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV

En el *Anejo I: Cálculos Justificativos*, se describen todos los cálculos eléctricos y mecánicos que justifican el uso de aisladores de soporte como parte de los embarrados secundarios.

#### **5.4.5. Piezas de conexión**

Para absorber las variaciones longitudinales que se producen en los embarrados, tanto primarios como secundarios, debido a los efectos de las variaciones de temperaturas, se instalarán unas piezas de conexión elásticas que permiten la dilatación de los conductores sin producir esfuerzos perjudiciales sobre las bornas de conexión.

El cálculo de las dilataciones sufridas por los embarrados antes la temperatura, está justificado en el *Anejo I: Cálculos justificativos*.



Las uniones entre las bornas de la aparamenta y los conductores se realizarán mediante piezas de aleación de aluminio, diseñadas para soportar las intensidades permanentes y de cortocircuito previstas.

#### **5.4.6. Características de la aparamenta**

##### **Módulos híbridos PASS M00 72,5 kV**

Los módulos híbridos, con tecnología PASS, son módulos compactos de intemperie, con aislamiento en SF<sub>6</sub>, que agrupan en un único elemento el interruptor, seccionadores de barras, seccionador de líneas y su puesta a tierra, y transformador de intensidad. El aislamiento en SF<sub>6</sub> evita al creación de posibles arcos eléctricos.

Cada unas de las funciones de estos elementos son las siguientes:

- Interruptor: establecer, mantener e interrumpir la intensidad de la corriente de servicio, o interrumpir automáticamente intensidades elevadas que puedan dañar la subestación, tales como corrientes de cortocircuito.
  
- Transformador de intensidad: las funciones del transformador de intensidad son las siguientes:
  - Convertir la intensidad de línea en una más reducida y normalizada para la alimentación de los instrumentos de medida y relés.
  - Proteger la línea cuando ocurra alguna falta, evitando la alta intensidad existente al equipo de protección.
  - Proteger al personal de la subestación, de modo que la intensidad que llegue a los paneles de control



sea lo bastante reducida como para no ser peligrosa su manipulación.

- Seccionadores barras: su función es la de separar físicamente y de forma apreciable a la vista del operario la unión entre las barras principales y las barras secundarias. Estos tienen la capacidad de abrirse y cerrarse siempre que la corriente que pasa por ellos sea nula o despreciable. En este caso se dispone de dos seccionadores de barras en lugar de solo uno, por tratarse de una configuración de doble barra.
- Seccionador de línea: la función es la misma que la de los seccionadores de barras, pero separando físicamente la calle de la subestación de la entrada de línea.

Gracias a la utilización de estos módulos compactos, se reducen notablemente las dimensiones de la subestación, ya que al reunir en un único módulo, toda la aparamenta dicha, se eliminan muchas distancias de seguridad, y se consigue hacer las mismas maniobras en un espacio mucho menor.

El volumen de estos módulos es equivalente al de un interruptor convencional de la misma clase. Además está aislado en SF<sub>6</sub>, lo cual garantiza fiabilidad y durabilidad independientemente de las condiciones externas.

El módulo utilizado en el parque de 66 kV es el PASS M00 72,5 kV de ABB.

Este en concreto, está compuesto por dos seccionadores de barras, un seccionador de línea y su correspondiente puesta a tierra, un interruptor y un transformador de tensión, por fase.

Las características del módulo híbrido PASS M00 72,5 kV, son las siguientes:



- Tensión máxima de funcionamiento .....72,5 kV
- Frecuencia.....50 Hz
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo.....325 kV
- Tensión soportada nominal a frecuencia industrial.....140 kV
- Corriente máxima admisible.....2000 A
- Corriente de cortocircuito soportada.....31,5 kA
- Tiempo máximo soportado hasta despeje de falta.....3 s

Las características asignadas a los interruptores automáticos son las siguientes: :

- Fluido para el aislamiento .....SF<sub>6</sub>
- Tiempo de apertura ..... < 50 mseg
- Tiempo de cierre..... < 150 mseg
- Tensión auxiliar alimentación motor.....125 V
- Tensión auxiliar bobinas de apertura.....125 V
- Tensión auxiliar bobinas de cierre.....125 V

Las características asignadas a los transformadores de intensidad son las siguientes: :

- Tipo .....Toroidal
- Relación de transformación .....600/5 A
- Potencia de los arrollamientos.
  - o Secundario 1 : 10 VA
  - o Secundario 2: 20 VA
  - o Secundario 3: 30 VA
  - o Secundario 4: 30 VA

Las características asignadas a los seccionadores son las siguientes:

- Accionamiento cuchillas principales .....Motorizado



- Poder de cierre del seccionador de puesta a tierra .....80 kA
- Tensión auxiliar alimentación motor y accionamiento.....125 V

Las características geométricas y las dimensiones, están especificadas en el *Documento N°2: Planos*.

### **Transformadores de tensión capacitivos**

Los transformadores de tensión capacitivos instalados en el parque de 66 kV, tienen las siguientes funciones:

- Convertir la tensión de línea o barra, en otra más reducida y normalizada para la alimentación de los instrumentos de medida y e protección.
- Proteger la línea o barra cuando ocurra alguna falta, enviando las altas tensiones existentes al equipo de protección.
- Proteger al personal, de modo que la tensión que llegue a los paneles de control sea lo suficientemente reducida como para no ser peligrosas las maniobras de manipulación y colocación.
- Permitir la transmisión de señales de alta frecuencia a través de las líneas.
- Servir como instrumento de medida fiscal, para la tarificación de la energía distribuida.

Los transformadores utilizados en el parque de 66 kV, son del modelo DDB - 72 de la empresa ARTECHE. El número total de estos transformadores instalados en el parque es de seis. Se colocan un juego de tres transformadores en cada entrada de línea a la subestación.



Las características técnicas de los transformadores de tensión son las siguientes:

- Tensión máxima de funcionamiento .....72,5 kV
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo.....325 kV
- Tensión soportada nominal a frecuencia industrial.....140 kV
- Frecuencia.....50 Hz
- Capacidad.....14600 pF
- Relación de transformación..... $66000:\sqrt{3}/110:\sqrt{3}-110\sqrt{3}-110\sqrt{3}$

En cuanto a las dimensiones del transformador, serán 1550 mm de alto, y 450 mm de diámetro en planta. Estos, van colocados sobre un soporte de acero de una altura de 3800 mm. Por tanto la altura total será de 5350 mm.

Las características geométricas y las dimensiones, están especificadas en el *Documento N°2: Planos*

### **Autoválvulas**

Las autoválvulas pararrayos que se instalan en el parque están destinadas a proteger contra las sobretensiones de tipo atmosférico. Normalmente se instalan a ambos lados de la apartamiento de transformación de potencia, y en las entradas de línea de la subestación.

Las autoválvulas seleccionadas en el parque de 66 kV, son EXLIM R170-ECV170. La de la selección de las mismas, está justificada en el *Anejo I: Cálculos Justificativos*.

Se instalarán un total de 15 autoválvulas en el parque de 66 kV. Una por cada fase de las salidas de las líneas de distribución y otra por cada fase de las entradas a los transformadores.



Las características técnicas de las autoválvulas seleccionadas son las siguientes:

- Tensión de servicio continuo (fase - tierra) .....106 kV
- Tensión de cebado (fase - tierra) .....167 kV
- Tensión máxima transitoria TOV 1 seg (fase – tierra).....167 kV
- Tensión máxima transitoria TOV 10 seg (fase – tierra).....158 kV
- Intensidad máxima de descarga..... 31 kA
- Longitud de la línea de fuga.....4336 mm

Las características geométricas y las dimensiones, están especificadas en el *Documento N°2: Planos*.

## 5.5. Transformación

La posición de transformación estará formada por dos transformadores trifásicos de potencia de 120 MVA cada uno. La relación de transformación de dichos transformadores será 220/66 kV.

Cada uno de ambos transformadores cumplirá con la instrucción técnica complementaria ITC – MIE-RAT-07.

Las características que se exigirá que tenga cada uno de los transformadores trifásicos son las siguientes:

- Tipo de instalación ..... Instalación de intemperie
- Número de fases .....3
- Frecuencia nominal .....50 Hz
- Potencia nominal ..... 120 MVA
- Relación de transformación ..... $232 \pm 10 \times 2,785 / 66$  kV
- Tensión máxima de servicio .....245 kV
- Reactancia de dispersión.....12 %



- Intensidad de cortocircuito soportada
  - o En lado de 220 kV .....44 kA
  - o En lado de 66 kV .....34,6 kA
  
- Refrigeración por circulación natural de aceite a través de radiadores enfriados por aire natural, tipo ONAN y forzado mediante ventiladores, tipo ONAF.

La conexión de los arrollamientos primario y secundario será en estrella en ambos caos, y tendrán una puesta a tierra mediante conexión del neutro rígido a tierra. En el devanado terciario se establecerán unos arrollamientos de cobre utilizados únicamente para la alimentación de los equipos auxiliares.

Se instalará un depósito de aceite, uno para ambos transformador, para la recogida del mismo en caso de fugas. El volumen del depósito será de un 110% el volumen de aceite contenido en un transformador.

A cada uno de los transformadores se le dotará de 4 juegos de ruedas, de forma que puedan desplazarse sobre carriles. Dichas ruedas quedarán bloqueadas cuando el transformador esté en servicio.

Cada uno de los transformadores, tendrá además los siguientes accesorios:

- Transformadores de intensidad, en las bornas A.T, B.T y arrollamiento terciario. Utilizados para la regulación de la tensión y control térmico del transformador.
- Elementos para la translación del transformador.
- Un equipo de preservación del aceite.
- Sistema de refrigeración previamente descrito.



- Instrumentos de medida de temperatura del aceite y de los arrollamientos.
- Un armario de control principal, en el que habrá un autómata regulador.
- Armario de centralización y transferencia, que irá conectado a la cabina de control principal.
- Aceite, que será conforme con la norma UNE 60926, no inhibido, sin aditivos y con baja corrosión.
- Pasatapas, elaboradas de porcelana, y con un indicador de nivel de aceite.
- Válvulas que permitan el vaciado y relleno de aceite.
- Relé Buchholz. Este relé detecta los fallos internos en el transformador y funciona con dos flotadores. El primero es de alarma y se encuentra en la parte superior del dispositivo y actúa hundiéndose en caso de acumulación de gases y generando la señal de alarma. El segundo es de disparo y se produce cuando antes una emisión incontrolada de gases, se produce un arrastre de flotador.

## **5.6. Red de tierras**

### **5.6.1. Red de tierras inferiores**

El diseño de la red de tierras se ha hecho de acuerdo con las especificaciones establecidas en la instrucción técnica complementaria ITC-MIE-RAT 12.

La red de tierras inferiores está diseñada para cumplir con las siguientes funciones:

- Garantizar la protección del personal de maniobra y los equipos en caso de potenciales peligrosos.
- Proporcionar un camino a tierra para las intensidades originadas por descargas atmosféricas o por defectos eléctricos.



- Posibilitar a los elementos de protección el despeje a tierra.

Para el diseño de la red de tierras, se han elegido las condiciones de diseño más desfavorables, siendo esta las del parque de 220 kV. Los criterios de diseño han sido los siguientes:

- Resistividad del terreno .....100  $\Omega$ m
- Intensidad de defecto ..... 28 kA
- Tiempo de despeje de falta.....0,5 s

El cable elegido para la red de tierras inferiores será un cable de cobre de 120 mm<sup>2</sup> de sección. La malla formada por los cables de cobre, cubre una superficie total de 16200 m<sup>2</sup> y está enterada a una profundidad de 60 cm. La longitud total de cable de cobre enterrado es de 2805 m. Además, sobre el terreno, se ha proyectada cubrirlo de una capa de hormigón de 20 cm de espesor, cuya resistividad tiene el valor de 3000  $\Omega$ m.

La características geométricas y dimensiones, es pueden ver en el *Documento N°2: Planos*.

Según los criterios de diseño especificados, en la instrucción técnica complementaria ITC-MIE-RAT-13 y en la normativa UNE 60909 se establece que las tensiones de paso y contacto no pueden ser superiores a los siguientes valores:

$$V_p = 27360 V$$

$$V_c = 792 V$$

Para la red de tierras diseñada, basándose en el procedimiento de cálculo establecido por IEEE 80-200, se han obtenido los valores de tensión de paso y contacto siguientes:



$$V_p = 914,5 \text{ V}$$

$$V_c = 416 \text{ V}$$

Por tanto, como se justifica y concluye en los cálculos, la red de tierras diseñada cumple con sus objetivos y funciones anteriormente descritas.

La fijación de las estructuras a la malla, se realizará mediante cable, que será fijado a la estructura mediante grapas de fundición de bronce, del que saldrá la varilla de toma a tierra. Dicha varilla será de cobre electrolítico de 14 mm de diámetro.

La unión entre los diferentes cables de cobre que forman la malla de la red de tierras se hará mediante soldadura aluminotérmica.

Todos los cálculos que justifican el diseño de la red de tierras, están contenidos en el *Anejo I: Cálculos justificativos*.

### **5.6.2. Red de tierras superiores**

La red de tierras superiores tiene por cometido la captación de las descargas atmosféricas y su conducción a la malla de red inferiores enterrada a 0,6 metros de profundidad, para que pueda ser disipada sin poner en peligro la seguridad del personal ni de la subestación.

Esta está compuesta por un conjunto de hilos de guarda, paralelos a la calle y en unos pararrayos que protegen los equipos de la subestación.

Además, para asegurar la protección del parque de las posibles descargas atmosféricas, se ha proyectado la instalación de 4 pararrayos, adosados a dos e las cúpulas del parque de 220 kV y a dos postes en el parque de 66 kV. Dichos pararrayos se han



determinado siguiendo la norma UNE 21186 y el material de su fabricación será acero inoxidable. El radio de protección de cada uno de los pararrayos será de 36,88 m.

Todos los cálculos que justifican el diseño de la red de tierras, están contenidos en el *Anejo I: Cálculos justificativos*.

## **5.7. Sistemas de control y protección**

El sistema de control constará de un centro de control de subestación, ubicado en el edificio de control .

En la subestación se instalarán una serie de unidades de control (ULC) que recogerán la información para el telecontrol de los parques. Estas ULC irán conectadas al centro de control de la subestación mediante fibra óptica.

Se instalarán un total de 12 ULC, una por cada posición de las barras de los parque de 220 kV y de 66 kV.

En cuanto a los sistemas de protección, cumplirán con las funciones de protección, comunicación y teledisparo.

Las posiciones en las que se instalarán protecciones serán las siguientes:

### Posición de línea:

Protección principal: tendrá las siguientes funciones de protección: diferencial de línea, diferencial de barras, función de distancia, función de sobreintensidad de neutro, función de reenganche, función térmica, localizador de falta y oscilografía.



Teleprotección: Se trata de una teledetección por onda portadora para la emisión y recepción de teledisparo en caso de fallo de alguno de los interruptores de los extremos de la línea.

#### Posición de transformador:

Incorporará las siguientes funciones de protección en los dos niveles de tensión: fallo de interruptor, función de cierre o arranque con tiempo de retraso, función de sincronismo, diferencial de transformador, diferencial de barras, función de mínima tensión con corriente alterna, oscilografía y dos funciones de supervisión de bobinas de disparo.

#### Posición de acoplamiento:

Esta protección se incluirá únicamente en la posición de acoplamiento del parque de 66 kV. Incluirá: función de distancia, función instantánea de sobreintensidad, función de sobreintensidad de neutro, diferencial de barras, función de arranque o cierre con tiempo de retraso, función de sincronismo, función de mínima tensión de corriente alterna, oscilografía y dos funciones de supervisión de bobinas de disparo.

#### Posición de barras:

Se instalarán protecciones diferenciales de barras tanto en el parque de 220 kV como en el de 66 kV.

#### Generales:

En las posiciones de línea y transformador se añadirán funciones e medida de activa, reactiva y tensión, a través de los transformadores de tensión capacitivos.



## **6. Descripción de las instalaciones**

### **6.1. El edificio**

Se construirá un edificio de mando y control de una planta y con unas dimensiones de 15 x 25 metros, haciendo un total de 375 m<sup>2</sup>, y de 5,5 metros de altura.

Dicho edificio dispondrá de una sala de mando y control, una sala de comunicaciones, una sala de servicios auxiliares, una sala destinada a almacenaje, aseos y vestuarios.

Básicamente se tratará de un edificio con zócalo inferior de hormigón visto, cerramiento a base de bloque de hormigón cara vista, y cubierta plana con placas de aluminio impermeabilizadas. La cimentación vendrá determinada por las cargas propias y de uso, así como de las condiciones de cimentación del terreno que determine un estudio geotécnico.

Para el paso de cables entre dependencias, se utilizarán tubos en la solera, y para el paso de cables entre la subestación y el edificio se habilitarán huecos que serán sellados al finalizar la construcción.

El suministro de agua al edificio se realizará con una acometida a la red de suministro.

### **6.2. Telecontrol y comunicaciones**

Las necesidades de tele control y comunicaciones consistirán en servicios de telefonía, canales de comunicación para la protección de la subestación y circuitos de telegestión.

Se dotará al edificio de control de fibra óptica y de red de telefonía.



Para la realización de las comunicaciones remotas, se dispondrá de un armario de comunicaciones instalado en la sala de control del edificio. Dicho armario irá alimentado por un rectificador de batería de 48 V.

### **6.3. Equipos de medida**

Los equipos de medida irán instalados dentro de un armario en la sala de control. Dicho armario dispondrá de contadores de energía para las posiciones de transformación.

### **6.4. Servicios generales**

#### **6.4.1. Cuadro de corriente alterna y continua**

Se instalará en el edificio un cuadro de corriente continua y uno de corriente alterna para la alimentación de los equipos de protección, control, señalización y emergencia.

#### **6.4.2. Sistemas de mando y protección**

Se dispondrá de un sistema informático para el control de los cuatro armarios de protección. De dichos armarios de protección, el primero será para las líneas del parque de 220 kV, el segundo para los transformadores, el tercero para las líneas del parque de 66 kV y el último para la posición de acoplamiento.

Estos armarios de protección, contarán con protecciones de distancia y de sobre intensidad para las líneas, y protecciones de sobreintensidad de alta y de baja, protección diferencial y regulador de tensión, para las posiciones de transformación.



### **6.4.3. Rectificador de batería**

Para la alimentación de los equipos de protección y control, se dispondrá de 4 equipos. Los dos primeros estarán compuestos por dos rectificadores con una batería de 325 V y están destinados al parque de 220 kV. Los dos segundos estarán compuestos por dos rectificadores con una batería de 125 V y están destinados al parque de 220 kV.

Además será instalada otra batería rectificadora de 48 V, destinada a la alimentación de los sistemas de telemando y control.

Todas esas baterías rectificadoras estarán situadas en el edificio de control.

### **6.4.4. Transformador de servicios auxiliares**

Para atender a las necesidades de los servicios auxiliares, se instalará un transformador de 66000/380 V de 2500 kVA de potencia. La alimentación de dicho transformador se hará mediante la conexión a una de las líneas de salida del parque de 66 kV de la subestación. Este transformador se instalará en una sala adecuada para su uso, dentro del edificio de control y contará con un armario de distribución.

## **6.5. Instalación de alumbrado**

Se dotará a la instalación de unas instalaciones de alumbrado y de fuerza.

Estas instalaciones alimentarán el alumbrado exterior e interior, el alumbrado de emergencia, la ventilación y el aire acondicionado.

El alumbrado exterior del edificio servirá para un mejor acceso al mismo y su alimentación se realizará mediante corriente alterna,



procedente del armario de distribución de servicios auxiliares anteriormente mencionado.

El alumbrado del interior del edificio se realizará mediante corriente alterna, procedente del armario de distribución de servicios auxiliares. El alumbrado de emergencia se realizará mediante corriente alterna, procedente del armario de distribución de servicios auxiliares.

El sistema de ventilación y de aire acondicionado es importante para mantener la temperatura por debajo de los valores que se recomiendan para el correcto funcionamiento de los sistemas informáticos y armarios de servicios auxiliares, protección, telemando, y rectificadores de baterías.

## **6.6. Sistema de protección contra incendios e intrusos**

En el edificio de control se dispondrá de un sistema de detección y extinción de incendios, así como de intrusismo.

El equipo de detección de incendios constará de una serie de elementos detectores, instalados en los lugares apropiados, que ante la presencia de humo o calor excesivo, actuarán como alarma. Dichos detectores se instalarán en el techo del edificio.

El equipo de extinción de incendios constará de extintores portátiles de espuma, colocados adecuadamente.

El sistema de anti intrusismo consistirá en una serie de detectores en la puerta del edificio.



## **6.7. Cerramientos y señalización**

Para el acceso a la subestación, se dispondrá de una puerta metálica de 10 metros, con una entrada para personal de 1 metro de anchura. Dicha puerta será corredera con apertura automática con motor eléctrico.

El vallado que se instalará alrededor de la subestación estará construido por postes metálicos galvanizados de perfil circular y una malla de 2 metros de altura, también metálica galvanizada de simple torsión. Los postes irán embebidos sobre un murete de hormigón para asegurar su anclaje.

Las funciones del vallado serán las siguientes:

- Evitar que personas ajenas a la subestación lleguen a estar próximas a elementos en tensión.
- Proteger la subestación de daños intencionados.
- Evitar robos dentro de la subestación.

Todos los accesos a la subestación estarán debidamente señalizados mediante la señalización reglamentaria para las instalaciones de alta tensión.

## **7. Obra civil**

### **7.1. Movimiento de tierras**

La explanación de la plataforma de la subestación se realizará con amplitud suficiente para la implantación de los dos parques y del edificio de control. El movimiento de tierras estará condicionado por las características del terreno y recomendaciones incluidas en el estudio geotécnico que ha de realizarse previamente al inicio del proyecto. Se incluirá también un desbroce y preparación del camino de acceso a la subestación.



## 7.2. Cimentaciones

La función de las cimentaciones es la de soportar y sujetar los elementos instalados en la subestación.

Estas estarán compuestas por hormigón y se proyectarán teniendo en cuenta los esfuerzos aplicados, para asegurar la estabilidad al vuelco en las peores condiciones.

Las cimentaciones a realizar tendrán canalizaciones de tubo de PVC que permitan el paso de los cables de tierra hacia las estructuras metálicas y de ahí a los equipos, así como tubo para el paso de cables aislados de alimentación y control.

Las cimentaciones estarán compuestas por zapatas de hormigón y para el anclaje a las estructuras se insertarán pernos de acero galvanizado.

Las cimentaciones que serán necesarias construir son las siguientes:

Parque de 220 kV:

- Cimentación de pórtico: se construirán un total de 14 unidades.
- Cimentación de transformadores de tensión: se construirán un total de 12 unidades.
- Cimentación de autoválvulas: se construirán un total de 12 unidades.
- Cimentación de equipos híbridos: se construirán un total de 6 unidades.
- Cimentación de aisladores de barras: se construirán un total de 18 unidades.

Parque de 66 kV:



- Cimentación de pórtico: se construirán un total de 6 unidades.
- Cimentación de pórtico de acoplamiento: se construirán un total de 1 unidad.
- Cimentación de autoválvulas: se construirán un total de 24 unidades.
- Cimentación de equipos híbridos: se construirán un total de 8 unidades.
- Cimentación de aisladores de barras: se construirán un total de 16 unidades.

Además será necesaria la construcción de las cimentaciones del vallado exterior, que se harán a lo largo de todo el perímetro de la subestación y distanciadas 3 metros entre sí.

La bancada de los transformadores de potencia estará formada por vigas sobre las que se insertarán las vías donde se apoyarán los transformadores.

Además de todas estas cimentaciones, se establecerán unos viales de acceso a puntos de la subestación, para poder ejercer maniobras de mantenimiento. Dichos viales se dividen en dos tipos: perimetrales e internos. Los viales perimetrales tienen una anchura de 6 metros y los internos de 3 metros.

Los viales se realizarán de aglomerado asfáltico y se asentarán sobre una base de grava-cemento. Además se dotará al vial de una pequeña pendiente para evitar la acumulación de agua.

### **7.3. Arquetas y canalización para paso de cables**

Para el tendido y la conexión de los cables de control, alumbrado y fuerza, se instalarán arquetas prefabricadas de hormigón con tapa de hormigón armado, de las dimensiones adecuadas que interconecten



los tramos de tubo de polietileno. Existen tres tipos de arquetas prefabricadas, tipo A, tipo B y tipo BR.

#### **7.4. Sistema de recogida de aceite**

Para evitar posibles vertidos accidentales de aceite de los transformadores de potencia al terreno, se construirá un sistema de recogida de aceite que permitirá encauzarlo hacia un depósito estanco, donde periódicamente se realizará la retirada del mismo.

Dicho sistema estará constituido por una red de evacuación de aceite y un depósito colector para ambos transformadores. La red de evacuación estará formada por tubos de hormigón y tendrán una pequeña pendiente para facilitar la circulación del aceite. El depósito colector se construirá subterráneo de hormigón armado, con un volumen del 110% al de el aceite de un solo transformador, según establece la normativa.

### **8. Estructuras metálicas y soportes**

Las estructuras y soportes de la aparamenta del parque se construirán con perfiles de acero normalizados de alma llena. Todas las estructuras y soportes tendrán acabado galvanizado en caliente como protección contra la corrosión.

La altura de dichos soportes de aparamenta será la suficiente como para cumplir con los requerimientos de alturas mínimas establecidas por las instrucciones técnicas complementarias correspondientes.

Dichas alturas, mínimas requeridas, anteriormente descritas, serán de 570 centímetros en el parque de 220 kV y de 313 centímetros en el parque de 66 kV. En el diseño de la subestación se han establecido para el parque de 220 kV una altura de 750 cm, y para el parque de 66 kV una de 450 cm.



Estas estructuras se complementarán con tornillería y herrajes auxiliares para la fijación de cajas de centralización, sujeción de cables y otros elementos accesorios.

Para las estructura que complementan los pórticos de entrada y salida de línea, serán, en el parque de 220 kV de una altura de 16 metros y una anchura de 16 metros, y en el caso del parque de 66 kV, de 8 metros de altura y 7 metros de anchura.

Todas esta dimensiones se pueden comprobar en el *Documento N°2: Planos*.



## 9. Presupuesto

El presupuesto de ejecución por contrata del presente proyecto es el siguiente:

<b>Presupuesto de ejecución de material.....</b>	<b>8.778.701,04 €</b>
Gastos generales (10%) .....	877.870,10 €
Gastos financieros (3%) .....	263.361,03 €
Dirección de obra (6%) .....	526.722,06 €
Beneficio neto (6%) .....	526.722,06 €
<b>TOTAL .....</b>	<b>10.973.376,30 €</b>
I.V.A. (18%) .....	1.975.207,23 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN CONTRATA.....</b>	<b>12.948.584,04 €</b>

El importe del presupuesto de ejecución por contrata de la subestación asciende a **DOCE MILLONES NOVECIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS OCHENTA Y CUATRO Y CUATRO CÉNTIMOS.**

El presupuesto desglosado y el presupuesto de ejecución material están justificado en el *Documento N°4: Presupuesto.*



## 10. Conclusiones y estudios futuros

Como conclusiones extraídas de la realización de este proyecto, cabe destacar la complejidad que conlleva un eficiente y seguro transporte de energía en la red. Es complicado dimensionar toda una subestación cumpliendo la normativa y además ciñéndose a la consecución de los objetivos de seguridad, eficiencia y desembolso económico.

Como aspecto académico cabe resaltar que la realización de este proyecto ha supuesto un profundo estudio sobre muchos conceptos a cerca del funcionamiento general de las subestaciones, elementos que la componen, criterios de diseño, normativa, etc., y se ha conseguido la adquisición de muchos conocimientos anteriormente desconocidos.

También hay que destacar los conocimientos adquiridos a nivel de organización y gestión de un proyecto, muy importantes de cara al futuro profesional.

Como modificaciones futuras o mejoras en la subestación proyectada, se pueden plantear varios. El primero, y posiblemente más importante, es la posibilidad de ampliación de la subestación en caso de requerimiento. Gracias a la configuración adoptada sería muy factible hacer una ampliación, tanto en el parque de 220 kV como en el de 66 kV.

Por otro lado, como estudio futuro, sería muy interesante seguir investigando y proponiendo cambios relativos a las dimensiones de las subestaciones en general. Disminuir el tamaño de la parcela de la subestación es una ventaja muy grande para la empresa propietaria, porque supondrá un menor desembolso económico a la hora de adquisición de terrenos. La tecnología híbrida compacta usada en este proyecto facilita mucho la disminución del tamaño de la subestación y sería interesante seguir ahondando en ese tipo de tecnología o explotar alguna nueva.



También sería muy interesante profundizar en el aspecto de protecciones y control de la subestación. Es una parte muy importante de una subestación, ya que asegurará la protección de la aparamenta y el telecontrol de los parques. En el presente proyecto se han indicado las protecciones generales que se deben instalar en la subestación, si entrar al detalle, pero sería muy interesante hacer un profundo estudio sobre las diferentes opciones que se tienen en la protección de la subestación



## 11. Bibliografía

- Reglamento de Líneas eléctricas de alta tensión (RLAT) e Instrucciones técnicas complementarias (ITC-LAT) Real Decreto 223/2008 15 de Febrero.
- Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación, Mayo 2002.
- Elementos de diseño de subestaciones eléctricas – Gilberto Enríquez Harper.
- Manual del técnico en subestaciones eléctricas – Gilberto Enríquez Harper.
- Máquinas eléctricas - Jesús Fraile Mora, sexta edición.
- Norma UNE 60909 sobre cálculos de efectos de las corrientes de cortocircuito.
- Apuntes asignaturas: Máquinas eléctricas, Tecnología Eléctrica y Ampliación de Tecnología Eléctrica.



# Anejo I: Cálculos Justificativos



## 1. Objeto

El objeto de este documento es justificar, desde el punto de vista técnico, las soluciones utilizadas en la subestación para los elementos de los dos parques que la integran, el de 220kV y el de 66kV.

Los cálculos realizados vienen separados para cada uno de los dos parques. El cálculo de la red de tierras, por razones de diseño, se establece para toda la subestación.

## 2. Parque de 220kV

### 2.1. Tensiones nominales normalizadas

Según las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 04, los valores normalizados de tensiones y de tensiones más elevada para el material son los que aparecen en la tabla 13.

Tensión nominal de la red, $U_n$ (kV)	Tensión más elevada material, $U_m$ (kV)
15	17,5
20	24
30	36
45	52
66	72,5
110	123
132	145
220	245
380	420

Tabla 13. Fuente: elaboración propia, datos extraídos MIE RAT 04.

Como se puede deducir de la tabla 1.1., para el parque de 220kV, corresponde una tensión más elevada para el material de 245 kV.



## 2.2. Niveles de aislamiento

Según las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 12, los valores normalizados de los niveles de aislamiento de los aparatos de alta tensión, definidos por las tensiones soportadas nominales para distintos tipos de sollicitaciones dieléctricas, se separan en tres grupos según los valores de la tensión más elevada para el material:

- Grupo A: Tensión mayor de 1kV y menor de 52kV.
- Grupo B: Tensión igual o mayor de 52kV y menos de 300kV.
- Grupo C: Tensión igual o mayor de 300kV.

Por tanto, para el parque de 220kV, los niveles de aislamiento que se han adoptado, de acuerdo con el MIE-RAT 12, son los que corresponden a materiales del Grupo B para aislamiento pleno.

Para dicho grupo B se deduce que, 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.

Esto se deduce de la siguiente Tabla 2:

<b>Tensión más elevada para el material, <math>U_m</math> (kV)</b>	<b>Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV)</b>	<b>Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial (kV)</b>
52	250	95
72,5	325	140
123	550	230
145	650	275
170	750	325
245	1050	460

Tabla 14. Fuente: elaboración propia, datos extraídos de MIE RAT 12.



## 2.3. Distancias mínimas

### 2.3.1. Distancias fase-tierra y entre fases

La determinación de las distancias mínimas que debe de haber entre fases y entre fase y tierra, se establece de acuerdo con el nivel de aislamiento adoptado, en este caso el del grupo B, y lo indicado en las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 12.

Según la misma, teniendo en cuenta la tensión soportada nominal de los impulsos tipo rayo, de 1050kV, se determinan las siguientes distancias mínimas a cumplir:

- Distancia mínima entre fase y tierra: en el caso de conductor – estructura, se establecerá una distancia mínima de 190 cm, y para el caso de punta estructura, la distancia mínima será 240 cm.
- Distancia mínima entre fases: para la situación de conductores paralelos la distancia mínima será de 270 cm y en el caso de punta conductor de 320 cm.

La configuración "punta-estructura" y "punta-conductor" es la configuración mas desfavorable que normalmente puede encontrarse; la configuración "conductor-estructura" y "conductor-conductor" cubre un amplio campo de configuración normales.

Todas las distancias diseñadas del parque de 220kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.



### **2.3.2. Distancias en pasillos de servicio y zonas de protección**

Según la instrucción técnica complementaria MIE RAT 15, para los pasillos de servicio, se deben cumplir las siguientes medidas:

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

Además, las distancias mínimas en pasillos de servicio y zonas de protección, se establece para los elementos en tensión que no estén protegidos y que se encuentren sobre pasillos. Todos ellos deben estar a una altura “H” sobre el suelo.

La determinación de dicha altura se establece, de acuerdo con las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 13. Según esta, la altura “H” en centímetros a la que deben ubicarse los elementos en tensión no protegidos es:

$$H = 250 + d$$

Siendo “d” la distancia expresada en centímetros, obtenida de MIE RAT 11. Por tanto, se obtiene que para el parque de 220kV, se obtiene una “d” de 320 cm, en el caso más desfavorable, por tanto:

$$H = 250 + d = 250 + 320 = 570 \text{ cm}$$

Todas las distancias diseñadas del parque de 220kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.



### **2.3.3. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación**

Según la instrucción técnica complementaria MIE RAT 15, se deben establecer unos sistemas de protección que deben mantener unas distancias horizontales mínimas con los elementos en tensión. Estas son:

- 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 otro tipo:

$$E = d + 30$$

Dado que el valor de “d” en el caso más desfavorable es de 320 cm, obtenido en el apartado 1.3.2., se obtienen las siguientes distancias mínimas:

$$B = 320 + 3 = 323 \text{ cm}$$

$$C = 320 + 10 = 330 \text{ cm}$$

$$E = 320 + 30 = 350 \text{ cm}$$



Todas las distancias diseñadas del parque de 220kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.

#### **2.3.4. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación**

Según la instrucción técnica complementaria MIE RAT 15, para evitar los contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión, deben existir entre estos y el cierre unas distancias mínimas de seguridad. Estas son:

- Distancias en horizontal del elemento de tensión hasta el cierre del recinto cuando este es una pared maciza :

$$F = d + 100$$

- De los elementos en tensión al cierre cuando este es un enrejado:

$$G = d + 150$$

Siendo “d” en ambos casos de valor 320, obtenido en el apartado 1.3.2., y considerando que en el parque de 220kV no hay ningún cierre de recinto de tipo macizo, siendo todo enrejado, la distancia mínima que se debe guardar con el enrejado será:

$$G = 320 + 150 = 470 \text{ m}$$



Todas las distancias diseñadas del parque de 220kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el *Documento N°2 Planos*.

## 2.4. Cálculos eléctricos

### 2.4.1. Corrientes nominales

El parque de 220kV contará con dos posiciones de línea y dos posiciones de transformación de 120 MVA 220kV/66kV.

La intensidad máxima que podrá circular por el parque de 220kV viene impuesta por la intensidad nominal de la posición de transformación en las condiciones más desfavorables de funcionamiento, con una sola barra principal operativa.

En ese caso, siendo la potencia de la transformación de 240 MVA, la corriente máxima que circulará por un circuito en caso de fallo o mantenimiento del otro será:

$$I_n = \frac{240000000}{\sqrt{3} \cdot 220000} = 629,83 \text{ A}$$

Para el caso de los embarrados secundarios, la corriente máxima que circulará, será solo la de una de las posiciones de transformación, y por tanto la debida a las 120 MVA de dicha posición. Por tanto será:

$$I_n = \frac{120000000}{\sqrt{3} \cdot 220000} = 310,41 \text{ A}$$

### 2.4.2. Corriente de cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito proporcionadas por la empresa explotadora de la red eléctrica de 220 kV son de 15,3 kA en los puntos de entrada a la subestación.



Para los cálculos de todos los elementos del parque, se ha establecido como corriente de cortocircuito, una que sea lo suficientemente elevada como para que el diseño sea lo suficiente seguro y fiable. Esta corriente viene establecida por la Norma UNE 60865. En este caso, la corriente de cortocircuito de diseño del parque de 220kV, con un tiempo de despeje de falta de 0,5 segundos, será:

$$I_{CC} = 40kA$$

## 2.5. Embarrados

Una vez determinadas las corrientes nominales de la subestación, se puede hacer la elección de los embarrados que la van a constituir.

### 2.5.1. Embarrados flexibles

Los embarrados flexibles del parque de 220kV estarán formados por cables de aluminio con alma de acero con la siguiente configuración y características:

- Formación.....Duplex
- Tipo.....Lapwing
- Sección total del conductor.....861,33 mm<sup>2</sup>
- Diámetro exterior.....38,16 mm
- Intensidad máxima admisible.....2205 A

El amarre de conexión de los embarrados flexibles a los pórticos se realizará mediante cadenas de aisladores. Dichos aisladores serán en forma de disco y su designación es U 40 BS; sus características principales son:

- Tipo ..... Normal
- Diámetro..... 175 mm



- Paso ..... 100 mm
- Línea de fuga ..... 185 mm
- Tensión soportada nominal .....220 kV

De acuerdo con MIE RAT 04, el número de aisladores que se deben de colocar viene determinado por la siguiente ecuación:

$$N_a = V_{ff} \cdot \frac{G_a}{L_f}$$

Siendo:

$L_f$  : Distancia de fuga [mm]

$V_{ff}$ : Tensión nominal del sistema [kV]

$G_a$  : Grado de aislamiento del aislador, que toma un valor de 235 mm/KV.

Sustituyendo dichos valores en la ecuación, se obtiene que serán necesarios 16 aisladores.

La intensidad máxima admisible para estos tendidos es de 2.205 A, equivalente a una potencia nominal en el embarrado de:

$$S = \sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 2205 = 840,21 \text{ MVA}$$

Como se puede observar, este valor es muy superior a la carga máxima a transportar, de 240 MVA.

### 2.5.2. Embarrados principales

Los embarrados principales del parque de 220kV serán tubos de aluminio de 150/134 mm de diámetro, cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....150 mm



- Diámetro interior .....134 mm
- Sección total del conductor.....3569 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....9,63 kg/m
- Momento de inercia.....902 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....120 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....70.000 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>
- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....215 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....4408 A

La intensidad máxima admisible para estos tendidos es de 4408 A, equivalente a una potencia nominal en el embarrado de:

$$S = \sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 4408 = 1679,67 \text{ MVA}$$

Como se puede observar, este valor es muy superior a la carga máxima a transportar de 240 MVA.

Además estos embarrados cuentan con unos aisladores de soporte C10-1050, cuyas características mecánicas con las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....10000 N
- Carga de rotura a torsión.....5000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....170 mm
- Diámetro del aislador.....350 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV



### 2.5.3. Embarrados secundarios

Los embarrados secundarios del parque de 220kV serán tubos de aluminio de 100/88 mm de diámetro, cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....100 mm
- Diámetro interior .....88 mm
- Sección total del conductor.....1772 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....4,78 kg/m
- Momento de inercia.....196 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....100 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....70.000 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>
- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....215 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....2320 A

La intensidad máxima admisible para estos tendidos es de 2320 A, equivalente a una potencia nominal en el embarrado de:

$$S = \sqrt{3} \cdot 220000 \cdot 2320 = 884,03 \text{ MVA}$$

Como se puede observar, este valor es muy superior a la carga máxima a transportar de 240 MVA.

Además estos embarrados cuentan con unos aisladores de soporte C6-1050, cuyas características mecánicas con las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....6000 N
- Carga de rotura a torsión.....3000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm



- Altura de la pieza de soporte .....140 mm
- Diámetro del aislador.....254 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV

## 2.6. Cálculos mecánicos

### 2.6.1. Cálculo mecánico del embarrado principal

#### Hipótesis de diseño

Para los cálculos mecánicos de los embarrados principales del parque de 220kV, se han tenido una serie de consideraciones de diseño.

Las primeras de ellas están referidas a la situación de la subestación. Como ya se ha mencionado anteriormente, esta estará situada a una altura menor a 500 metros sobre el nivel del mar (Zona A según RLAT). En estas circunstancias las condiciones climatológicas que afectan en los cálculos de la subestación son las siguientes:

Hielo: según RLAT, en zona A, no se considera la existencia de hielo en las hipótesis de diseño.

Viento: según RLAT, en zona A, se deben tener en cuenta en las hipótesis de diseño la existencia de vientos. En el caso del presente proyecto, se harán los cálculos teniendo en cuenta una presión del viento sobre los embarrados, que garantice la mayor seguridad de todos los elementos. Esta será la siguiente:

$$\text{Velocidad del viento} = 140 \text{ km/h}$$

$$\text{Presión equivalente} = 945 \text{ N/m}^2$$



En cuanto a los parámetros geométricos y de anclaje que afectan al diseño mecánico de los embarrados, se han tomado las siguientes determinaciones:

- Vano: las barras principales se encuentran entre aisladores de soporte.
- Longitud del vano: 14 metros.
- Distancia entre las fases: 4 metros.

Otros parámetros que afectan en el diseño de los embarrados, son los relativos a las características mecánicas de los tubos y aisladores que lo forman. Dichas características ya han sido descritas en el apartado 2.5. Embarrados.

Para todos los cálculos que prosiguen, se han tenido en cuenta los procedimientos descritos por las normas UNE 60865 y UNE 60909.

### **Corriente de cresta**

Según criterios de diseño establecidos, se ha considerado como intensidad de cortocircuito:

$$I_{cc} = 40 \text{ kA}$$

Según la norma UNE 60909, se debe establecer una intensidad de cresta  $I_p$ , para aplicar a los cálculos de los embarrados. Además, dicha intensidad de cresta es la que va a determinar el poder de cierre de los interruptores. Dicha intensidad de cresta se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_p = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

Siendo,

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3k}$$



k, es la relación de impedancias equivalentes del sistema en el punto de cortocircuito, que para la red de transporte en este nivel de tensión, vale 0,07.

Realizando las operaciones correspondientes, se obtienen como resultado que la intensidad de cresta valdrá:

$$I_p = 102,63 \text{ kA.}$$

### **Tensión en el tubo**

Para calcular la tensión total que soporta el tubo, se tendrán en cuenta los esfuerzos producidos por el viento, por el peso propio del tubo y por cortocircuitos.

#### **Esfuerzos por viento:**

El esfuerzo producido por el viento dependerá de la presión que el mismo ejerza sobre el tubo y del diámetro externo del mismo. Se calculará para el caso más desfavorable de vientos de 140 km/h.

El esfuerzo del viento sobre el tubo será:

$$F_v = p_v \cdot D$$

Siendo,

- $p_v$ : la presión del viento, con un valor de  $945 \text{ N/m}^2$
- D: el diámetro exterior del tubo, con un valor de 150 mm.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_v = 141,75 \text{ N/m}$$



### Esfuerzos por el peso propio del tubo:

El esfuerzo del peso sobre el tubo, será el relativo al peso del propio tubo  $F_{pp}$ , más el peso del cable de unión con la aparatenta,  $F_{ca}$ :

$$F_p = F_{pp} + F_{ca}$$

Para calcular  $F_{pp}$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g$$

En la cual:

- $P_{pt}$ ; se refiere al peso propio del tubo, que toma un valor de 9,63 kg/m
- $g$ , es la constante de gravitación, que vale 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_{pp} = 94,4703 \text{ N/m}$$

Por otro lado, se debe calcular el esfuerzo debido al peso de cable de unión con la aparatenta, este, de tipo Lapwing, genera un esfuerzo de:

$$F_{ca} = 20,93 \text{ N/m}$$

Por tanto, sumando ambos valores calculados, se obtiene como esfuerzo total debido al peso:

$$F_p = 115,40 \text{ N/m}$$



### Esfuerzos por cortocircuito

El mayor esfuerzo ocasionado por la corriente de cortocircuito se dará en la fase del medio, por estar situada entre las otras dos fases. La fuerza estática  $F_c$  por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una corriente, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_c = 0,866 * \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot S}{A \cdot m}$
- $a$ : la distancia entre las fases, en este caso, 4 metros.
- $I_p$ : la intensidad de cresta previamente calculada, con valor 102,63 kA.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_c = 456,13 \text{ N/m}$$

Una vez que tenemos calculada esta fuerza, se le deben aplicar dos coeficientes que tienen en cuenta los efectos de la frecuencia de vibración del tubo. Dichos esfuerzos son:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68k} + 0,54 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

$$V_r = 1 - 0,615 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

De estos dos coeficientes el primero de ellos tiene en cuenta el efecto dinámico, y el segundo el reenganche de la línea.



Para calcularlos, hay que calcular previamente la frecuencia de vibración del tubo,  $f_c$ :

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{\frac{E * I}{m}}$$

Siendo,

- $\gamma$ : coeficiente de tubo y los apoyos, que toma un valor de 1,57.
- $l$ : longitud del vano, en este caso 14 metros.
- $E$ : modulo de Young del material, en este caso 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- $I$ : inercia de la sección, que toma el valor de 902 cm<sup>4</sup>
- $m$ : es la masa unitaria del tubo, incluido el cable de unión, que valdrá, 9,63 kg/m

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos el siguiente valor para la frecuencia de vibración:

$$f_c = 3,63 \text{ Hz}$$

Ahora que ya tenemos calculada la frecuencia de vibración, se pueden determinar los coeficientes previamente mencionados, asumiendo, según tablas de la norma UNE 60865, que  $k$  toma un valor de 1,6. Sustituyendo en las ecuaciones obtenemos los siguientes valores:

$$V_\sigma = 0,55$$

$$V_r = 1,58$$

Una vez conocidos dichos valores, los aplicamos a la fuerza de cortocircuito previamente calculada, y la multiplicamos también por un coeficiente relativo a la disposición de los apoyos, que según la norma UNE 60685 vale 0,73, para obtener la fuerza de cortocircuito final:



$$F_c = 456,13 \cdot 0,55 \cdot 1,58 \cdot 0,73 = 290,25 \text{ N/m}$$

### Tensión total en el tubo

Una vez calculados todos los esfuerzos que soporta el tubo, se calcula la tensión de trabajo del tubo, producida por cada uno de dichos esfuerzos.

Dicha tensión, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W}$$

Siendo,

- i: el número de vanos.
- l: la longitud de los vanos.
- P: la carga que produce el esfuerzo.
- W: el momento resistente del material, en este caso  $120 \text{ cm}^3$ .

Por tanto, los valores de tensión de trabajo, producidas por los diferentes esfuerzos sobre el tubo, serán los siguientes:

Tensión producida por esfuerzos por viento:

$$\sigma_v = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{141,75 \cdot 14^2}{0,00012} = 28,35 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por peso propio:

$$\sigma_{pp} = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{115,4 \cdot 14^2}{0,000120} = 15,38 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por cortocircuitos:



$$\sigma_c = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{290,25 \cdot 14^2}{0,000120} = 58,05 \text{ N/mm}^2$$

La tensión total de trabajo en el tubo será la suma geométrica de todas las tensiones, aplicándolas en sus respectivas direcciones.

Las tensiones del viento y de cortocircuito tienen la misma dirección y la tensión peso propio, es ortogonal a estas. Por tanto, la tensión total será:

$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_c)^2 + \sigma_{pp}^2} = \sqrt{(28,35 + 58,05)^2 + 215,38^2}$$

$$\sigma_{total} = 87,76 \text{ N/mm}^2$$

Según la normativa aplicada, el tubo soportará los esfuerzos producidos sobre él, si se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

Siendo,

- q: un factor geométrico que muestra la resistencia del conductor y que depende de la sección del mismo. Según la normativa aplicada, para tubos cilíndricos se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$q = 1,7 \cdot \frac{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^3}{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^4}$$

Donde s, es el espesor de la pared del tubo, cuyo valor es 8 mm y D, es el diámetro exterior, cuyo valor es 150 mm. Sustituyendo, toma un valor de:

$$q = 1,344$$



- $R_p$  : que es el límite de fluencia del material del tubo, cuyo valor es  $160 \text{ N/mm}^2$ .

Como se puede observar, para el tubo y configuración geométrica seleccionados, se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

$$87,76 \text{ N/mm}^2 \leq 1,344 \cdot 160 = 215,03 \text{ N/mm}^2$$

Tensión que es mucho menor que la máxima soportada por el tipo de tubo, para la configuración diseñada, por tanto se puede concluir que el embarrado principal del parque de 220kV está bien diseñado.

### **Reacciones sobre aisladores de soporte**

Según indica la norma UNE 60865, el máximo esfuerzo en el vano considerado se da en los aisladores intermedios, por lo que se aplica un factor de reparto de esfuerzos en el soporte de valor 0,5.

Los esfuerzos que tiene que soportar el aislador son todos de tipo horizontal y se tratan de los siguientes:

#### **Viento sobre el tubo.**

Que será el mismo valor que el calculado en el apartado anterior:

$$F_v = 141,75 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 14 metros, y por el número de vanos se obtiene:

$$F_v = 587 \text{ N}$$



### Esfuerzos por cortocircuito.

Igual que en el caso del viento sobre el tubo, toma el mismo valor que en el apartado anterior.

$$F_c = 456,13 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 14 metros, y por el número de vanos se obtiene:

$$F_v = 4314,8 \text{ N}$$

### Viento sobre el aislador

El esfuerzo ocasionado por el viento sobre el propio aislador, según la norma UNE 60865, se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{va} = L_a \cdot D_a \cdot P_v \cdot \alpha$$

Siendo;

- $L_a$ : la longitud del aislador, que en este caso es de 2,3 m.
- $D_a$ : el diámetro del aislador, que tiene el valor de 0,35 m.
- $P_v$ : presión del viento, anteriormente descrita.
- $\alpha$ : que es el coeficiente de reparto, 0,5.

Sustituyendo en la ecuación se obtiene el siguiente valor de esfuerzo producido por el viento sobre el aislador:

$$F_{va} = 380,36 \text{ N}$$

Sumando todos los esfuerzos sobre el aislador, sale un esfuerzo total sobre aislador con el siguiente valor:



$$F_t = 380,36 + 587 + 4314,8 = 5014,17 \text{ N}$$

Para comprobar si el aislador cumple con el coeficiente mínimo de seguridad que se exige para apoyos metálicos, se calcula el coeficiente de seguridad del aislador. Este se obtiene mediante el cociente entre la carga de rotura del aislador y la carga máxima total que soporta, y el mínimo exigido para estos apoyos metálicos es de 1,5.

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{10000}{5014,17} = 1,99$$

Como se puede observar, está muy por encima del coeficiente de seguridad mínimo exigido según normativa de 1,5, por tanto es válido el aislador seleccionado.

### **Flecha en el tubo**

Se va a calcular la flecha máxima que tendrá el tubo en su punto medio, por ser un parámetro interesante que puede aportar información útil en la evaluación del diseño de las barras.

Dicho parámetro, según la norma UNE 60865 se determina mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Siendo;

- P: carga vertical sobre el tubo, en esta caso de valor 115,40 N/m
- l: la longitud del vano, en este caso 14 m.
- E: módulo de Young del tubo, 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- I: momento de inercia de la sección del tubo, con valor 902 cm<sup>4</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene una valor de flecha del tubo, en el punto medio de:



$$f = 0,4 \text{ cm}$$

Como se puede observar, es un valor muy bajo, cumple con las expectativas de diseño del embarrado.

### **Elongación del embarrado**

El cálculo de la elongación que sufre el embarrado por efectos térmicos, se realiza para determinar si es necesaria la instalación de unas piezas elásticas que eliminarán los efectos adversos de dicha dilatación.

De acuerdo con la norma utilizada, la expresión que determina la elongación sufrida por el tubo será:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Siendo,

- $l_0$ : la longitud inicial del tubo, en este caso 14 metros.
- $\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal del tubo, que tiene un valor de 0,023 mm/m°C.
- $\Delta \theta$ : incremento de temperatura que se da entre la temperatura de montaje (35°C) y la temperatura de servicio (80°C), en este caso 45°C.

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos un valor para la elongación en el tubo de:

$$\Delta l = 8,28 \text{ mm}$$

Dado este valor de elongación, será necesaria la instalación de unas piezas especiales que absorban la dilatación.

### **Esfuerzo térmico en cortocircuito**

El cálculo de esfuerzo térmico que sufre el tubo en caso de cortocircuito es un parámetro importante, ya que nos indica si el tubo



va a soportar en caso de esta situación. Para determinar si va a soportar un cortocircuito, según la norma UNE 60685, se debe calcular la intensidad térmica en cortocircuito, mediante la siguiente expresión:

$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(m + n)}$$

Los valores de m y n, son dos coeficientes térmicos de disipación de calor, y son coeficientes obtenidos de la norma utilizada.

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene:

$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(0,097 + 0,758)} = 94,903 \text{ kA}$$

Este valor, debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con una densidad de 120 A/mm<sup>2</sup>, según normativa. Para el tubo seleccionado, la capacidad térmica será:

$$C_t = 120 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \cdot 3568,84 \text{ mm}^2 = 428,26 \text{ kA}$$

Como se puede observar, el tubo elegido aguanta ampliamente los efectos térmicos de un posible cortocircuito.

### **Cálculo del efecto corona**

El efecto corona puede tener efectos adversos sobre los embarrados diseñados. Para comprobar si se va a producir dicho efecto sobre los embarrados, es necesario determinar previamente la tensión crítica disruptiva  $U_c$ , la cual, para conductores cilíndricos se calcula mediante la fórmula de Peek:

$$U_c = m_c \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{of} \cdot r_1 \cdot \ln \frac{D}{r_1}$$



En dicha ecuación,

- $m_c$ : es el coeficiente de irregularidad del conductor, que para un tubo cilíndrico y liso tiene valor 1.
- $m_t$ : es el coeficiente meteorológico, que hace referencia a la humedad ambiental. En el caso de un clima seco, toma valor 1.
- $r_1$ : radio exterior del tubo, en este caso 150 mm.
- $D$ : es la distancia entre conductores, en este caso 4 metros.
- $\delta$ : es el factor de correlación de densidad del aire, que se calcula:

$$\delta = \frac{3,92 \cdot H}{273 + \phi}$$

$H$ , es la presión atmosférica en cm de mercurio, que se tomará como 760 y  $\phi$  es la temperatura del aire, tomada de 35°C.

Así, resulta un valor de  $\delta = 0,937$ .

- $E_{of}$ : es el valor eficaz de campo eléctrico para la aparición del efecto corona. Este valor, para conductores paralelos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_{of} = \frac{30 \cdot m_c \cdot (1 + \frac{0,3}{\sqrt{r_1}})}{\sqrt{2}}$$

Calculado dicho valor del campo eléctrico, se obtiene un valor de:

$$E_{of} = 23,53 \text{ kV/cm}$$

Una vez obtenidos todos los valores, calculado la tensión crítica disruptiva, se obtiene un valor de:

$$U_c = 678 \text{ kV}$$



Como se puede observar, este valor está muy alejado de la tensión nominal del parque, por lo que el efecto corona es normal que no se produzca.

## **2.6.2. Cálculo mecánico del embarrado secundario.**

### **Hipótesis de diseño**

Para los cálculos mecánicos de los embarrados secundarios del parque de 220kV, se han tenido una serie de consideraciones de diseño.

Las primeras de ellas están referidas a la situación de la subestación. Como ya se ha mencionado anteriormente, esta estará situada a una altura menor a 500 metros sobre el nivel del mar (Zona A según RLAT). En estas circunstancias las condiciones climatológicas que afectan en los cálculos de la subestación son las siguientes:

Hielo: según RLAT, en zona A, no se considera la existencia de hielo en las hipótesis de diseño.

Viento: según RLAT, en zona A, se deben tener en cuenta en las hipótesis de diseño la existencia de vientos. En el caso del presente proyecto, se harán los cálculos teniendo en cuenta una presión del viento sobre los embarrados, que garantice la mayor seguridad de todos los elementos. Esta será la siguiente:

$$\text{Velocidad del viento} = 140 \text{ km/h}$$

$$\text{Presión equivalente} = 945 \text{ N/m}^2$$

En cuanto a los parámetros geométricos y de anclaje que afectan al diseño mecánico de los embarrados, se han tomado las siguientes determinaciones:



- Vano: las barras principales se encuentran entre aisladores de soporte.
- Longitud del vano: 9,5 metros.
- Distancia entre las fases: 4 metros.

Otros parámetros que afectan en el diseño de los embarrados, son los relativos a las características mecánicas de los tubos y aisladores que lo forman. Dichas características ya han sido descritas en el apartado 2.5. Embarrados.

Para todos los cálculos que prosiguen, se han tenido en cuenta los procedimientos descritos por las normas UNE 60865 y UNE 60909.

### **Corrientes de cresta**

Según criterios de diseño establecidos, se ha considerado como intensidad de cortocircuito:

$$I_{cc} = 40 \text{ kA}$$

Según la norma UNE 60909, se debe establecer una intensidad de cresta  $I_p$ , para aplicar a los cálculos de los embarrados. Además, dicha intensidad de cresta es la que va a determinar el poder de cierre de los interruptores. Dicha intensidad de cresta se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_p = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

Siendo,

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3k}$$

$k$ , es la relación de impedancias equivalentes del sistema en el punto de cortocircuito, que para la red de transporte en este nivel de tensión, vale 0,07.



Realizando las operaciones correspondientes, se obtienen como resultado que la intensidad de cresta valdrá:

$$I_p = 102,63 \text{ kA.}$$

### **Tensión en el tubo**

Para calcular la tensión total que soporta el tubo, se tendrán en cuenta los esfuerzos producidos por el viento, por el peso propio del tubo y por cortocircuitos.

#### **Esfuerzos por viento:**

El esfuerzo producido por el viento dependerá de la presión que el mismo ejerza sobre el tubo y del diámetro externo del mismo. Se calculará para el caso más desfavorable de vientos de 140 km/h.

El esfuerzo del viento sobre el tubo será:

$$F_v = p_v \cdot D$$

Siendo,

- $p_v$ : la presión del viento, con un valor de  $945 \text{ N/m}^2$
- $D$ : el diámetro exterior del tubo, con un valor de  $0,100 \text{ m}$ .

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_v = 94,5 \text{ N/m}$$

#### **Esfuerzos por el peso propio del tubo:**

El esfuerzo del peso sobre el tubo, será el relativo al peso del propio tubo  $F_{pp}$ , más el peso del cable de unión con la aparatenta,  $F_{ca}$ :



$$F_p = F_{pp} + F_{ca}$$

Para calcular  $F_{pp}$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g$$

En la cual:

- $P_{pt}$ : se refiere al peso propio del tubo, que toma un valor de 4,78 kg/m
- $g$ , es la constante de gravitación, que vale 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_{pp} = 46,89 \text{ N/m}$$

Por otro lado, se debe calcular el esfuerzo debido al peso de cable de unión con la aparamenta, este, de tipo Lapwing, genera un esfuerzo de:

$$F_{ca} = 20,93 \text{ N/m}$$

Por tanto, sumando ambos valores calculados, se obtiene como esfuerzo total debido al peso:

$$F_p = 67,83 \text{ N/m}$$

### Esfuerzos por cortocircuito

El mayor esfuerzo ocasionado por la corriente de cortocircuito se dará en la fase del medio, por estar situada entre las otras dos fases. La fuerza estática  $F_c$  por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una corriente, se calcula mediante la siguiente ecuación:



$$F_c = 0,866 * \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot S}{A \cdot m}$
- a: la distancia entre las fases, en este caso, 4 metros.
- $I_p$ : la intensidad de cresta previamente calculada, con valor 102,63 kA.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_c = 456,13 \text{ N/m}$$

Una vez que tenemos calculada esta fuerza, se le deben aplicar dos coeficientes que tienen en cuenta los efectos de la frecuencia de vibración del tubo. Dichos esfuerzos son:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68k} + 0,54 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

$$V_r = 1 - 0,615 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

De estos dos coeficientes el primero de ellos tiene en cuenta el efecto dinámico, y el segundo el reenganche de la línea.

Para calcularlos, hay que calcular previamente la frecuencia de vibración del tubo,  $f_c$ :

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{\frac{E * I}{m}}$$

Siendo,

- $\gamma$ : coeficiente de tubo y los apoyos, que toma un valor de 1,57.
- l: longitud del vano, en este caso 9,5 metros.
- E: modulo de Young del material, en este caso 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- I: inercia de la sección, que toma el valor de 196 cm<sup>4</sup>



- $m$ : es la masa unitaria del tubo, incluido el cable de unión, que valdrá, 6,91 kg/m

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos el siguiente valor para la frecuencia de vibración:

$$f_c = 2,45 \text{ Hz}$$

Ahora que ya tenemos calculada la frecuencia de vibración, se pueden determinar los coeficientes previamente mencionados, asumiendo, según tablas de la norma UNE 60865, que  $k$  toma un valor de 1,6. Sustituyendo en las ecuaciones obtenemos los siguientes valores:

$$V_\sigma = 0,35$$

$$V_r = 1,8$$

Una vez conocidos dichos valores, los aplicamos a la fuerza de cortocircuito previamente calculada, y la multiplicamos también por un coeficiente relativo a la disposición de los apoyos, que según la norma UNE 60685 vale 0,73, para obtener la fuerza de cortocircuito final:

$$F_c = 456,13 \cdot 0,35 \cdot 1,8 \cdot 0,73 = 212,91 \text{ N/m}$$

### Tensión total en el tubo

Una vez calculados todos los esfuerzos que soporta el tubo, se calcula la tensión de trabajo del tubo, producida por cada uno de dichos esfuerzos.

Dicha tensión, se calcula mediante la siguiente expresión:



$$\sigma_i = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W}$$

Siendo,

- i: el número de vanos.
- l: la longitud de los vanos.
- P: la carga que produce el esfuerzo.
- W: el momento resistente del material, en este caso 100 cm<sup>3</sup>.

Por tanto, los valores de tensión de trabajo, producidas por los diferentes esfuerzos sobre el tubo, serán los siguientes:

Tensión producida por esfuerzos por viento:

$$\sigma_v = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{94,5 \cdot 9,5^2}{0,0001} = 21,32 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por peso propio:

$$\sigma_{pp} = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{46,89 \cdot 9,5^2}{0,0001} = 15,39 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por cortocircuitos:

$$\sigma_c = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{456,13 \cdot 9,5^2}{0,0001} = 56,4 \text{ N/mm}^2$$

La tensión total de trabajo en el tubo será la suma geométrica de todas las tensiones, aplicándolas en sus respectivas direcciones.

Las tensiones del viento y de cortocircuito tienen la misma dirección y la tensión peso propio, es ortogonal a estas. Por tanto, la tensión total será:



$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_c)^2 + \sigma_{pp}^2} = \sqrt{(21,31 + 56,4)^2 + 15,39^2}$$

$$\sigma_{total} = 71,02 \text{ N/mm}^2$$

Según la normativa aplicada, el tubo soportará los esfuerzos producidos sobre él, si se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

Siendo,

- q: un factor geométrico que muestra la resistencia del conductor y que depende de sección del mismo. Según la normativa aplicada, para tubos cilíndricos se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$q = 1,7 \cdot \frac{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^3}{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^4}$$

Donde s, es el espesor de la pared del tubo, cuyo valor es 6 mm y D, es el diámetro exterior, cuyo valor es 100 mm. Sustituyendo, toma un valor de:

$$q = 1,342$$

- R<sub>p</sub> : que es el límite de fluencia del material del tubo, cuyo valor es 160 N/mm<sup>2</sup>.

Como se puede observar, para el tubo y configuración geométrica seleccionados, se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

$$71,02 \text{ N/mm}^2 \leq 1,344 \cdot 160 = 216,4 \text{ N/mm}^2$$



Tensión que es mucho menor que la máxima soportada por el tipo de tubo, para la configuración diseñada, por tanto se puede concluir que el embarrado secundario del parque de 220kV está bien diseñado.

### **Reacciones sobre aisladores de soporte**

Según indica la norma UNE 60865, el máximo esfuerzo en el vano considerado se da en los aisladores intermedios, por lo que se aplica un factor de reparto de esfuerzos en el soporte de valor 0,5.

Los esfuerzos que tiene que soportar el aislador son todos de tipo horizontal y se tratan de los siguientes:

#### Viento sobre el tubo.

Que será el mismo valor que el calculado en el apartado anterior:

$$F_v = 94,5 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 9,5 metros, y por el número de vanos se obtiene:

$$F_v = 448,87 \text{ N}$$

#### Esfuerzos por cortocircuito.

Igual que en el caso del viento sobre el tubo, toma el mismo valor que en el apartado anterior.

$$F_c = 291,65 \text{ N/m}$$



Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 9,5 metros, y por el número de vanos se obtiene:

$$F_c = 3668,81 N$$

#### Viento sobre el aislador

El esfuerzo ocasionado por el viento sobre el propio aislador, según la norma UNE 60865, se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{va} = L_a \cdot D_a \cdot P_v \cdot \alpha$$

Siendo;

- $L_a$ : la longitud del aislador, que en este caso es de 2,3 m.
- $D_a$ : el diámetro del aislador, que tiene el valor de 0,254 m.
- $P_v$ : presión del viento, anteriormente descrita.
- $\alpha$ : que es el coeficiente de reparto, 0,5.

Sustituyendo en la ecuación se obtiene el siguiente valor de esfuerzo producido por el viento sobre el aislador:

$$F_{va} = 276,03 N$$

Sumando todos los esfuerzos sobre el aislador, sale un esfuerzo total sobre aislador con el siguiente valor:

$$F_t = 448,87 + 3668,81 + 276,03 = 4167,84 N$$

Para comprobar si el aislador cumple con el coeficiente mínimo de seguridad que se exige para apoyos metálicos, se calcula el coeficiente de seguridad del aislador. Este se obtiene mediante el



cociente entre la carga de rotura del aislador y la carga máxima total que soporta, y el mínimo exigido para estos apoyos metálicos es de 1,5.

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{7000}{4167,84} = 1,67$$

Como se puede observar, está muy por encima del coeficiente de seguridad mínimo exigido según normativa de 1,5, por tanto es válido el aislador seleccionado.

### **Flecha en el tubo**

Se va a calcular la flecha máxima que tendrá el tubo en su punto medio, por ser un parámetro interesante que puede aportar información útil en la evaluación del diseño de las barras.

Dicho parámetro, según la norma UNE 60865 se determina mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Siendo;

- P: carga vertical sobre el tubo, en esta caso de valor 46,89 N/m
- l: la longitud del vano, en este caso 9,5 m.
- E: módulo de Young del tubo, 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- I: momento de inercia de la sección del tubo, con valor 196 cm<sup>4</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene un valor de flecha del tubo, en el punto medio de:

$$f = 2,57 \text{ mm}$$

Como se puede observar, es un valor muy bajo, cumple con las expectativas de diseño del embarrado.



## **Elongación del embarrado**

El cálculo de la elongación que sufre el embarrado por efectos térmicos, se realiza para determinar si es necesaria la instalación de unas piezas elásticas que eliminarán los efectos adversos de dicha dilatación.

De acuerdo con la norma utilizada, la expresión que determina la elongación sufrida por el tubo será:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Siendo,

- $l_0$ : la longitud inicial del tubo, en este caso 9,5 metros.
- $\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal del tubo, que tiene un valor de 0,023 mm/m°C.
- $\Delta\theta$ : incremento de temperatura que se da entre la temperatura de montaje (35°C) y la temperatura de servicio (80°C), en este caso 45°C.

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos un valor para la elongación en el tubo de:

$$\Delta l = 9,83 \text{ mm}$$

Dado este valor de elongación, será necesaria la instalación de unas piezas especiales que absorban la dilatación.

## **Esfuerzos térmicos cortocircuito**

El cálculo de esfuerzo térmico que sufre el tubo en caso de cortocircuito es un parámetro importante, ya que nos indica si el tubo va a soportar en caso de esta situación. Para determinar si va a soportar un cortocircuito, según la norma UNE 60685, se debe calcular la intensidad térmica en cortocircuito, mediante la siguiente expresión:



$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(m + n)}$$

Los valores de m y n, son dos coeficientes térmicos de disipación de calor, y son coeficientes obtenidos de la norma utilizada.

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene:

$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(0,097 + 0,758)} = 94,90 \text{ kA}$$

Este valor, debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con una densidad de 120 A/mm<sup>2</sup>, según normativa. Para el tubo seleccionado, la capacidad térmica será:

$$C_t = 120 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \cdot 1771,85 \text{ mm}^2 = 212,62 \text{ kA}$$

Como se puede observar, el tubo elegido aguanta ampliamente los efectos térmicos de un posible cortocircuito.

### **Cálculo del efecto corona**

El efecto corona puede tener efectos adversos sobre los embarrados diseñados. Para comprobar si se va a producir dicho efecto sobre los embarrados, es necesario determinar previamente la tensión crítica disruptiva  $U_c$ , la cual, para conductores cilíndricos se calcula mediante la fórmula de Peek:

$$U_c = m_c \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{of} \cdot r_1 \cdot \ln \frac{D}{r_1}$$

En dicha ecuación,

- $m_c$ : es el coeficiente de irregularidad del conductor, que para un tubo cilíndrico y liso tiene valor 1.
- $m_t$ : es el coeficiente meteorológico, que hace referencia a la humedad ambiental. En el caso de un clima seco, toma valor 1.
- $r_1$ : radio exterior del tubo, en este caso 100 mm.



- D: es la distancia entre conductores, en este caso 4 metros.
- $\delta$ : es el factor de correlación de densidad del aire, que se calcula:

$$\delta = \frac{3,92 \cdot H}{273 + \phi}$$

H, es la presión atmosférica en cm de mercurio, que se tomará como 760 y  $\phi$  es la temperatura del aire, tomada de 35°C.

Así, resulta un valor de  $\delta = 0,937$ .

- $E_{of}$ : es el valor eficaz de campo eléctrico para la aparición del efecto corona. Este valor, para conductores paralelos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_{of} = \frac{30 \cdot m_c \cdot (1 + \frac{0,3}{\sqrt{r_1}})}{\sqrt{2}}$$

Calculado dicho valor del campo eléctrico, se obtiene un valor de:

$$E_{of} = 24,09 \text{ kV/cm}$$

Una vez obtenidos todos los valores, calculando la tensión crítica disruptiva, se obtiene un valor de:

$$U_c = 509,88 \text{ kV}$$

Como se puede observar, este valor está muy alejado de la tensión nominal del parque, por lo que el efecto corona es muy probable que no se produzca.



## 2.7. Selección de autoválvulas

Para la selección de las autoválvulas del parque de 220kV, se han seguido las especificaciones de seguridad exigidas por la R.E.E. en el ET025.

Lo primero que se debe determinar para la selección de las autoválvulas es su tensión asignada. Esta depende de la tensión más elevada del material, que en el parque de 220kV tiene un valor de 245 kV, y de tiempo de despeje a falta, que como ya se ha comentado anteriormente es de 0,5 segundos. Con estos dos parámetros y según la normativa utilizada, se determina que la mínima tensión asignada a la autoválvula debe de ser:

$$U_r \geq 0,72 \cdot U_m$$

Sustituyendo valores, se obtiene como tensión mínima asignada a la autoválvula:

$$U_r = 0,72 \cdot 245 = 176,4 \text{ kV}$$

Una vez determinada la tensión mínima asignada, se debe de calcular la línea de fuga mínima, que según la normativa, viene determinada por la siguiente expresión:

$$L_{fuga} = L_{min} \cdot U_m$$

Siendo:

- $L_{min}$  : la longitud mínima específica, que para zonas de alta contaminación se considera 25 mm/kV.
- $U_m$  : la tensión más elevada del materia, que para el parque de 200 kV, vale 245 V.



Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene una línea de fuga:

$$L_{fuga} = 6125 \text{ mm} = 0,6125 \text{ m}$$

La válvula seleccionada que cumple con estas especificaciones será una de clase 3 EXLIM Q180-EH245, cuya tensión residual toma el valor de 423kV, tiene una línea de fuga de 6336 mm. Dichos valores, cumplen con los requeridos según los cálculos realizados.

Una vez seleccionada la autoválvula, se puede determinar la energía que deberá absorber en caso de sobretensiones. Esta viene determinada por la siguiente expresión:

$$W = \frac{U_L - U_{res}}{z} \cdot U_{res} \cdot 2T \cdot n$$

Siendo:

- W: La energía absorbida por la autoválvula.
- $U_L$ : Sobretensión eventual sin pararrayos (kV), que tendrá el valor de 3,0. Este valor viene determinado por la tabla 3.
- $U_{RES}$ : Tensión residual de la autoválvula.
- Z: resistencia de la autoválvula (ohm), que tendrá un valor de 400 ohm. Este valor viene determinado por la tabla 3.
- N: es el número consecutivo de descargas posibles, que según la norma UNE 60855, se toma como 2, por seguridad.
- T: es el tiempo de propagación de la onda, que se calcula según la siguiente expresión:

$$T = l/v$$

donde, l, se refiere a la longitud de la línea hasta el entronque, y v a la velocidad de propagación, que toma un valor constante de 0,3 km/ $\mu$ s. Como longitud hasta el entronque al ser por el momento un dato desconocido, ya que debe ser facilitado por el



propietario de la línea de transporte a la que se conectará el parque, se va a tomar un valor de 0,5 km para los cálculos.

Se obtiene por tiempo de propagación de:

$$T = 0,15 \mu s$$

Tensión más elevada de material, $U_m$ (kV)	Impedancia del pararrayos, $Z$ (ohm)	Sobretensión eventual sin pararrayos, $U_L$ (p.u)
< 145	450	3,0
145 – 345	400	3,0
345 – 525	350	2,6
>525	300	2,2

Tabla 15. Fuente: elaboración propia, datos extraídos de R.E.E., ET025

Una vez conocidos todas las características de la autoválvula y sustituyendo todos los valor en la ecuación, se obtiene un valor de energía absorbida de:

$$W = 989,2 \text{ kJ}$$

Para comprobar que la autoválvula seleccionada es adecuada, se debe de calcular la capacidad de absorción de energía necesaria que debe de cumplir, que vendrá determinada por :

$$C = \frac{w}{U_r} = \frac{989,2}{176,4} = 5,607 \text{ kJ/kV}$$

Las especificaciones de la autoválvula seleccionada, EXLIM Q180-EH245, establecen que dicha autoválvula es capaz de disipar hasta 7,8 KJ/kV, por tanto es la elección correcta para el parque de 220kV.



### 3. Parque de 66kV

#### 3.1. Tensiones nominales normalizadas

Según las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 04, los valores normalizados de tensiones y de tensiones más elevada para el material son los que aparecen en la tabla 4.

Tensión nominal de la red, $U_n$ (kV)	Tensión más elevada material, $U_m$ (kV)
3	3,6
6	7,2
15	17,5
20	24
30	36
45	52
66	72,5
110	123
132	145
220	245
380	420

Tabla 16. Fuente: elaboración propia, datos extraídos de MIE RAT 04.

Como se puede deducir de la tabla 4., para el parque de 66kV, corresponde una tensión más elevada para el material de 72,5 kV.

#### 3.2. Niveles de aislamiento

Según las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 12, los valores normalizados de los niveles de aislamiento de los aparatos de alta tensión, definidos por las tensiones soportadas nominales para distintos tipos de sollicitaciones dieléctricas, se separan en tres grupos según los valores de la tensión más elevada para el material:



- Grupo A: Tensión mayor de 1kV y menor de 52kV.
- Grupo B: Tensión igual o mayor de 52kV y menos de 300kV.
- Grupo C: Tensión igual o mayor de 300kV.

Por tanto, para el parque de 66kV, los niveles de aislamiento que se han adoptado, de acuerdo con el MIE-RAT 12, son los que corresponden a materiales del Grupo B para aislamiento pleno.

Para dicho grupo B se deduce que, en el sistema de 66 kV el material soporta permanentemente como tensión más elevada 72,5 kV eficaces, así como 325 kV cresta a impulsos tipo rayo y 140 kV eficaces a frecuencia industrial.

Esto se ha deducido de la siguiente Tabla 5:

<b>Tensión más elevada para el material, <math>U_m</math> (kV)</b>	<b>Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV)</b>	<b>Tensión soportada nominal de corta duración a frecuencia industrial (kV)</b>
52	250	95
72,5	325	140
123	550	230
145	650	275
170	750	325
245	1050	460

Tabla 17. Fuente: elaboración propia, datos extraídos de MIE RAT 12.



### **3.3. Distancias mínimas**

#### **3.3.1. Distancias fase-tierra y entre fases**

La determinación de las distancias mínimas que debe de haber entre fases y entre fase y tierra, se establece de acuerdo con el nivel de aislamiento adoptado, en este caso el del grupo B, y lo indicado en las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 12.

Según la misma, teniendo en cuenta la tensión soportada nominal de los impulsos tipo rayo, de 325kV, se determinan las siguientes distancias mínimas a cumplir:

- Distancia mínima entre fase y tierra: se establecerá una distancia mínima de 63 cm.
- Distancia mínima entre fases: al igual que en el caso anterior, se establecerá una distancia mínima de 63 cm.

Todas las distancias diseñadas del parque de 66kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.

#### **3.3.2. Distancias en pasillos de servicio y zonas de protección**

Según la instrucción técnica complementaria MIE RAT 15, para los pasillos de servicio, se deben cumplir las siguientes medidas:

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



Además, las distancias mínimas en pasillos de servicio y zonas de protección, se establece para los elementos en tensión que no estén protegidos y que se encuentren elevados sobre pasillos. Todos ellos deben estar a una altura “H” sobre el suelo.

La determinación de dicha altura se establece, de acuerdo con las instrucciones técnicas complementarias MIE RAT 13. Según esta, la altura “H” en centímetros a la que deben ubicarse los elementos en tensión no protegidos es:

$$H = 250 + d$$

Siendo “d” la distancia expresada en centímetros, según la Tabla 2.2, obtenida de MIE RAT 11. Por tanto, se obtiene que para el parque de 66kV, se obtiene una “d” de 63 cm, en el caso más desfavorable, por tanto:

$$H = 250 + d = 250 + 63 = 313 \text{ cm}$$

Todas las distancias diseñadas del parque de 66kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.

### **3.3.3. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación**

Según la instrucción técnica complementaria MIE RAT 15, se deben establecer unos sistemas de protección que deben mantener unas distancias horizontales mínimas con los elementos en tensión. Estas son:



- 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 otro tipo:

$$E = d + 30$$

Dado que el valor de “d” en el caso más desfavorable es de 63 cm, obtenido en el apartado 2.3.2., se obtienen las siguientes distancias mínimas:

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

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

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

Todas las distancias diseñadas del parque de 66kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.



### **3.3.4. Distancias en zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación**

Según la instrucción técnica complementaria MIE RAT 15, para evitar los contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión, deben existir entre estos y el cierre unas distancias mínimas de seguridad. Estas son:

- Distancias en horizontal del elemento de tensión hasta el cierre del recinto cuando este es una pared maciza :

$$F = d + 100$$

- De los elementos en tensión al cierre cuando este es un enrejado:

$$G = d + 150$$

Siendo “d” en ambos casos de valor 63, obtenido en el apartado 2.3.2., y considerando que en el parque de 66kV no hay ningún cierre de recinto de tipo macizo, siendo todo enrejado, la distancia mínima que se debe guardar con el enrejado será:

$$G = 63 + 150 = 213 \text{ m}$$

Todas las distancias diseñadas del parque de 66kV y establecidas en este apartado, son superiores a las distancias mínimas calculadas. Distancias que se pueden comprobar en el documento Planos.



### 3.4. Cálculos eléctricos

#### 3.4.1. Corrientes nominales

El parque de 66kV contará con cinco posiciones de línea, una posición de acoplamiento y dos posiciones de transformación de 120 MVA 220kV/66kV.

La intensidad máxima que podrá circular por el parque de 66kV viene impuesta por la intensidad nominal de la posición de transformación en las condiciones más desfavorables de funcionamiento, con una sola barra principal operativa.

En ese caso, siendo la potencia de la transformación de 240 MVA, la corriente máxima que circulará por el embarrado principal en caso de fallo o mantenimiento del otro será:

$$I_n = \frac{240000000}{\sqrt{3} \cdot 66000} = 2099,45 \text{ A}$$

Para el caso de los embarrados secundarios, la corriente máxima que circulará, será solo la de una de las posiciones de transformación, y por tanto la debida a las 120 MVA de dicha posición. Por tanto será:

$$I_n = \frac{120000000}{\sqrt{3} \cdot 66000} = 1049,72 \text{ A}$$

#### 3.4.2. Corriente de cortocircuito

Las corriente de cortocircuito que puede aparecer en las barras principales del parque de baja tensión, se determinan mediante el cálculo sobre el diagrama unifilar de la subestación utilizando el método por unidad.



En primer lugar se establecen como potencia y tensión base las de la transformación:

$$V_b = 220 \text{ kV}$$

$$S_b = 240 \text{ MVA}$$

La corriente de cortocircuito en las barras principales del lado de alta tensión, como ya se ha indicado anteriormente es de 15,3 kA. Y la potencia correspondiente 5830,08 MVA.

La reactancia de dispersión de cada uno de los transformadores, como se indica en la hoja de características del transformador, es del 12%. Reduciéndolo a su valor por unidad se obtiene

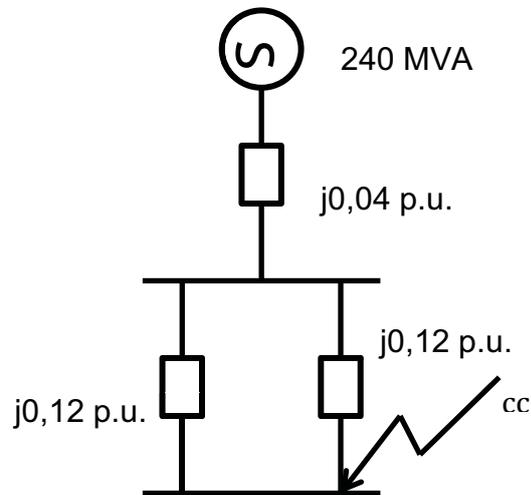
$$X_{T \text{ p.u.}} = X_T \cdot \frac{\frac{V_T}{S_T^2}}{\frac{V_B}{S_B^2}} = j0,12 \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{\frac{(240 \cdot 10^6)^2}{220 \cdot 10^3}} = j0,12 \text{ p.u.}$$

La reactancia por unidad equivalente a las líneas de entrada a la subestación será:

$$X_{E \text{ p.u.}} = \frac{S_B}{S_{cc1}} = \frac{240 \text{ MVA}}{5830,08 \text{ MVA}} = j0,04 \text{ p.u.}$$



Por tanto, se obtiene un esquema equivalente en p.u. como el siguiente:



La reactancia equivalente total del circuito saldrá de la asociación de las tres reactancias que de las que se disponen, obteniendo:

$$X_{Total} = j0,04 + \frac{j0,12 \cdot j0,12}{j0,12 + j0,12} = j0,1$$

Obteniéndose por tanto una potencia de cortocircuito en las barras del parque de baja tensión de:

$$S_{cc2} = \frac{240 \text{ MVA}}{j0,1} = 2400 \text{ MVA}$$

Y por consiguiente, una corriente de cortocircuito en las barras del secundario de:

$$I_{cc2} = \frac{2400 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 66 \text{ kV}} = 20994,5 \text{ kA}$$

A pesar de los anteriores valores de cortocircuito obtenidos, para los cálculos de todos los elementos del parque, se ha establecido como corriente de cortocircuito, una que sea lo suficientemente elevada



como para que el diseño sea lo suficiente seguro y fiable. Esta corriente viene establecida por la Norma UNE 60865. En este caso, la corriente de cortocircuito de diseño del parque de 66kV, con un tiempo de despeje de falta de 0,5 segundos, será:

$$I_{cc} = 31,5kA$$

### 3.5. Embarrados

#### 3.5.1. Embarrados flexibles

Los embarrados de flexibles del parque de 66kV estarán formados por cables de aluminio L-630 con la siguiente configuración y características:

- Formación.....Duplex
- Tipo.....Lapwing
- Sección total del conductor.....634,70 mm<sup>2</sup>
- Diámetro exterior.....32,76 mm
- Intensidad máxima admisible.....2015 A

El amarre de conexión de los embarrados tendidos a los pórticos se realizará mediante cadenas de aisladores. Dichos aisladores serán en forma de disco y su designación es U 40 BS; sus características principales son:

- Tipo ..... Normal
- Diámetro..... 175 mm
- Paso ..... 100 mm
- Línea de fuga ..... 185 mm

De acuerdo con MIE RAT 04, el número de aisladores que se deben de colocar viene determinado por la siguiente ecuación:



$$N_a = V_{ff} \cdot \frac{G_a}{L_f}$$

Siendo:

$L_f$  : Distancia de fuga [mm]

$V_{ff}$  : Tensión nominal del sistema [kV]

$G_a$  : Grado de aislamiento del aislador, que toma un valor de 235 mm/kV.

Sustituyendo dichos valores en la ecuación, se obtiene que serán necesarios 11 aisladores.

La intensidad máxima admisible para estos tendidos es de 2015 A, equivalente a una potencia nominal en el embarrado de:

$$S = \sqrt{3} \cdot 66000 \cdot 2015 = 230,34 \text{ MVA}$$

Como se puede observar, este valor es muy superior a la carga máxima a transportar.

### 3.5.2. Embarrados principales

Los embarrados principales del parque de 66kV serán tubos de aluminio de 120/100 mm de diámetro, cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....120 mm
- Diámetro interior .....100 mm
- Sección total del conductor.....3456 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....9,33 kg/m
- Momento de inercia.....812 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....110 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....69.200 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>



- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....205 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....3795 A

La intensidad máxima admisible para estos tendidos es de 3795 A, equivalente a una potencia nominal en el embarrado de:

$$S = \sqrt{3} \cdot 66000 \cdot 3795 = 433,82 \text{ MVA}$$

Como se puede observar, este valor es muy superior a la carga máxima a transportar.

Además estos embarrados cuentan con unos aisladores de soporte C10-1050, cuyas características mecánicas con las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....10000 N
- Carga de rotura a torsión.....5000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....170 mm
- Diámetro del aislador.....350 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV

### 3.5.3. Embarrados secundarios

Los embarrados secundarios del parque de 66kV serán tubos de aluminio de 80/68 mm de diámetro, cuyas características son las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetro exterior.....80 mm
- Diámetro interior .....68 mm



- Sección total del conductor.....1394 mm<sup>2</sup>
- Peso propio.....3,76 kg/m
- Momento de inercia.....96,1 cm<sup>4</sup>
- Momento resistente.....90 cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young.....68.600 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de fluencia.....160 N/mm<sup>2</sup>
- Coeficiente de dilatación.....0,023 mm/m°C
- Carga de rotura.....225 N/mm<sup>2</sup>
- Intensidad máxima admisible.....2020 A

La intensidad máxima admisible para estos tendidos es de 2020 A, equivalente a una potencia nominal en el embarrado de:

$$S = \sqrt{3} \cdot 660000 \cdot 2020 = 230,91 \text{ MVA}$$

Como se puede observar, este valor es muy superior a la carga máxima a transportar.

Además estos embarrados cuentan con unos aisladores de soporte C6-1050, cuyas características mecánicas con las siguientes:

- Carga de rotura a flexión.....6000 N
- Carga de rotura a torsión.....3000 N
- Altura del aislador..... 2300 mm
- Altura de la pieza de soporte .....140 mm
- Diámetro del aislador.....254 mm
- Tensión nominal ..... 245 kV
- Tensión máxima del material..... 1050 kV
- Tensión soportada bajo lluvia ..... 460 kV



### **3.6. Cálculos mecánicos**

#### **3.6.1. Cálculo mecánico del embarrado principal**

##### **Hipótesis de diseño**

Para los cálculos mecánicos de los embarrados principales del parque de 66kV, se han tenido una serie de consideraciones de diseño.

Las primeras de ellas están referidas a la situación de la subestación. Como ya se ha mencionado anteriormente, esta estará situada a una altura menor a 500 metros sobre el nivel del mar (Zona A según RLAT). En estas circunstancias las condiciones climatológicas que afectan en los cálculos de la subestación son las siguientes:

Hielo: según RLAT, en zona A, no se considera la existencia de hielo en las hipótesis de diseño.

Viento: según RLAT, en zona A, se deben tener en cuenta en las hipótesis de diseño la existencia de vientos. En el caso del presente proyecto, se harán los cálculos teniendo en cuenta una presión del viento sobre los embarrados, que garantice la mayor seguridad de todos los elementos. Esta será la siguiente:

$$\text{Velocidad del viento} = 140 \text{ km/h}$$

$$\text{Presión equivalente} = 945 \text{ N/m}^2$$

En cuanto a los parámetros geométricos y de anclaje que afectan al diseño mecánico de los embarrados, se han tomado las siguientes determinaciones:

- Vano: las barras principales se encuentran entre aisladores de soporte.
- Longitud del vano: 8 metros.



- Distancia entre las fases: 2 metros.

Otros parámetros que afectan en el diseño de los embarrados, son los relativos a las características mecánicas de los tubos y aisladores que lo forman. Dichas características ya han sido descritas en el apartado 2.5. Embarrados.

Para todos los cálculos que prosiguen, se han tenido en cuenta los procedimientos descritos por las normas UNE 60865 y UNE 60909.

### **Corriente de cresta**

Según criterios de diseño establecidos, se ha considerado como intensidad de cortocircuito:

$$I_{cc} = 31,5 \text{ kA}$$

Según la norma UNE 60909, se debe establecer una intensidad de cresta  $I_p$ , para aplicar a los cálculos de los embarrados. Además, dicha intensidad de cresta es la que va a determinar el poder de cierre de los interruptores. Dicha intensidad de cresta se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_p = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

Siendo,

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3k}$$

$k$ , es la relación de impedancias equivalentes del sistema en el punto de cortocircuito, que para la red de transporte en este nivel de tensión, vale 0,07.

Realizando las operaciones correspondientes, se obtienen como resultado que la intensidad de cresta valdrá:



$$I_p = 80,82 \text{ kA.}$$

### Tensión en el tubo

Para calcular la tensión total que soporta el tubo, se tendrán en cuenta los esfuerzos producidos por el viento, por el peso propio del tubo y por cortocircuitos.

#### Esfuerzos por viento:

El esfuerzo producido por el viento dependerá de la presión que el mismo ejerza sobre el tubo y del diámetro externo del mismo. Se calculará para el caso más desfavorable de vientos de 140 km/h.

El esfuerzo del viento sobre el tubo será:

$$F_v = p_v \cdot D$$

Siendo,

- $p_v$ : la presión del viento, con un valor de  $945 \text{ N/m}^2$
- $D$ : el diámetro exterior del tubo, con un valor de  $0,120 \text{ m}$ .

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_v = 113,4 \text{ N/m}$$

#### Esfuerzos por el peso propio del tubo:

El esfuerzo del peso sobre el tubo, será el relativo al peso del propio tubo  $F_{pp}$ , más el peso del cable de unión con la aparatenta,  $F_{ca}$ :

$$F_p = F_{pp} + F_{ca}$$



Para calcular  $F_{pp}$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g$$

En la cual:

- $P_{pt}$ ; se refiere al peso propio del tubo, que toma un valor de 9,33 kg/m
- $g$ , es la constante de gravitación, que vale 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_{pp} = 91,52 \text{ N/m}$$

Por otro lado, se debe calcular el esfuerzo debido al peso de cable de unión con la aparatamenta, este, de tipo Lapwing, genera un esfuerzo de:

$$F_{ca} = 15,2 \text{ N/m}$$

Por tanto, sumando ambos valores calculados, se obtiene como esfuerzo total debido al peso:

$$F_p = 106,72 \text{ N/m}$$

### Esfuerzos por cortocircuito

El mayor esfuerzo ocasionado por la corriente de cortocircuito se dará en la fase del medio, por estar situada entre las otras dos fases. La fuerza estática  $F_c$  por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una corriente, se calcula mediante la siguiente ecuación:



$$F_c = 0,866 * \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot S}{A \cdot m}$
- a: la distancia entre las fases, en este caso, 2 metros.
- $I_p$ : la intensidad de cresta previamente calculada, con valor 80,82 kA.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_c = 565,74 \text{ N/m}$$

Una vez que tenemos calculada esta fuerza, se le deben aplicar dos coeficientes que tienen en cuenta los efectos de la frecuencia de vibración del tubo. Dichos esfuerzos son:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68k} + 0,54 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

$$V_r = 1 - 0,615 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

De estos dos coeficientes el primero de ellos tiene en cuenta el efecto dinámico, y el segundo el reenganche de la línea.

Para calcularlos, hay que calcular previamente la frecuencia de vibración del tubo,  $f_c$ :

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{\frac{E * I}{m}}$$

Siendo,

- $\gamma$ : coeficiente de tubo y los apoyos, que toma un valor de 1,57.
- l: longitud del vano, en este caso 8 metros.
- E: modulo de Young del material, en este caso 70000 N/mm<sup>2</sup>
- I: inercia de la sección, que toma el valor de 812 cm<sup>4</sup>



- $m$ : es la masa unitaria del tubo, incluido el cable de unión, que valdrá, 10,87 kg/m

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos el siguiente valor para la frecuencia de vibración:

$$f_c = 5,607 \text{ Hz}$$

Ahora que ya tenemos calculada la frecuencia de vibración, se pueden determinar los coeficientes previamente mencionados, asumiendo, según tablas de la norma UNE 60865, que  $k$  toma un valor de 1,6. Sustituyendo en las ecuaciones obtenemos los siguientes valores:

$$V_\sigma = 0,548$$

$$V_r = 1,584$$

Una vez conocidos dichos valores, los aplicamos a la fuerza de cortocircuito previamente calculada, y la multiplicamos también por un coeficiente relativo a la disposición de los apoyos, que según la norma UNE 60685 vale 0,73, para obtener la fuerza de cortocircuito final:

$$F_c = 565,74 \cdot 0,548 \cdot 1,58 \cdot 0,73 = 358,79 \text{ N/m}$$

### Tensión total en el tubo

Una vez calculados todos los esfuerzos que soporta el tubo, se calcula la tensión de trabajo del tubo, producida por cada uno de dichos esfuerzos.

Dicha tensión, se calcula mediante la siguiente expresión:



$$\sigma_i = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W}$$

Siendo,

- i: el número de vanos.
- l: la longitud de los vanos.
- P: la carga que produce el esfuerzo.
- W: el momento resistente del material, en este caso 110 cm<sup>3</sup>.

Por tanto, los valores de tensión de trabajo, producidas por los diferentes esfuerzos sobre el tubo, serán los siguientes:

Tensión producida por esfuerzos por viento:

$$\sigma_v = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{113,4 \cdot 8^2}{0,00011} = 16,49 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por peso propio:

$$\sigma_{pp} = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{91,52 \cdot 8^2}{0,00011} = 15,52 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por cortocircuitos:

$$\sigma_c = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{358,79 \cdot 8^2}{0,00011} = 56,4 \text{ N/mm}^2$$

La tensión total de trabajo en el tubo será la suma geométrica de todas las tensiones, aplicándolas en sus respectivas direcciones.

Las tensiones del viento y de cortocircuito tienen la misma dirección y la tensión peso propio, es ortogonal a estas. Por tanto, la tensión total será:



$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_c)^2 + \sigma_{pp}^2} = \sqrt{(16,49 + 56,4)^2 + 15,52^2}$$

$$\sigma_{total} = 96,03 \text{ N/mm}^2$$

Según la normativa aplicada, el tubo soportará los esfuerzos producidos sobre él, si se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

Siendo,

- q: un factor geométrico que muestra la resistencia del conductor y que depende de sección del mismo. Según la normativa aplicada, para tubos cilíndricos se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$q = 1,7 \cdot \frac{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^3}{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^4}$$

Donde s, es el espesor de la pared del tubo, cuyo valor es 10 mm y D, es el diámetro exterior, cuyo valor es 120 mm. Sustituyendo, toma un valor de:

$$q = 1,383$$

- $R_p$  : que es el límite de fluencia del material del tubo, cuyo valor es 160 N/mm<sup>2</sup>.

Como se puede observar, para el tubo y configuración geométrica seleccionados, se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

$$96,03 \text{ N/mm}^2 \leq 1,383 \cdot 160 = 212,32 \text{ N/mm}^2$$



Tensión que es mucho menor que la máxima soportada por el tipo de tubo, para la configuración diseñada, por tanto se puede concluir que el embarrado principal del parque de 66kV está bien diseñado.

### **Reacciones sobre aisladores de soporte**

Según indica la norma UNE 60865, el máximo esfuerzo en el vano considerado se da en los aisladores intermedios, por lo que se aplica un factor de reparto de esfuerzos en el soporte de valor 0,5.

Los esfuerzos que tiene que soportar el aislador son todos de tipo horizontal y se tratan de los siguientes:

#### Viento sobre el tubo.

Que será el mismo valor que el calculado en el apartado anterior:

$$F_v = 113,4 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 8 metros, y por el número de vanos se obtiene:

$$F_v = 453,6 \text{ N}$$

#### Esfuerzos por cortocircuito.

Igual que en el caso del viento sobre el tubo, toma el mismo valor que en el apartado anterior.

$$F_c = 491,45 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 8 metros, y por el número de vanos se obtiene:



$$F_c = 3931,6 N$$

### Viento sobre el aislador

El esfuerzo ocasionado por el viento sobre el propio aislador, según la norma UNE 60865, se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{va} = L_a \cdot D_a \cdot P_v \cdot \alpha$$

Siendo;

- $L_a$ : la longitud del aislador, que en este caso es de 2,3 m.
- $D_a$ : el diámetro del aislador, que tiene el valor de 0,35 m.
- $P_v$ : presión del viento, anteriormente descrita.
- $\alpha$ : que es el coeficiente de reparto, 0,5.

Sustituyendo en la ecuación se obtiene el siguiente valor de esfuerzo producido por el viento sobre el aislador:

$$F_{va} = 380,36 N$$

Sumando todos los esfuerzos sobre el aislador, sale un esfuerzo total sobre aislador con el siguiente valor:

$$F_t = 380,36 + 3931,6 + 453,6 = 4765,56 N$$

Para comprobar si el aislador cumple con el coeficiente mínimo de seguridad que se exige para apoyos metálicos, se calcula el coeficiente de seguridad del aislador. Este se obtiene mediante el cociente entre la carga de rotura del aislador y la carga máxima total que soporta, y el mínimo exigido para estos apoyos metálicos es de 1,5.

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{10000}{4765,56} = 2,09$$



Como se puede observar, está muy por encima del coeficiente de seguridad mínimo exigido según normativa de 1,5, por tanto es válido el aislador seleccionado.

### **Flecha en el tubo**

Se va a calcular la flecha máxima que tendrá el tubo en su punto medio, por ser un parámetro interesante que puede aportar información útil en la evaluación del diseño de las barras.

Dicho parámetro, según la norma UNE 60865 se determina mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Siendo;

- P: carga vertical sobre el tubo, en este caso de valor 91,52 N/m
- l: la longitud del vano, en este caso 8 m.
- E: módulo de Young del tubo, 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- I: momento de inercia de la sección del tubo, con valor 812 cm<sup>4</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene un valor de flecha del tubo, en el punto medio de:

$$f = 0,41 \text{ cm}$$

Como se puede observar, es un valor muy bajo, cumple con las expectativas de diseño del embarrado.

### **Elongación del embarrado**

El cálculo de la elongación que sufre el embarrado por efectos térmicos, se realiza para determinar si es necesaria la instalación de unas piezas elásticas que eliminarán los efectos adversos de dicha dilatación.



De acuerdo con la norma utilizada, la expresión que determina la elongación sufrida por el tubo será:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Siendo,

- $l_0$ : la longitud inicial del tubo, en este caso 8 metros.
- $\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal del tubo, que tiene un valor de 0,023 mm/m°C.
- $\Delta \theta$ : incremento de temperatura que se da entre la temperatura de montaje (35°C) y la temperatura de servicio (80°C), en este caso 45°C.

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos un valor para la elongación en el tubo de:

$$\Delta l = 8,28 \text{ mm}$$

Dado este valor de elongación, será necesaria la instalación de unas piezas especiales que absorban la dilatación.

### **Esfuerzo térmico en cortocircuito**

El cálculo de esfuerzo térmico que sufre el tubo en caso de cortocircuito es un parámetro importante, ya que nos indica que el tubo va a soportar en caso de esta situación. Para determinar si va a soportar en un cortocircuito, según la norma UNE 60685, se debe calcular la intensidad térmica en cortocircuito, mediante la siguiente expresión:

$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(m + n)}$$

Los valores de  $m$  y  $n$ , son dos coeficientes térmicos de disipación de calor, y son coeficientes obtenidos de la norma utilizada.



Realizando los cálculos correspondientes se obtiene:

$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(0,097 + 0,758)} = 74,73 \text{ kA}$$

Este valor, debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con una densidad de 120 A/mm<sup>2</sup>, según normativa. Para el tubo seleccionado, la capacidad térmica será:

$$C_t = 120 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \cdot 3455,75 \text{ mm}^2 = 414,69 \text{ kA}$$

Como se puede observar, el tubo elegido aguanta ampliamente los efectos térmicos de un posible cortocircuito.

### Cálculo del efecto corona

El efecto corona puede tener efectos adversos sobre los embarrados diseñados. Para comprobar si se va a producir dicho efecto sobre los embarrados, es necesario determinar previamente la tensión crítica disruptiva  $U^c$ , la cual, para conductores cilíndricos se calcula mediante la fórmula de Peek:

$$U_c = m_c \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{of} \cdot r_1 \cdot \ln \frac{D}{r_1}$$

En dicha ecuación,

- $m_c$ : es el coeficiente de irregularidad del conductor, que para un tubo cilíndrico y liso tiene valor 1.
- $m_t$ : es el coeficiente meteorológico, que hace referencia a la humedad ambiental. En el caso de un clima seco, toma valor 1.
- $r_1$ : radio exterior del tubo, en este caso 120 mm.
- $D$ : es la distancia entre conductores, en este caso 2 metros.
- $\delta$ : es el factor de correlación de densidad del aire, que se calcula:



$$\delta = \frac{3,92 \cdot H}{273 + \phi}$$

H, es la presión atmosférica en cm de mercurio, que se tomará como 760 y  $\phi$  es la temperatura del aire, tomada de 35°C.

Así, resulta un valor de  $\delta = 0,937$ .

- $E_{of}$ : es el valor eficaz de campo eléctrico para la aparición del efecto corona. Este valor, para conductores paralelos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_{of} = \frac{30 \cdot m_c \cdot (1 + \frac{0,3}{\sqrt{r_1}})}{\sqrt{2}}$$

Calculado dicho valor del campo eléctrico, se obtiene un valor de:

$$E_{of} = 23,81 \text{ kV/cm}$$

Una vez obtenidos todos los valores, calculado la tensión crítica disruptiva, se obtiene un valor de:

$$U_c = 484,57 \text{ kV}$$

Como se puede observar, este valor está muy alejado de la tensión nominal del parque, por lo que el efecto corona es de normal que no se produzca.



### 3.6.2. Cálculo mecánico del embarrado secundario

#### Hipótesis de diseño

Para los cálculos mecánicos de los embarrados secundarios del parque de 66kV, se han tenido una serie de consideraciones de diseño.

Las primeras de ellas están referidas a la situación de la subestación. Como ya se ha mencionado anteriormente, esta estará situada a una altura menor a 500 metros sobre el nivel del mar (Zona A según RLAT). En estas circunstancias las condiciones climatológicas que afectan en los cálculos de la subestación son las siguientes:

Hielo: según RLAT, en zona A, no se considera la existencia de hielo en las hipótesis de diseño.

Viento: según RLAT, en zona A, se deben tener en cuenta en las hipótesis de diseño la existencia de vientos. En el caso del presente proyecto, se harán los cálculos teniendo en cuenta una presión del viento sobre los embarrados, que garantice la mayor seguridad de todos los elementos. Esta será la siguiente:

$$\text{Velocidad del viento} = 140 \text{ km/h}$$

$$\text{Presión equivalente} = 945 \text{ N/m}^2$$

En cuanto a los parámetros geométricos y de anclaje que afectan al diseño mecánico de los embarrados, se han tomado las siguientes determinaciones:

- Vano: las barras principales se encuentran entre aisladores de soporte.
- Longitud del vano: 5 metros.
- Distancia entre las fases: 2 metros.



Otros parámetros que afectan en el diseño de los embarrados, son los relativos a las características mecánicas de los tubos y aisladores que lo forman. Dichas características ya han sido descritas en el apartado 2.5. Embarrados.

Para todos los cálculos que prosiguen, se han tenido en cuenta los procedimientos descritos por las normas UNE 60865 y UNE 60909.

### **Corriente de cresta**

Según criterios de diseño establecidos, se ha considerado como intensidad de cortocircuito:

$$I_{cc} = 31,5 \text{ kA}$$

Según la norma UNE 60909, se debe establecer una intensidad de cresta  $I_p$ , para aplicar a los cálculos de los embarrados. Además, dicha intensidad de cresta es la que va a determinar el poder de cierre de los interruptores. Dicha intensidad de cresta se calcula con la siguiente ecuación:

$$I_p = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

Siendo,

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3k}$$

$k$ , es la relación de impedancias equivalentes del sistema en el punto de cortocircuito, que para la red de transporte en este nivel de tensión, vale 0,07.

Realizando las operaciones correspondientes, se obtienen como resultado que la intensidad de cresta valdrá:

$$I_p = 80,82 \text{ kA.}$$



## Tensión en el tubo.

Para calcular la tensión total que soporta el tubo, se tendrán en cuenta los esfuerzos producidos por el viento, por el peso propio del tubo y por cortocircuitos.

### Esfuerzos por viento:

El esfuerzo producido por el viento dependerá de la presión que el mismo ejerza sobre el tubo y del diámetro externo del mismo. Se calculará para el caso más desfavorable de vientos de 140 km/h.

El esfuerzo del viento sobre el tubo será:

$$F_v = p_v \cdot D$$

Siendo,

- $p_v$ : la presión del viento, con un valor de  $945 \text{ N/m}^2$
- $D$ : el diámetro exterior del tubo, con un valor de 0,80 m.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_v = 75,6 \text{ N/m}$$

### Esfuerzos por el peso propio del tubo:

El esfuerzo del peso sobre el tubo, será el relativo al peso del propio tubo  $F_{pp}$ , más el peso del cable de unión con la aparatenta,  $F_{ca}$ :

$$F_p = F_{pp} + F_{ca}$$

Para calcular  $F_{pp}$ , se utiliza la siguiente ecuación:



$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g$$

En la cual:

- $P_{pt}$ ; se refiere al peso propio del tubo, que toma un valor de 3,76 kg/m
- $g$ , es la constante de gravitación, que vale  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_{pp} = 36,88 \text{ N/m}$$

Por otro lado, se debe calcular el esfuerzo debido al peso de cable de unión con la aparamenta, este, de tipo Lapwing, genera un esfuerzo de:

$$F_{ca} = 15,2 \text{ N/m}$$

Por tanto, sumando ambos valores calculados, se obtiene como esfuerzo total debido al peso:

$$F_p = 52,08 \text{ N/m}$$

### Esfuerzos por cortocircuito

El mayor esfuerzo ocasionado por la corriente de cortocircuito se dará en la fase del medio, por estar situada entre las otras dos fases. La fuerza estática  $F_c$  por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una corriente, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_c = 0,866 * \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$



Siendo:

- $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot S}{A \cdot m}$
- a: la distancia entre las fases, en este caso, 2 metros.
- $I_p$ : la intensidad de cresta previamente calculada, con valor 80,82 kA.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene:

$$F_c = 565,74 \text{ N/m}$$

Una vez que tenemos calculada esta fuerza, se le deben aplicar dos coeficientes que tienen en cuenta los efectos de la frecuencia de vibración del tubo. Dichos esfuerzos son:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68k} + 0,54 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

$$V_r = 1 - 0,615 \cdot \log \frac{f_c}{f}$$

De estos dos coeficientes el primero de ellos tiene en cuenta el efecto dinámico, y el segundo el reenganche de la línea.

Para calcularlos, hay que calcular previamente la frecuencia de vibración del tubo,  $f_c$ :

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{\frac{E * I}{m}}$$

Siendo,

- $\gamma$ : coeficiente de tubo y los apoyos, que toma un valor de 1,57.
- l: longitud del vano, en este caso 5 metros.
- E: modulo de Young del material, en este caso 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- I: inercia de la sección, que toma el valor de 96,1 cm<sup>4</sup>



- m: es la masa unitaria del tubo, incluido el cable de unión, que valdrá, 5,30 kg/m

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos el siguiente valor para la frecuencia de vibración:

$$f_c = 7,06 \text{ Hz}$$

Ahora que ya tenemos calculada la frecuencia de vibración, se pueden determinar los coeficientes previamente mencionados, asumiendo, según tablas de la norma UNE 60865, que k toma un valor de 1,6. Sustituyendo en las ecuaciones obtenemos los siguientes valores:

$$V_\sigma = 0,602$$

$$V_r = 1,52$$

Una vez conocidos dichos valores, los aplicamos a la fuerza de cortocircuito previamente calculada, y la multiplicamos también por un coeficiente relativo a la disposición de los apoyos, que según la norma UNE 60685 vale 0,73, para obtener la fuerza de cortocircuito final:

$$F_c = 565,74 \cdot 0,602 \cdot 1,52 \cdot 0,73 = 378,909 \text{ N/m}$$

### Tensión total en el tubo

Una vez calculados todos los esfuerzos que soporta el tubo, se calcula la tensión de trabajo del tubo, producida por cada uno de dichos esfuerzos.

Dicha tensión, se calcula mediante la siguiente expresión:



$$\sigma_i = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W}$$

Siendo,

- i: el número de vanos.
- l: la longitud de los vanos.
- P: la carga que produce el esfuerzo.
- W: el momento resistente del material, en este caso 90 cm<sup>3</sup>.

Por tanto, los valores de tensión de trabajo, producidas por los diferentes esfuerzos sobre el tubo, serán los siguientes:

Tensión producida por esfuerzos por viento:

$$\sigma_v = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{75,6 \cdot 5^2}{0,00009} = 5,25 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por peso propio:

$$\sigma_{pp} = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{52,08 \cdot 5^2}{0,00009} = 3,61 \text{ N/mm}^2$$

Tensión producida por esfuerzos por cortocircuitos:

$$\sigma_c = \sum_i \frac{1}{8} \frac{P \cdot l^2}{W} = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{565,75 \cdot 5^2}{0,00009} = 26,31 \text{ N/mm}^2$$

La tensión total de trabajo en el tubo será la suma geométrica de todas las tensiones, aplicándolas en sus respectivas direcciones.

Las tensiones del viento y de cortocircuito tienen la misma dirección y la tensión peso propio, es ortogonal a estas. Por tanto, la tensión total será:



$$\sigma_{total} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_c)^2 + \sigma_{pp}^2} = \sqrt{(26,31 + 5,25)^2 + 3,61^2}$$

$$\sigma_{total} = 31,76 \text{ N/mm}^2$$

Según la normativa aplicada, el tubo soportará los esfuerzos producidos sobre él, si se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

Siendo,

- q: un factor geométrico que muestra la resistencia del conductor y que depende de sección del mismo. Según la normativa aplicada, para tubos cilíndricos se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$q = 1,7 \cdot \frac{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^3}{1 - (1 - 2 \cdot \frac{s}{D})^4}$$

Donde s, es el espesor de la pared del tubo, cuyo valor es 6 mm y D, es el diámetro exterior, cuyo valor es 80 mm. Sustituyendo, toma un valor de:

$$q = 1,372$$

- R<sub>p</sub> : que es el límite de fluencia del material del tubo, cuyo valor es 160 N/mm<sup>2</sup>.

Como se puede observar, para el tubo y configuración geométrica seleccionados, se cumple que:

$$\sigma_{total} \leq q \cdot R_p$$

$$31,76 \text{ N/mm}^2 \leq 1,372 \cdot 160 = 219,58 \text{ N/mm}^2$$



Tensión que es mucho menor que la máxima soportada por el tipo de tubo, para la configuración diseñada, por tanto se puede concluir que el embarrado secundario del parque de 66kV está bien diseñado.

### **Reacciones sobre aisladores de soporte**

Según indica la norma UNE 60865, el máximo esfuerzo en el vano considerado se da en los aisladores intermedios, por lo que se aplica un factor de reparto de esfuerzos en el soporte de valor 0,5.

Los esfuerzos que tiene que soportar el aislador son todos de tipo horizontal y se tratan de los siguientes:

#### Viento sobre el tubo.

Que será el mismo valor que el calculado en el apartado anterior:

$$F_v = 75,6 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 5 metros, y por el número de vanos se obtiene:

$$F_v = 189 \text{ N}$$

#### Esfuerzos por cortocircuito.

Igual que en el caso del viento sobre el tubo, toma el mismo valor que en el apartado anterior.

$$F_c = 519,05 \text{ N/m}$$

Multiplicándolo por el coeficiente de reparto de 0,5 anteriormente mencionado, por la longitud del vano de 5 metros, y por el número de vanos se obtiene:



$$F_v = 2973,27 \text{ N}$$

### Viento sobre el aislador

El esfuerzo ocasionado por el viento sobre el propio aislador, según la norma UNE 60865, se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{va} = L_a \cdot D_a \cdot P_v \cdot \alpha$$

Siendo;

- $L_a$ : la longitud del aislador, que en este caso es de 2,3 m.
- $D_a$ : el diámetro del aislador, que tiene el valor de 0,254 m.
- $P_v$ : presión del viento, anteriormente descrita.
- $\alpha$ : que es el coeficiente de reparto, 0,5.

Sustituyendo en la ecuación se obtiene el siguiente valor de esfuerzo producido por el viento sobre el aislador:

$$F_{va} = 276,03 \text{ N}$$

Sumando todos los esfuerzos sobre el aislador, sale un esfuerzo total sobre aislador con el siguiente valor:

$$F_t = 276,03 + 2973,27 + 189 = 3249,3 \text{ N}$$

Para comprobar si el aislador cumple con el coeficiente mínimo de seguridad que se exige para apoyos metálicos, se calcula el coeficiente de seguridad del aislador. Este se obtiene mediante el cociente entre la carga de rotura del aislador y la carga máxima total que soporta, y el mínimo exigido para estos apoyos metálicos es de 1,5.



$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{7000}{3249,3} = 2,15$$

Como se puede observar, está muy por encima del coeficiente de seguridad mínimo exigido según normativa de 1,5, por tanto es válido el aislador seleccionado.

### **Flecha en el tubo**

Se va a calcular la flecha máxima que tendrá el tubo en su punto medio, por ser un parámetro interesante que puede aportar información útil en la evaluación del diseño de las barras.

Dicho parámetro, según la norma UNE 60865 se determina mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Siendo;

- P: carga vertical sobre el tubo, en este caso de valor 52,08 N/m
- l: la longitud del vano, en este caso 5 m.
- E: módulo de Young del tubo, 70.000 N/mm<sup>2</sup>
- I: momento de inercia de la sección del tubo, con valor 96,1 cm<sup>4</sup>.

Sustituyendo en la ecuación, se obtiene un valor de flecha del tubo, en el punto medio de:

$$f = 0,26 \text{ cm}$$

Como se puede observar, es un valor muy bajo, cumple con las expectativas de diseño del embarrado.



## **Elongación del embarrado**

El cálculo de la elongación que sufre el embarrado por efectos térmicos, se realiza para determinar si es necesaria la instalación de unas piezas elásticas que eliminarán los efectos adversos de dicha dilatación.

De acuerdo con la norma utilizada, la expresión que determina la elongación sufrida por el tubo será:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Siendo,

- $l_0$ : la longitud inicial del tubo, en este caso 5 metros.
- $\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal del tubo, que tiene un valor de 0,023 mm/m°C.
- $\Delta \theta$ : incremento de temperatura que se da entre la temperatura de montaje (35°C) y la temperatura de servicio (80°C), en este caso 45°C.

Sustituyendo en la ecuación, obtenemos un valor para la elongación en el tubo de:

$$\Delta l = 5,175 \text{ mm}$$

Dado este valor de elongación, será necesaria la instalación de unas piezas especiales que absorban la dilatación.

## **Esfuerzo térmico en cortocircuito**

El cálculo de esfuerzo térmico que sufre el tubo en caso de cortocircuito es un parámetro importante, ya que nos indica si el tubo va a soportar en caso de esta situación. Para determinar si va a soportar en un cortocircuito, según la norma UNE 60685, se debe calcular la intensidad térmica en cortocircuito, mediante la siguiente expresión:



$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(m + n)}$$

Los valores de m y n, son dos coeficientes térmicos de disipación de calor, y son coeficientes obtenidos de la norma utilizada.

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene:

$$I_{\theta} = I_p \sqrt{(0,097 + 0,758)} = 74,73 \text{ kA}$$

Este valor, debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con una densidad de 120 A/mm<sup>2</sup>, según normativa. Para el tubo seleccionado, la capacidad térmica será:

$$C_t = 120 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \cdot 1394,86 \text{ mm}^2 = 167,38 \text{ kA}$$

Como se puede observar, el tubo elegido aguanta ampliamente los efectos térmicos de un posible cortocircuito.

### Cálculo del efecto corona

El efecto corona puede tener efectos adversos sobre los embarrados diseñados. Para comprobar si se va a producir dicho efecto sobre los embarrados, es necesario determinar previamente la tensión crítica disruptiva  $U_c$ , la cual, para conductores cilíndricos se calcula mediante la fórmula de Peek:

$$U_c = m_c \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{of} \cdot r_1 \cdot \ln \frac{D}{r_1}$$

En dicha ecuación,

- $m_c$ : es el coeficiente de irregularidad del conductor, que para un tubo cilíndrico y liso tiene valor 1.
- $m_t$ : es el coeficiente meteorológico, que hace referencia a la humedad ambiental. En el caso de un clima seco, toma valor 1.
- $r_1$ : radio exterior del tubo, en este caso 80 mm.



- D: es la distancia entre conductores, en este caso 2 metros.
- $\delta$ : es el factor de correlación de densidad del aire, que se calcula:

$$\delta = \frac{3,92 \cdot H}{273 + \phi}$$

H, es la presión atmosférica en cm de mercurio, que se tomará como 760 y  $\phi$  es la temperatura del aire, tomada de 35°C.

Así, resulta un valor de  $\delta = 0,937$ .

- $E_{of}$ : es el valor eficaz de campo eléctrico para la aparición del efecto corona. Este valor, para conductores paralelos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_{of} = \frac{30 \cdot m_c \cdot (1 + \frac{0,3}{\sqrt{r_1}})}{\sqrt{2}}$$

Calculado dicho valor del campo eléctrico, se obtiene un valor de:

$$E_{of} = 24,39 \text{ kV/cm}$$

Una vez obtenidos todos los valores, calculado la tensión crítica disruptiva, se obtiene un valor de:

$$U_c = 369,24 \text{ kV}$$

Como se puede observar, este valor está muy alejado de la tensión nominal del parque, por lo que el efecto corona es de normal que no se produzca.



### 3.7. Selección de autoválvulas

Para la selección de las autoválvulas del parque de 66kV, se han seguido las especificaciones de seguridad exigidas por la R.E.E. en el ET025.

Lo primero que se debe determinar para la selección de las autoválvulas es su tensión asignada. Esta depende de la tensión más elevada del material, que en el parque de 66kV tiene un valor de 72,5 kV, y de tiempo de despeje a falta, que como ya se ha comentado anteriormente es de 0,5 segundos. Con estos dos parámetros y según la normativa utilizada, se determina que la mínima tensión asignada a la autoválvula debe de ser:

$$U_r \geq 0,72 \cdot U_m$$

Sustituyendo valores, se obtiene como tensión mínima asignada a la autoválvula:

$$U_r = 0,72 \cdot 72,5 = 52,2 \text{ kV}$$

Una vez determinada la tensión mínima asignada, se debe de calcular la línea de fuga mínima, que según la normativa, viene determinada por la siguiente expresión:

$$L_{fuga} = L_{min} \cdot U_m$$

Siendo:

- $L_{min}$  : la longitud mínima específica, que para zonas de alta contaminación se considera 25 mm/kV.
- $U_m$  : la tensión más elevada del materia, que para el parque de 66 kV, vale 72,55 V.



Sustituyendo valores en la ecuación se obtiene una línea de fuga:

$$L_{fuga} = 1812 \text{ mm} = 0,1812 \text{ m}$$

La válvula seleccionada que cumple con estas especificaciones será una de clase 2 EXLIM R170-CV170, cuya tensión residual toma el valor de 125,7 kV, tiene una línea de fuga de 1969 mm. Dichos valores, cumplen con los requeridos según los cálculos realizados.

Una vez seleccionada la autoválvula, se puede determinar la energía que deberá absorber en caso de sobretensiones. Esta viene determinada por la siguiente expresión:

$$W = \frac{U_L - U_{res}}{Z} \cdot U_{res} \cdot 2T \cdot n$$

Siendo:

- W: La energía absorbida por la autoválvula.
- $U_L$ : Sobretensión eventual sin pararrayos (kV), que tendrá el valor de 3,0. Este valor viene determinado por la tabla 5.
- $U_{RES}$ : Tensión residual de la autoválvula.
- Z: resistencia de la autoválvula (ohm), que tendrá un valor de 450 ohm. Este valor viene determinado por la tabla 5.
- N: es el número consecutivo de descargas posibles, que según la norma UNE 60855, se toma como 2, por seguridad.
- T: es el tiempo de propagación de la onda, que se calcula según la siguiente expresión:

$$T = l/v$$

donde, l, se refiere a la longitud de la línea hasta el entronque, y v a la velocidad de propagación, que toma un valor constante de 0,3 km/ $\mu$ s. Como longitud hasta el entronque al ser por el momento un dato desconocido, ya que debe ser facilitado por el



propietario de la línea de transporte a la que se conectará el parque, se va a tomar un valor de 0,5 km para los cálculos.

Se obtiene por tiempo de propagación de:

$$T = 0,15 \mu s$$

<b>Tensión más elevada de material, <math>U_m</math> (kV)</b>	<b>Impedancia del pararrayos, <math>Z</math> (ohm)</b>	<b>Sobretensión eventual sin pararrayos, <math>U_L</math> (p.u)</b>
<b>&lt; 145</b>	450	3,0
<b>145 – 345</b>	400	3,0
<b>345 – 525</b>	350	2,6
<b>&gt;525</b>	300	2,2

Tabla 18. Fuerte: elaboración propia con datos extraídos de R.E.E. ET025.

Una vez conocidos todas las características de la autoválvula y sustituyendo todos los valor en la ecuación, se obtiene un valor de energía absorbida de:

$$W = 228,42 \text{ kJ}$$

Para comprobar que la autoválvula seleccionada es adecuada, se debe de calcular la capacidad de absorción de energía necesaria que debe de cumplir, que vendrá determinada por :

$$C = \frac{w}{U_r} = \frac{228,42}{52,2} = 4,37 \text{ kJ/kV}$$

Las especificaciones de la autoválvula seleccionada, EXLIM R170-CV170, establecen que dicha autoválvula es capaz de disipar hasta 5 KJ/kV, por tanto es la elección correcta para el parque de 66kV.



## 4. Red de tierras

### 4.1. Criterios de cálculo

Para el diseño de la red de tierras se han seguido las indicaciones establecidas en el reglamento de Condiciones Técnicas Complementarias MIE RAT 13 y la recomendación IEEE Std. 80/2000.

La instalación está provista de la malla de tierra principal enterrada diseñada de modo que cubra suficientemente dos finalidades principales: la seguridad del personal que se relacione con la instalación y la provisión de una buena unión con la tierra, que garantice un correcto funcionamiento de las protecciones.

Para los cálculos, se han tenido en cuenta las tensiones máximas de paso y contacto, determinadas mediante la normativa anterior. Para el diseño, se han considerado los parámetros de la parte de la subestación de 220kV, cuyos valores son más restrictivos. A efectos del diseño de la malla de tierra estos son:

- Corriente de cortocircuito: La instrucción técnica complementaria MIE RAT 13, establece que para el cálculo de la red de tierras, se debe utilizar una corriente de cortocircuito un 30% menor que la utiliza para el diseño de la subestación, para tensiones nominales mayores de 100 kV. Por tanto, en este caso, se tendrá una corriente de cortocircuito para el diseño de red de tierras de:

$$I_{cc} = 40 \cdot 0,7 = 28 \text{ KA}$$

- Tiempo de despeje de falta,  $t = 1$  segundo. (el MIE RAT 13, establece que a efectos de diseño, el tiempo mínimo debe ser 1 segundo)



## **4.2. Red de tierras inferiores**

### **4.2.1. Descripción**

La red de tierras inferiores está compuesta por una malla de cable de cobre con una sección de  $120 \text{ mm}^2$ . Dicha malla cubre una superficie total de  $16200 \text{ m}^2$ . Los cables interiores de la superficie están separados una distancia de 12 metros en el eje x y de 13,5 metros en el eje y. En total, la longitud de cable de cobre instalado suma 2805 metros. Todas estas características de diseño de la malla aseguran la protección del personal que esté relacionado con la subestación y también garantiza una buena unión a tierra.

En cuanto a las características del terreno en el que estará ubicada la subestación, se ha considerado como resistividad del mismo, un valor de  $100 \Omega\text{m}$ . Además, en toda la superficie de la subestación se ha establecido una capa de hormigón de 20 cm de espesor, cuya resistividad tiene un valor de  $3000 \Omega\text{m}$ .

Estos valores de las características del terreno vienen determinados en la instrucción técnica complementaria MIE RAT 13.

### **4.2.2. Conductor de la red de tierras inferiores**

Las características del conductor que se utiliza para la malla de la red de tierras inferiores son las primeras que hay que determinar para el correcto diseño de la misma.

El conductor será un hilo desnudo de cobre. Según MIE RAT 13, la sección mínima de dicho hilo será de  $25 \text{ mm}^2$ .

Para la determinación dicha sección, se utilizará la expresión que indica el estándar IEEE 80, que para conductores de cobre es la siguiente:



$$A = I \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{T_{CAP} \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \ln \left( \frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}}$$

Siendo:

- $I=28$  kA, la corriente de falta a tierra considerada para el diseño de la malla.
- $t_c =1$  segundo, tiempo de despeje de la falta.
- $T_m = 1084$  °C, la temperatura máxima admisible del conductor.
- $T_a = 40$ °C, la temperatura ambiente.
- $T_{CAP} = 3,42$  K/cm<sup>3</sup>°C, la capacidad térmica del conductor
- $\alpha_r = 0,00381$  °C<sup>-1</sup>, coeficiente térmico de resistividad a 20°C
- $\rho_r = 1,78$  μΩ cm; resistencia del conductor a 20°C
- $K_0 = 262$  °C, inverso del coeficiente térmico de resistividad

Sustituyendo en la ecuación y resolviendo, se obtiene que el conductor tiene que tener una sección mínima de :

$$A = 71,58 \text{ mm}^2$$

Por tanto, tratándose de un hilo de sección circular, el diámetro mínimo del conductor será de 9,5 mm.

Como se puede comprobar, el hilo elegido para la red de tierras, tiene una sección mucho mayor que la mínima requerida, por tanto es válido.



### 4.2.3. Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R_g = \rho \left( \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right)$$

Siendo:

- $\rho = 100 \Omega\text{m}$ , la resistividad del terreno
- $L = 2805 \text{ m}$  ; la longitud del conductor enterrado
- $h = 0,6 \text{ m}$ , la profundidad a la que se entierra el conductor
- $A = 16200 \text{ m}^2$ , superficie que ocupa la malla

Sustituyendo en la ecuación y operando, se obtiene un valor de resistencia de puesta a tierra:

$$R_g = 0,38 \Omega$$

### 4.2.4. Cálculos eléctricos. Tensiones de paso y contacto

Para determinar la tensiones de paso contacto máximas admisibles se utilizan las siguientes expresiones, establecidas por la instrucción técnica complementaria MIE RAT 13:

Tensión de paso:

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

Tensión de contacto:



$$V_c = \frac{K}{t^n} \left( 1 + \frac{1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right)$$

Siendo,

- K: es una constante establecida según dicha normativa, y vale 72, para valores de  $t < 0,9$  s.
- n: es una constante establecida según dicha normativa, y vale 1, para valores de  $t < 0,9$  s.
- $\rho_s = 3000 \Omega\text{m}$ , es la resistividad del hormigón.
- $t = 0,5$  segundos, es el tiempo de despeje de falta.

Con estos valores, se calcula las tensiones de paso y contacto máximas admisibles, que tendrán los siguientes valores:

$$V_p = 27360 \text{ V}$$

$$V_c = 792 \text{ V}$$

Además, como para la determinación de las tensiones de paso y contacto de la subestación se va a seguir el procedimiento IEEE 80-2000, se calcularán las tensiones de paso y contacto máximas que este dictamina.

Según este, las tensiones de paso y contacto máximas serán, para una persona de 70 kg:

$$V_p = (1000 + 6 \cdot C_s) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$

$$V_c = (1000 + 1,5 \cdot C_s) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{t_s}}$$



Siendo:

$$C_s = 1 - \left( \frac{0,09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \cdot h_s + 0,09} \right)$$

Donde:

- $\rho = 100 \Omega\text{m}$ , la resistividad del terreno.
- $\rho_s = 3000 \Omega\text{m}$ , la resistividad de la gravilla.
- $h_s = 0,1 \text{ m}$ , espesor de la gravilla
- $t_s = 0,5 \text{ segundos}$ , tiempo de despeje de falta.

Efectuando todos los cálculos, se obtienen los siguientes resultados:

$$C_s = 0,7$$

$$V_p = 3020 \text{ V}$$

$$V_c = 921 \text{ V}$$

Ahora que están determinadas las tensiones de paso y contacto máximas admisibles según las características del terreno y la corriente de falta, se deben calcular las tensiones de paso y contacto propias de la subestación diseñada y comprobar si están por debajo de las máximas admisibles.

Para dicho cálculo se seguirá el procedimiento establecido por IEEE 80-2000.

Utilizando este estándar, se pueden calcular unos valores previstos de tensiones de paso y contacto para unos determinados niveles de falta, y para un diseño previo de la malla de la red de tierras.



Todas las variables que van a influir en el cálculo de las tensiones de paso y contacto relativas a la subestación, son variables referidas a la geometría de la red de tierras, o a propiedades del terreno. Todas ellas van a ser definidas antes de resolver los cálculos de las ecuaciones anteriores:

- $\rho = 100 \Omega\text{m}$ , la resistividad del terreno.
- $I_c = 28 \text{ kA}$ , la corriente de falta
- $L = 2805 \text{ m}$ , es la longitud total del conductor enterrado.
- $A = 16200 \text{ m}^2$ , es el área que ocupa la malla enterrada.
- $L_p = 510 \text{ m}$ , es la longitud del perímetro de la malla.
- $L_x = 120 \text{ m}$ , es la longitud máxima de la malla en el eje x.
- $L_y = 135 \text{ m}$ , es la longitud máxima de la malla en el eje y.
- $D_m = 180,6 \text{ m}$ , es la máxima distancia que hay entre puntos de unión de la malla.
- $D = 12,75 \text{ m}$ , es el espacio medio entre los conductores de la malla.
- $d = 0,0014 \text{ m}$ , es el diámetro del conductor.

Una vez definidos todos los parámetros que se usarán en el cálculo, se puede proceder a calcular.

Tensión de paso:

$$V_p = \rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot K_{ii} \cdot \frac{I_c}{L}$$

- $K_s$ , es el factor de espaciado para la tensión de paso. Dicho factor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

- $K_{ii}$ , que es el factor de corrección por ubicación.



- $K_i$ , es el factor de corrección de la geometría de la malla y se determina mediante la siguiente expresión:

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

A su vez, en la ecuación anterior,  $n$  es el factor de geometría, y se calcula mediante la ecuación:

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

Todos los parámetros que se emplean para calcular el factor de geometría, dependen de las dimensiones de la malla de la red de tierra. Cada uno de ellos se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$n_a = \frac{2 \cdot L}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[ \frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0,7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Efectuando todos los cálculos, se obtienen los siguientes resultados:

$$n_a = 11$$

$$n_b = 1$$



$$n_c = 1,42$$

$$n_d = 1$$

$$n = 15,62$$

$$K_s = 0,31$$

$$K_i = 2,9557$$

Y por tanto, la tensión de paso de la subestación proyectada será:

$$V_p = 914,5 V$$

Tensión de contacto:

$$V_c = \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_g}{L}$$

- $K_i$ , es el factor de corrección de la geometría de la malla determinado anteriormente.
- $K_m$  : es el factor de espaciamiento para tensión de malla, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \frac{8}{\pi \cdot (2n - 1)} \right]$$

Siendo en esta ecuación,  $K_h$ :

$$K_h = \sqrt{1 + h}$$



Efectuando todos los cálculos, se obtienen los siguientes resultados:

$$K_h = 1,2649$$

$$K_m = 1,3445$$

Y por tanto, la tensión de contacto de la subestación proyectada será:

$$V_c = 416 V$$

En resumen, las tensiones de paso y contacto en la subestación proyectada con las siguientes:

$$V_p = 914,5$$

$$V_c = 416 V$$

Como se puede observar, son valores mucho menores que los de las tensiones de paso y contacto máxima admisibles establecidas por la instrucción técnica complementaria MIE RAT 13 y por el estándar IEEE 80-2000.

Por tanto se puede concluir que el diseño adoptado para la malla de la red de tierras inferiores es válido.

### **4.3. Red de tierras superiores**

La red de tierras superiores tiene por cometido la captación de las descargas atmosféricas y su conducción a la malla de red inferiores enterrada a 0,6 metros de profundidad, para que pueda ser disipada sin poner en peligro la seguridad del personal ni de la subestación.



Esta está compuesta por un conjunto de hilos de guarda, paralelos a la calle y en unos pararrayos que protegen los equipos de la subestación.

Estos hilos y pararrayos están unidos a la red de tierras inferiores a través de las estructuras metálicas que los soportan.

Según la norma UNE 21186, para comprobar que la red de tierras superiores es efectiva ante las descargas tipo rayo y para la selección del pararrayos y su colocación, existe un criterio que determina el radio crítico de cebado y que referencia la zona de influencia de descargas atmosféricas que está protegida.

Dicho radio crítico de cebado se determina mediante la siguiente expresión:

$$r = 8 \cdot I^{0,65}$$

Siendo:

$$I = \frac{U \cdot N}{Z}$$

Y a su vez:

- U: es la tensión soportada a impulsos tipo rayo.
- N: número de línea conectadas al parque.
- Z: la impedancia característica de las líneas.

Por tanto, siempre con las condiciones más desfavorables del parque de 220kV, se obtiene que:

$$U = 1050 \text{ kV}$$

$$N = 4 \text{ líneas}$$

$$Z = 400$$



$$I = 10,5 \text{ kA}$$

$$r = 36,88 \text{ m}$$

Por tanto, para que la red de tierras superiores esté protegida de forma adecuada a la subestación, se deben de colocar 8 pararrayos, adosados 4 de ellos a dos de los pórticos del parque de 220 kV y los otros 4 en postes establecidos en el parque de 66 kV., y con un radio de protección mínimo de 36,88m.



# **Anejo II: Estudio de seguridad y salud**



## 1. Objeto

El presente Estudio de Seguridad y Salud tiene por objeto definir y coordinar las medidas mínimas de seguridad y salud a tomar, durante la construcción de la subestación transformadora, con el fin de conseguir el mantenimiento de un clima de trabajo confortable que elimine o minimice los accidentes e incidentes laborales.

Siguiendo las instrucciones del Real Decreto 1627/1997, antes del inicio de la obra, el contratista adjudicatario, elaborará el Plan de Seguridad y Salud, en base a lo indicado en este Estudio de Seguridad.

El Estudio y el posterior Plan de Seguridad son válidos para todas las empresas que actúen en la obra ya sea como contratista, subcontratista o personal autónomo, debiendo el contratista cumplir y hacer cumplir a todo el personal de obra, lo establecido en ellos así como en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, Decretos que la desarrollan y la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

El contratante deberá tener constancia de que cada trabajador ha sido informado de los riesgos específicos que afecten a su puesto de trabajo o función que desempeña y de las medidas de protección y prevención aplicables a dichos riesgos.

El Jefe de Obra, Técnico de Montaje y Coordinador de Seguridad admitirá y tendrá en cuenta cualquier propuesta por parte del trabajador que vaya dirigida a mejorar los niveles de protección en lo relacionado a la seguridad y salud en el trabajo.

Cuando el trabajador esté o pueda estar en una situación de riesgo grave o inminente, el superior deberá actuar de inmediato para eliminar tal situación, en caso de que el trabajador no pueda ponerse en contacto con su superior, él mismo, podrá subsanar la situación habida cuenta de sus conocimientos y



medios a su disposición, y a la primera ocasión deberá informar a su superior del problema y la solución adoptada.

## **2. Normas legales, reglamentos aplicables y leyes de seguridad**

El contratista deberá tener en todo momento afiliados y en alta de la Seguridad Social a todos aquellos trabajadores que de algún modo intervengan en la realización de los trabajos, así como aquellos que en su caso, precisen llevar a efecto tareas de coordinación, colaboración, dirección y control relacionados con la ejecución de dichos trabajos.

El contratista deberá disponer, previo al inicio de los trabajos, una póliza de seguro de accidentes de trabajo, donde se incluya la electrocución. Esta póliza deberá ser presentada al contratante para su examen y aceptación.

Los reglamentos aplicables en el ámbito de seguridad serán los siguientes:

- Decreto 3151/1968. Reglamento de líneas aéreas de alta tensión.
- Decreto 2413/1973. Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones complementarias.
- Decreto 3275/1982. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad de centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación e instrucciones técnicas complementarias (Orden ministerial 18-10-1984).

Las leyes de seguridad aplicables a la prevención serán las siguientes:

- Ley 31/1995. Prevención de riesgos laborales.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de 9 de marzo de 1971. Capítulo 6 (Electricidad).
- Real Decreto 1495/1986. Reglamento de seguridad de máquinas.
- Ley 8/1998 de 7 de abril, infracciones y sanciones en el orden social.



- Real Decreto 1316/1989. Protección de los trabajadores frente al ruido.
- Real Decreto 485/1997. Señalización de los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997. Disposiciones mínimas en la manipulación de cargas.
- Real Decreto 773/1997. Utilización de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997. Utilización de equipos de trabajo.
- Real Decreto 1627/1997. Condiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.

### **3. Actividades**

Visto el proyecto de la construcción de la Subestación Eléctrica, la obra se puede dividir en las siguientes actividades:

- Implantación de la obra.
- Acopio de material.
- Movimiento de tierras.
- Obra civil.
- Montaje de la subestación (estructuras metálicas y aparamenta de Alta Tensión).
- Tendido de cables y montaje de equipos (control, protección, mando y comunicaciones).
- Puesta en servicio de la instalación.

Una vez desarrollado el proyecto definitivo, el contratista ampliará, si es necesario, esta relación en su Plan de Seguridad.

### **4. Equipos de trabajo**

La previsión de maquinaria y medios auxiliares, que se expone a continuación, será confirmada y ampliada si es necesario por el contratista en su plan de seguridad y salud, una vez desarrollado el proyecto y decididos los procedimientos de trabajo a seguir.



#### **4.1. Maquinaria a utilizar**

- Retroexcavadora con equipo de martillo rompedor.
- Pala cargadora.
- Camión basculante.
- Dumper, carretilla a motor con volquete.
- Compresor.
- Martillo (neumático, martillo rompedor, taladrador para bulones o barrenos).
- Sierra circular para madera.
- Soldadura por arco eléctrico.
- Soldadura oxiacetilénica y oxicorte.
- Hormigonera eléctrica.
- Camión hormigonera.
- Grúa móvil.

#### **4.2. Elementos a utilizar**

- Andamios de borriquetas.
- Cesta de soldador.
- Escaleras de mano.
- Bateas, para movimiento de material en obra.

### **5. Riesgos laborales y medidas preventivas**

A continuación para cada actividad básica y cada equipo de trabajo, previstos utilizar en la obra, se hace una identificación de los riesgos más significativos y se relacionan las medidas preventivas y las protecciones que tenderán a controlar y reducir dichos riesgos. El contratista en su Plan de Seguridad y Salud, una vez decididas las actividades que ejecutará en la obra y los equipos de trabajo que dispondrá, completará esta lista, tanto en actividades como en identificación de riesgos, medidas preventivas y protecciones.



## **5.1. Actividades**

### **5.1.1. Implantación de la obra**

Antes del inicio de la obra, el personal encargado estudiará, sobre la superficie del terreno disponible, la distribución de los servicios necesarios durante el desarrollo de la obra (acopio, talleres, oficinas, servicios del personal, etc.) así como los accesos para vehículos y personal en las diferentes actividades a realizar.

Previo al inicio de las actividades principales se efectuará el vallado de todo el perímetro de la obra con el fin de evitar riesgos a terceros, dada la atracción que tienen las obras para muchas personas ajenas a ella.

Los riesgos más frecuentes durante esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales: incisiones cortantes, heridas punzantes, lumbalgias.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de cargas o materiales.
- Riesgos provocados por la maquinaria.
- Riesgos provocados por falta de orden y limpieza.

La protección del personal que participe en esta actividad será casco, mono, botas, guantes y cinturón antilumbago.

### **5.1.2. Acopio del material, almacenamiento y expedición**

La recepción del material necesario para el montaje se efectuará en un descampado dispuesto en la obra para tal fin. En este descampado se irán clasificando los diferentes materiales y se



almacenarán hasta la expedición a sus emplazamientos definitivos o la devolución por finalizar la obra.

Los accesorios de la grúa que se utilicen estarán en perfectas condiciones de uso.

El transporte del material desde el descampado hasta su emplazamiento se efectuará con vehículo adecuado, nunca con grúa móvil y el personal nunca viajará en el mismo habitáculo que la carga.

Los riesgos más frecuentes durante esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales: incisiones cortantes, heridas punzantes, lumbalgias.
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de cargas o materiales.
- Caída de objetos.
- Riesgos provocados por la maquinaria.
- Riesgos provocados por falta de orden y limpieza.
- Ruidos.

La protección del personal que participe en esta actividad será casco, mono, botas, guantes, cinturón antilumbago y protector de oídos.

### **5.1.3. Movimiento de tierras**

La mayoría de accidentes en estas actividades son colisiones o atropellos y se producen sobre todo por distracciones.

Las operaciones de movimientos de tierras no se improvisarán ni las organizará el propio maquinista si no que se planificarán dentro del desarrollo de actividades de la obra y serán dirigidas por el jefe de



obra y el encargado. Los operarios tendrán instrucciones concretas de su cometido y la forma de ejecutarlo, evitando así que tomen iniciativas sobre tareas que no deben hacer.

Todos los operarios recibirán instrucciones para que si al excavar se encuentran con variaciones de los estratos o de sus características, cursos de agua subterráneas, etc., paren la obra y avisen a la jefatura de obra, al objeto de adoptar las medidas oportunas para evitar derrumbamientos.

Los circuitos de la maquinaria, así como su radio de acción deben señalizarse, para evitar que nadie permanezca dentro y evitar así que se produzcan atropellos y colisiones.

Los riesgos más comunes en el movimiento de tierras son:

- Atropellos.
- Colisiones.
- Vuelcos.
- Aplastamientos por corrimientos de tierras.
- Caídas al mismo o distinto nivel.
- Caídas de materiales o rocas.
- Golpes o aplastamientos con partes móviles de máquinas.

Las protecciones colectivas a montar son:

- Señalización interior de la obra.
- Señalización exterior de la obra.
- Vallas de contención de peatones.
- Bandas de plástico de señalización.
- Pasarelas.
- Barandillas.



Las protecciones del persona que participe en esta actividad son:

- Botas de seguridad.
- Casco.
- Guantes.
- Mono
- Cinturón anti vibratorio.
- Protección de oídos.
- Mascarilla anti polvo.
- Impermeable.

#### **5.1.4. Obra civil**

Los riesgos más frecuentes durante las fases de hormigonado son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas como incisiones cortantes, heridas punzantes y lumbalgias.
- Riesgos derivados de la manipulación de hormigón como dermatosis y salpicaduras en ojos.
- Caídas de personas al mismo o distinto nivel.
- Riesgos provocados por la maquinaria y vehículos de transporte.
- Riesgo eléctrico.
- Ruidos que puede provocar sorderas, fatigas, etc.
- Incendios.
- Riesgos derivados de trabajos de soldadura.

Las protecciones colectivas a montar son:

- Bandas de señalización.
- Interruptores diferenciales.



- Barandillas en plataformas de trabajo que tengan riesgo de caída superior a 2 metros y en huecos y perímetros donde no exista otra protección.
- Extintores.

Las protecciones básicas del personal que participe en esta actividad son:

- Botas de seguridad.
- Casco.
- Guantes.
- Mono
- Gafas.
- Cinturón antilumbago .
- Mascarillas anti polvo .
- Protector de oídos.
- Protecciones para los trabajos de soldadura (pantalla, gafas, mandil, guantes, etc.).
- Cinturón de seguridad.

Una vez acabado el hormigonado, se señalará convenientemente la zona para evitar el riesgo de caídas o hundimiento hasta su fraguado.

### **5.1.5. Montaje del parque**

El acopio de material se hará en sentido inverso al de su utilización y se planificará para que cada elemento que vaya a ser transportado no sea estorbado por ningún otro.

En la recepción en obra de los elementos, se anotará su peso, en el propio elemento, con el objeto de utilizar repartidores de carga



cuando sea necesario y de no sobrepasar las cargas máximas admisibles de las grúas.

El movimiento de los elementos sólo se realizará con los útiles previstos por el fabricante y sólo se engancharán por los puntos previstos y en las formas previstas.

Antes de izar cualquier elemento, se comprobará que se encuentra libre y que no tiene alguna unión con otro. Una vez enganchada la pieza, el personal encargado de ello, se alejará cuando las cintas de elevación estén tensas.

Para dirigir piezas de gran tamaño se utilizarán cuerdas guía. Los gruietas recibirán instrucciones sobre cargas máximas admisibles, no pasar las cargas por encima de las personas, elevar siempre las cargas en vertical evitando los tirones, etc.

En elementos de gran superficie se extremarán las precauciones durante las maniobras, en caso de viento constante o ráfagas, para evitar el vuelco de las grúas o golpes a los operarios.

Los trabajos de montaje se suspenderán en días de lluvia intensa, tormentas, nieve, heladas fuertes o velocidad del viento elevada.

Tanto los elementos de la estructura como la aparatada de Alta Tensión se soldarán o atornillarán con la mayor rapidez posible. No se dejarán elementos apuntalados provisionalmente.

Los operarios que realicen trabajos en altura, tendrán una bolsa de herramientas adecuada para evitar su caída.

Las eslingas utilizadas estarán siempre en perfecto estado y se sustituirán inmediatamente las que se observen que tienen algún deterioro por pequeño que sea. Si se emplean eslingas textiles sólo



se utilizarán las que cuenten con identificación del material y carga máxima. La unión de las eslingas formadas por cables se realizará siempre con grilletes de tamaño adecuado.

El personal encargado de las operaciones de ensamblaje sujetará siempre el cinturón de seguridad a alguna parte fija de la estructura, no permanecerá en los elementos durante el transporte y no arrojará objetos desde altura.

Los riesgos más frecuentes durante esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas como incisiones cortantes, heridas punzantes y lumbalgias.
- Caídas de personas al mismo o distinto nivel.
- Caídas de cargas o materiales.
- Caídas de objetos.
- Riesgos provocados por la maquinaria y vehículos de transporte.
- Riesgo eléctrico.
- Ruidos que puede provocar sorderas, fatigas, etc.
- Riesgos derivados de trabajos de soldadura.

Las protecciones colectivas a montar son:

- Bandas de señalización.
- Interruptores diferenciales.
- Barandillas en plataformas de trabajo que tengan riesgo de caída superior a 2 metros.

Las protecciones básicas del personal que participe en esta actividad son:

- Botas de seguridad.



- Casco.
- Guantes.
- Mono.
- Gafas.

Estas protecciones básicas se complementarán, cuando las distintas fases de la actividad lo requieran con:

- Cinturón antilumbago.
- Protector de oídos.
- Protecciones para los trabajos de soldadura (pantalla, gafas, mandil, guantes, etc.).
- Cinturón de seguridad con arnés y cuerda salvavidas.
- Bolsa de herramientas.

### **5.1.6. Tendido de claves y montaje de equipos**

Los riesgos más frecuentes durante esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas como incisiones cortantes, heridas punzantes y lumbalgias.
- Caídas de personas al mismo o distinto nivel.
- Caídas de cargas o materiales.
- Caídas de objetos.
- Golpes.
- Riesgos provocados por la maquinaria y vehículos de transporte.
- Riesgo eléctrico.
- Riesgos derivados de trabajos de soldadura.

Las protecciones colectivas a montar son:

- Bandas de señalización.



- Interruptores diferenciales.
- Barandillas en plataformas de trabajo que tengan riesgo de caída superior a 2 metros.

Las protecciones básicas del personal que participe en esta actividad son:

- Botas de seguridad.
- Casco
- Guantes
- Mono
- Gafas contra proyecciones.
- Cinturón antilumbago.
- Protecciones para trabajos de soldadura.
- Cinturón de seguridad.

### **5.1.7. Puesta en servicio de la instalación**

La puesta en servicio de la instalación se efectuará una vez acabada la obra y siguiendo los protocolos correspondientes elaborados por el proyectista.

El personal que realice los ensayos necesarios para la puesta en servicio deberá ser experto en aparatos elevadores de tensión de ensayos.

Todas las zonas donde estén ubicados los circuitos a ensayar, se señalarán para evitar el paso de personal no incluido en el equipo de laboratorio.

La energización de los diferentes circuitos se hará por separado, señalizando las zonas de trabajo para evitar la entrada de personal ajeno al equipo de puesta en servicio.



Los riesgos más frecuentes durante esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas como incisiones cortantes, heridas punzantes y lumbalgias.
- Caídas de personas al mismo o distinto nivel.
- Riesgo eléctrico.
- Incendio.

Las protecciones colectivas a montar son:

- Bandas de señalización.
- Carteles indicadores.
- Extintores.

Las protecciones básicas del personal que participe en esta actividad son:

- Botas de seguridad.
- Casco.
- Guantes.

Estas protecciones básicas se complementarán con las necesarias si, por necesidades de la puesta en marcha, se necesita maniobrar o poner a tierra algún circuito de Alta Tensión.

## **5.2. Utilización de la maquinaria**

### **5.2.1. Actuación del maquinista**

Cumpliendo el Real Decreto 1215/97, la conducción en obra de equipos de trabajo automotores debe ser realizada por operarios que hayan recibido una formación específica para la conducción segura de dichos equipos.



Antes de poner la maquina en marcha, se deberá comprobar que no hay personas ni obstáculos a su alrededor. El maquinista conocerá cuál es la zona de trabajo previamente delimitada así como la altura de seguridad en el caso que se trabaje bajo líneas de Alta Tensión.

Cualquier maquinista operador o auxiliar, que haya de intervenir en la obra durante la puesta en servicio, habrá recibido un cursillo de formación para trabajos en proximidad y cercanía de tensión y deberá conocer claramente su cometido.

No se cargará en ningún caso por encima de la cabina, quedando totalmente prohibida la utilización de la pala de la retroexcavadora para transportar personal. No se utilizarán las máquinas excavadoras como grúas o para el transporte de material.

### **5.2.2. Condiciones que deben reunir las máquinas de obra**

Las máquinas deberán llevar señalización acústica, retrovisores a cada lado, servofrenos y freno de mano, todo ello en perfecto estado de funcionamiento.

### **5.2.3. Almacenamiento de combustible**

Para el almacenamiento y manipulación de bidones de líquidos inflamables, gasolina, gas-oil, etc., se habilitará un lugar idóneo en la caseta de obra adecuada para tal fin y lejos del personal.

Bajo ningún concepto se encenderán fuegos o se soldará en las proximidades; manteniéndose el suelo limpio de carburantes y aceites y disponiéndose de los medios necesarios de extinción.



## **5.3. Servicios sanitarios**

### **5.3.1. Primeros auxilios**

Aunque el objeto de este Estudio de Seguridad y Salud es evitar los accidentes laborales, hay que reconocer que existen causas de difícil control que pueden hacerlos presentes. En consecuencia, es necesario prever la prestación de primeros auxilios para atender a los posibles accidentados, de acuerdo con el Real Decreto 1627/1997.

Dadas las características de la obra e instalación a efectuar, será necesario dotarlo de un botiquín de primeros auxilios por grupo de trabajo, con el fin de dar las primeras atenciones sanitarias a los posibles accidentados.

### **5.3.2. Medicina preventiva**

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en esta obra, así como las disfunciones derivadas de los trastornos físicos, psíquicos, alcoholismo y resto de toxicomanías peligrosas, se prevé que el contratista adjudicatario, en cumplimiento de la legislación vigente, realice los reconocimientos médicos previos a los trabajadores de esta obra, antes de su inicio, exigiendo también este cumplimiento al resto de empresas que sean contratadas por él.

### **5.3.3. Evacuación de accidentados**

La evacuación de accidentados, que por sus lesiones así lo requieran, estará prevista por el contratista adjudicatario de la obra mediante la contratación de un servicio de ambulancias y/o helicóptero, que definirá su Plan de Seguridad.



#### **5.4. Servicios comunes.**

Dadas las características de la obra e instalaciones a efectuar, será necesario dotarla de una caseta de obra, para vestuarios, de unas medidas aproximadas de 6.2x2.5 metros, aproximadamente por grupo de obra y por cada 14 trabajadores o fracción, el contratista adjudicatario de la obra definirá la situación y el número de casetas de obra en su Plan de Seguridad.

#### **5.5. Seguridad e higiene en el trabajo**

El contratista se obliga a hacer cumplir en todo momento a su personal y al personal subcontratado las normas contenidas en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, según orden del 8 de noviembre de 1995, así como todos los reglamentos que la desarrollan y cuantas disposiciones y reglamentos que continúen en vigor, conducentes a evitar peligros y accidentes.

#### **5.6. Formación**

Toda persona que intervenga en la obra recibirá una formación general de seguridad.

Al personal que intervenga en el montaje de la estructura y de la aparamenta de 220 kV y 66 kV, además del curso de formación general, se le impartirá un curso de formación específica en riesgos de altura y eléctrico y se le comentarán los accidentes tipo, que la empresa propietaria de la instalación tiene a disposición del contratista.

A los maquinistas que, por cualquier circunstancia, puedan maniobrar debajo de las barras de 220 kV o de 66 kV, durante el tiempo que se realice la puesta en servicio de la subestación, se les



impartirá un curso de formación específica para trabajos en proximidad y cercanía de tensión.



# **Anejo III: Estudio de Impacto Ambiental**



## **1. Localización y objeto**

El proyecto se localiza en los términos municipales de Ruenes y Alles, en Asturias. Esta estimación de Impacto Ambiental evalúa la alternativa más favorable y de menor impacto ambiental.

El objetivo del presente proyecto es la construcción de una subestación de intemperie con el fin de transformar una potencia total de 240 MVA entre las tensiones de 220 kV y 66 kV.

## **2. Características y descripción de la zona**

### **2.1. Características de la zona**

Desde el punto de vista medioambiental la zona del proyecto así como sus alrededores, se caracteriza por ser una zona mixta entre formaciones arbustivas y arbóreas de árboles autóctonos y de replantación y zonas de uso ganadero y comunal como zonas de pasto del ganado.

#### Vegetación:

La vegetación de la zona en la que se realiza la subestación está compuesta principalmente por plantas características de praderas y pastizales, de monte bajo y por formaciones boscosas.

La vegetación no sufre de manera significativa alteraciones por la realización del proyecto, pudiendo únicamente sufrir alguna alteración puntual debido al paso de vehículos y de la maquinaria necesaria para la realización del proyecto. Esta posible alteración afectaría principalmente a especies típicas de monte bajo.

En cuanto a sus características botánicas la vegetación de la zona del proyecto presenta especies características de la zona de montaña de la región.



La zona afectada por el proyecto se encuentra con un grado de conservación medio-alto.

Predomina principalmente la vegetación de montaña y monte bajo tales como el brezo y los enebrales, así como masas de árboles autóctonos como hayas y rebollos, además de masas arbóreas de repoblación como pinos.

#### Fauna:

Por las características topográficas de pendientes suaves y los usos del suelo que han ido despejando grandes formaciones boscosas para convertirlas en praderas y pastos, la fauna predominante en estos espacios abiertos, son mamíferos de pequeño porte, quedando los grandes mamíferos confinados a zonas donde la vegetación es de mayor envergadura, como los bosques de robles y las repoblaciones de pino.

Ocasionalmente zorros y jabalíes se acercan a las zonas pobladas ya que la presencia en sus cercanías de vertederos y cultivos, supone una comida fácil para ellos.

Por estas razones esta zona cuenta con una gran diversidad de rapaces que se benefician de estas zonas abiertas; en la zona del proyecto y sus alrededores se pueden encontrar Cernícalos (*Falco tinnunculus*), Ratoneros (*Buteo buteo*) y Milanos (*Milvus milvis*).

En cuanto a los mamíferos de pequeño porte estos son principalmente micromamíferos y roedores como Ratas (*Rattus norvegicus*), Ratones (*Mus musculus*), topos, etc.

Dentro de las aves de pequeño y mediano tamaño aparecen Gorriones (*Passer doméstica*), Carboneros (*Parus major*), Urracas (*Pica pica*), Cornejas, etc.



## 2.2. Valoración ambiental

En este apartado se intentará valorar la calidad del medio natural en el que se va a desarrollar el proyecto desde el punto de vista de la vegetación y de la fauna.

### Vegetación:

#### Tipos de vegetación

1. Especies protegidas: presencia de especies catalogadas como protegidas, en peligro de extinción, o sensibles a las alteraciones de su hábitat, recogidas en la legislación estatal o autonómica.
2. Especies singulares: especies que presentan peculiaridades o características que les confieren un grado de diferenciación y singularidad que es necesario conservar.
3. Vegetación natural: Presencia de formaciones vegetales desarrolladas ecológicamente, presentando un alto grado de madurez y diversidad.
4. Pastos y cultivos: presencia de especies vegetales características de estos sistemas, sometidas a la explotación humana y en general con una rotación temporal y espacial a lo largo del año.
5. Ruderales: especies presentes en bordes de caminos, escombreras y zonas degradadas. No exigentes ecológicamente y con una facilidad para colonizar distintos nichos ecológicos.

### Fauna:

#### Tipos de fauna:



1. Especies protegidas: Presencia de especies catalogadas como protegidas, en peligro de extinción, o sensibles a las alteraciones de su hábitat; recogidas en la legislación estatal o autonómica.
2. Especies singulares o características de un hábitat: Presencia de especies faunísticas que componen una estructura trófica y ecológica característica de un ecosistema o nicho ecológico maduro.
3. Especies generalistas no representativas de un hábitat: Especies faunísticas que se encuentran repartidas en distintos nichos ecológicos a los que se adapta con facilidad, con una distribución más o menos extensa.
4. Especies de interés económico: Especies introducidas por el hombre que ven favorecida su pervivencia por intervenciones directas sobre ellas o el hábitat. En general presentan un valor económico o estético.

#### Fauna:

1. Naturalidad: Grado de transformación y alteración paisajística generada por la acción del hombre.
2. Singularidad: Presencia de elementos tanto bióticos como abióticos que confieren al paisaje una característica peculiar que lo revaloriza.
3. Fragilidad: Capacidad de un paisaje para absorber la alteración generada por el proyecto, que depende principalmente de la estructura, topología y grado de alteración del paisaje de partida.

La calidad del paisaje es Media, en este caso, al tratarse de una zona de espacios abiertos, la capacidad de absorción de la modificación la



consideraremos Media. No se producen interferencias con los lugares o paisajes pintorescos.

### **3. Alteraciones generadas por el proyecto**

En este punto, valoraremos el impacto de las acciones del proyecto, así como su intensidad. Los parámetros de valoración de la intensidad: Muy alta, Alta, Media y Baja.

#### **3.1. Fase de construcción**

Construcción de pistas y accesos: Para la realización del presente proyecto es necesario la construcción de accesos, al haber en la zona diferentes pistas y caminos forestales.

Desbroce y despeje de la superficie: Esta tarea consiste en la eliminación mediante podas o métodos similares de la vegetación arbustiva que ocupe el lugar a ocupar la subestación.

Acopio de materiales: Transporte de componentes y materiales necesarios para la construcción de la subestación. En este caso se utilizarán los accesos, caminos y pistas actuales.

Hormigonado: El hormigonado se utilizará con camiones cuba, en el caso de las posibles pérdidas que se produzcan de hormigón se procederá a retirarlas a un vertedero controlado.

Franja de seguridad: Esta es la labor que más impacto medioambiental puede generar en el presente proyecto. Consiste en una limpieza mediante podas y talas de vegetación arbórea y arbustiva dentro de la franja de seguridad a lo largo de la subestación, que establece el RLAT.



Ruidos: La maquinaria, compresores y martillos neumáticos producen ruidos durante la excavación ejecución de la obra, estos serán puntuales no alterando de manera significativa los valores acústicos actuales.

### **3.2. Fase de explotación**

Ruidos: Producidos por el transporte de corriente eléctrica, son puntuales y de muy baja intensidad en este tipo de subestaciones, no contribuyendo a un aumento significativo de los valores acústicos del entorno.

Intrusión en el paisaje: La presencia de la subestación en el paisaje genera una distorsión en el mismo. En este caso por las características del entorno, la intrusión en el mismo se considera baja.

Riesgo de incendio: Producido por descargas eléctricas. La instalación de red de tierras minimiza este riesgo.

## **4. Consideración de impactos ambientales**

### **4.1. Recursos naturales que emplea o consume**

Tanto los materiales de construcción como las materias utilizadas en la fabricación de los componentes del proyecto son los habituales. No se utilizan en ningún caso materias primas raras o que por su extracción o producción generan una alteración grave del ecosistema.

En consecuencia podemos valorar, que desde el punto de vista de los materiales que emplea o consume el impacto puede catalogarse como poco significativo.

### **4.2. Hábitats y elementos naturales singulares**

La zona en la que se va a realizar el proyecto no está dentro de espacios naturales protegidos, de la red natura 2000 ni de ZEPAS (zonas de especial protección de aves) incluidos en la legislación Medio Ambiental de la Comunidad Autónoma de Asturias.



### **4.3. Impacto sobre la fauna y la vegetación**

Como ya se apuntaba anteriormente en las características ambientales de la zona la vegetación afectada se han evitado las zonas boscosas presentes en la zona desarrollándose el proyecto en zonas donde predomina el monte y pastos sobre los caulas las alteraciones por este tipo de obras es mínimo, no causando daños irreversibles o una gran magnitud.

El impacto sobre la fauna es prácticamente nulo, salvo en los casos de grandes aves, se ha cumplido con lo que establece el REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas y subestaciones de alta tensión.

La valoración del impacto de este apartado es poco significativa.

### **4.4. Equilibrios ecológicos**

La subestación de intemperie de 220/66 kV, no afecta a ningún hábitat ecológico destacable, ya que la zona en la que se va a desarrollar el proyecto, no existen hábitats ni ecosistemas que se vean afectados por el desarrollo del mismo, no generando en ningún caso una degradación, alteración grave o irreversible del entorno.

El impacto sobre los equilibrios ecológicos es nada significativo.

### **4.5. El paisaje**

La alteración del paisaje es medio, por el emplazamiento escogido y por tratarse de una subestación en la que se colocará un número elevado de unidades o equipos, y no se favorecerá el enmascaramiento con el entorno de la nueva subestación.

La realización de este proyecto no produce interferencias en la visualización de monumentos o paisajes naturales.



La valoración del impacto sobre el paisaje es significativa.

## 5. Valoración de los impactos

En este caso valoramos las intensidades de las acciones del proyecto sobre la calidad ambiental de la zona en la que se va a desarrollar mediante una matriz de impactos que nos permitirá valorar el impacto sobre el medio ambiente en cada fase del proyecto .

La valoración de los impactos puede ser:

- Nulo: El impacto de la acción sobre el conjunto de los componentes del ambiente o el impacto sobre uno de los componentes del ambiente por el conjunto de las acciones no es relevante o su afección es inapreciable en el medio ambiente.
- Bajo: El impacto de la acción sobre el conjunto de los componentes del ambiente o el impacto sobre uno de los componentes del ambiente por el conjunto de las acciones es bajo no alterando de manera significativa en el medio ambiente.
- Medio: El impacto de la acción sobre el conjunto de los componentes del ambiente o el impacto sobre uno de los componentes del ambiente por el conjunto de las acciones producen una alteración moderada sobre el medio ambiente.
- Alto: El impacto de la acción sobre el conjunto de los componentes del ambiente o el impacto sobre uno de los componentes del ambiente por el conjunto de las acciones genera una alteración importante sobre el medio ambiente.



- **Muy alto:** El impacto de la acción sobre el conjunto de los componentes del ambiente o el impacto sobre uno de los componentes del ambiente por el conjunto de las acciones es irrecuperable, alterando gravemente el medio ambiente.

Los impactos Medios y Altos son susceptibles de reducir su intensidad mediante la aplicación de medidas correctoras que disminuyan o neutralicen la magnitud del impacto causado sobre los distintos factores ambientales.

La identificación establecida, y matriz de impactos que se ha obtenido se muestran a continuación:

<b>Identificación</b>	<b>Nulo</b>	
	<b>Bajo</b>	
	<b>Medio</b>	
	<b>Alto</b>	
	<b>Muy Alto</b>	



Fases y actividades / componentes ambientales		Físico						Biológico	
		Aire		Agua		Suelo		Fauna	Paisaje
		Calidad del aire	Niveles de ruido y vibraciones	Calidad de aguas superficiales	Calidad de aguas subterráneas	Cobertura vegetal	Calidad del suelo		
Fase de construcción	Construcción de pistas y accesos	■	■	■	■	■	■	■	■
	Desbroce y despeje de superficie	■	■	■	■	■	■	■	■
	Excavaciones	■	■	■	■	■	■	■	■
	Acopio de materiales	■	■	■	■	■	■	■	■
	Hormigonado	■	■	■	■	■	■	■	■
	Franja de seguridad	■	■	■	■	■	■	■	■
	Ruidos propios de construcción	■	■	■	■	■	■	■	■
Fase de explotación	Ruido de operación	■	■	■	■	■	■	■	■
	Contaminación por vehículos	■	■	■	■	■	■	■	■
	Contaminación por mantenimientos	■	■	■	■	■	■	■	■



## **6. Medidas correctoras**

### **6.1. Protección de la fauna**

Por las características técnicas de la subestación en cuanto a tipo y alturas de los pórticos y de las unidades y equipos, son muy poco probables incidentes con aves como colisiones o electrocuciones en la zona generados por la construcción de la subestación. Además, para la protección de la posible intrusión de animales en el recinto de la subestación, se ha construido una valla perimetral lo suficientemente elevada y resistente para garantizar que los animales considerados grandes no puedan entrar en el recinto.

### **6.2. Protección del paisaje**

En todas las obras y maniobras a realizar para desarrollar el presente proyecto se debe evitar dejar escombros, desperdicios u otro tipo de materiales no presentes en la zona antes del inicio de los trabajos; procediendo una vez concluidas a su traslado a un vertedero de los materiales de desecho. Se evitará la alteración de los caminos, pistas o cercados actuales, si se producen alteraciones en los mismos durante la fase de construcción de la subestación, deberán ser restaurados a su estado original.

## **7. Conclusiones**

Como resultado final de esta Estimación de Impacto Ambiental la valoración del presente proyecto que se ubica entre los términos de Ruenes y Alles, es que dicho proyecto es COMPATIBLE con las características ambientales de la zona, y manteniendo prácticamente inalterados todos los medios físicos y biológicos



Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV

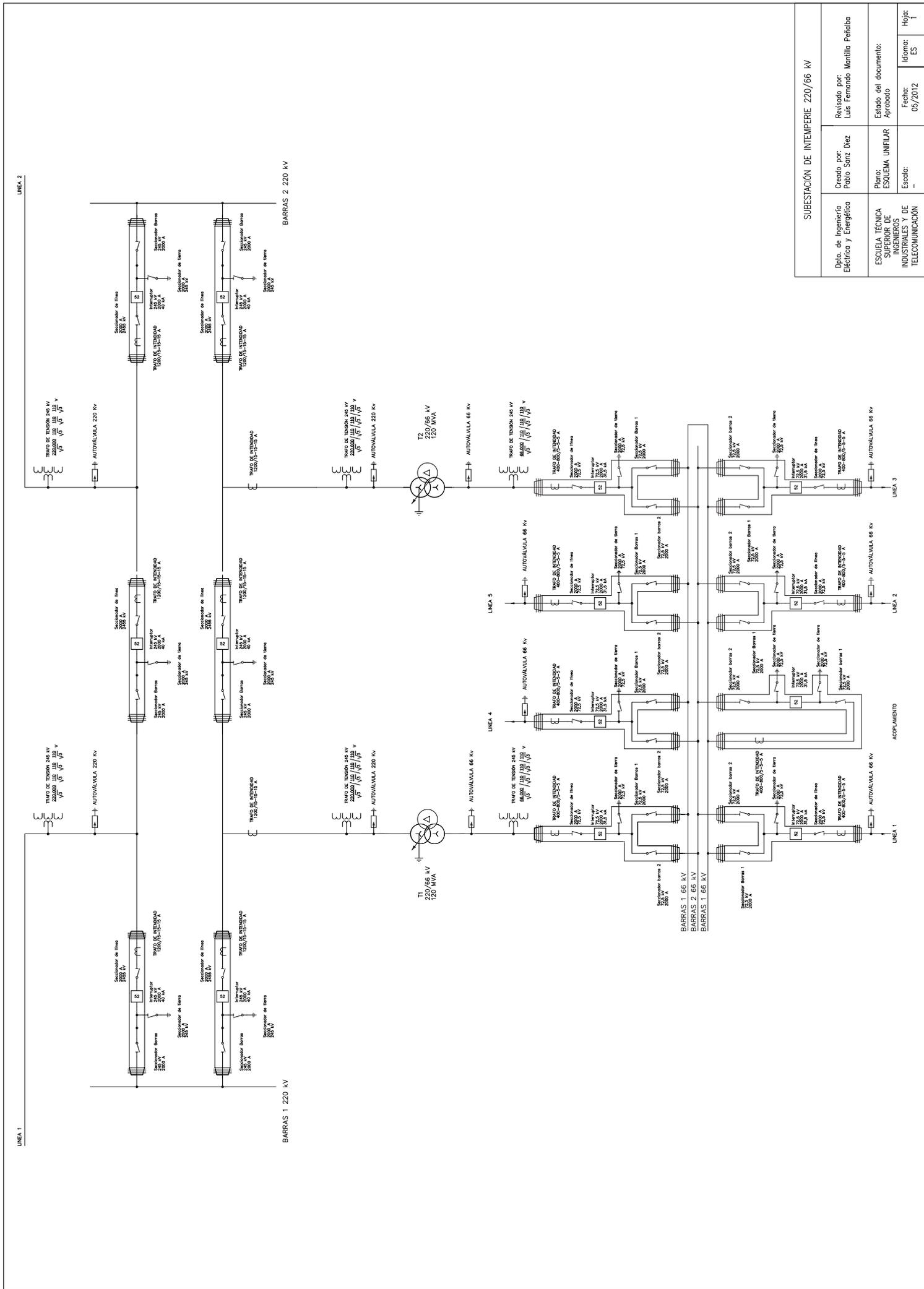




Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV



## Documento N°2: Planos



SUBESTACION DE INTEMPERIE 220/66 KV	
Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Energética	Creado por: Pablo Sanz Díez
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION	Estado del documento: Aprobado
Escrito: -	Fecha: 05/2012
Hoja: 1	Idioma: ES









Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV





Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV



# **Documento N°3: Pliego de condiciones**



## **1. Objeto**

El objeto del presente Pliego de condiciones es establecer los requisitos a los que se debe ajustar la ejecución de las obras del proyecto, así como las condiciones técnicas y control de calidad que han de cumplir los materiales utilizados en el mismo.

Las condiciones técnicas y operaciones a realizar que se indican, no tienen carácter limitativo, teniendo que efectuar además de las indicadas, todas las necesarias para la ejecución correcta del trabajo.

## **2. Disposiciones generales**

### **2.1. Seguridad en el trabajo**

Conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción, al amparo de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales se incluye en el presente proyecto, el Estudio de Seguridad y Salud correspondiente para su ejecución, en base al cual cada contratista elaborará un Plan que deberá ser aprobado por el Coordinador en materia de seguridad y salud nombrado al efecto por el promotor, previo al inicio de las obras.

### **2.2. Gestión ambiental**

Todas las obras del proyecto se ejecutarán garantizando el cumplimiento de la legislación y reglamentación medioambiental aplicable.

Así mismo, el conjunto de medidas, planes y acciones se encuentran reflejados en el estudio de Impacto ambiental de correspondiente, en caso de que fuese necesario realizar. Adjuntándose junto con este proyecto.



### **2.3. Códigos y normas**

Todas las obras del proyecto, además de lo prescrito en el presente Pliego de Condiciones se ejecutarán cumpliendo las normas y recomendaciones en su última edición ó revisión que les sean de aplicación y estén vigentes en el momento del inicio de las mismas.

Entre ellas se tendrán en cuenta las siguientes:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas Complementarias del MIE.
- Reglamento Electrotécnico para BT del MIE.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el suministro de Energía.
- Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de AT del MIE.
- Normas “UNE”, “IEC” y aplicables.
- Código Técnico de la Edificación RD314/2006.

### **2.4. Condiciones para la ejecución por contrata**

Serán las que vengán reflejadas en las condiciones generales para la contratación de obras y servicios, así como las descritas en Los Pliego de Licitación.

#### **Generalidades.**

El Contratista será responsable del proyecto, suministro, transporte, carga y descarga de los materiales, construcción de la obra civil, estructuras y soportes metálicos, montaje de todos los equipos de la SE, Puesta en Marcha y Puesta en Servicio, así como la garantía del Suministro, hasta la Recepción Definitiva.



También será obligación del Contratista facilitar Asistencia Técnica a los necesarios servicios de mantenimiento durante el período de garantía.

Todos los elementos necesarios para el funcionamiento y control de las instalaciones de la SE aunque el Contratista los hubiese omitido en su Proyecto por error u olvido, se considerarán incluidos en la oferta y por lo tanto exigirá su construcción a cargo del Contratista.

El Suministro deberá satisfacer la mejor y moderna práctica corriente en ingeniería mecánica, eléctrica, instrumentación y control, comunicaciones, fluidos, etc. Se emplearán materiales de primera calidad de las marcas de prestigio tanto nacionales como extranjeras. Estas deberán mencionarse, reservándose el Comprador el derecho a escogerlas sin sobreprecio alguno y su empleo será obligado para el Contratista. La selección de una marca y modelo no podrá considerarse como motivo de modificación de contrato.

Las instalaciones deberán reunir las condiciones máximas de seguridad en cuanto a incendios, inundaciones, distancias reglamentarias, tensiones de paso y contacto en caso de defectos a tierra, etc.

Se dispondrán todos los dispositivos de protección necesarios respetando íntegramente las normativas legales vigentes, que serán de obligado cumplimiento.

El Contratista velará por la integridad de los equipos e instalaciones que se encuentren dentro del recinto de la Subestación, respondiendo de su robo o daño en cualquier momento de la obra, siendo de su responsabilidad todas las medidas de seguridad y vigilancia oportunas.



### **3. Condiciones de los materiales de la obra civil**

Los componentes fundamentales de la Subestación están definidos en la Memoria Descriptiva y en los planos incluidos en el presente Proyecto.

La información se completa con la relación de materiales que figura en el Presupuesto.

Respecto a la obra civil se indica a continuación la calidad y preparación de los materiales a utilizar.

#### **3.1. Hormigones**

La composición del hormigón será la adecuada para que la resistencia de proyecto o resistencia característica especificada del hormigón a compresión a los veintiocho días, expresada en N/mm<sup>2</sup>, tal y como se especifica en los artículos 30 y 39 de la EHE sea según su uso, la expresada en el cuadro adjunto.

Las dosificaciones de hormigón a emplear en las distintas estructuras, en contacto con el suelo y por debajo de la cota 0,00 de la explanación tendrá una relación agua/cemento menor o igual a 0,60.

Dadas las particulares condiciones de uso de los viales de subestaciones, no es necesaria ninguna exigencia específica para los hormigones a utilizar en esta unidad, que se ejecutará con el tipo de hormigón especificado en el siguiente cuadro.



T I P O	F ck (N/mm <sup>2</sup> )	USO EN
HA-25/P/20/Ila	25	Obras de hormigón armado como soleras, forjados, depósitos, bancadas de transformadores, etc.
HM-20/P/40/Ila	20	Obras de hormigón en masa como cimientos, viales, solados, bordillos, cunetas, arquetas, zanjas, etc.
HM-10/P/40/Ila	10	Hormigones de limpieza, rellenos, etc.

### 3.2. Áridos para morteros y hormigones

Los áridos serán de cantera, río o bien procedentes de machaqueo, debiendo ser limpios y exentos de tierra-arcilla o materia orgánica.

El tamaño máximo del árido estará limitado por el tamiz 40 UNE y su proporción de mezcla definida por porcentaje en peso de cada uno de los diversos tamaños utilizados.

Deberán encontrarse saturados y superficialmente secos, a fin de obtener un hormigón de la máxima compacidad, manejable, sin segregación, bien ligado y de la resistencia exigida.

Los áridos cumplirán como mínimo las condiciones en el artículo 28 de la EHE.

### 3.3. Morteros

La composición del mortero será adecuada a la aplicación de las obras de fábrica que se ejecute.

En general se adaptarán a los tipos especificados en la norma NBE-FL-90, (tabla 3.3) y su dosificación será la exigida en la tabla 3.5 de la norma anterior, que a continuación se incluye.



USO	Mortero	Tipo	Cemento	Cal aérea	Cal Hidráulic a.	Arena
Fábricas ordinarias, relleno mortero para solados	M-20	a	1	-	-	8
		b	1	2	-	10
		c	-	-	1	3
Fábricas cargadas y enfoscados	M-40	a	1	-	-	6
		b	1	1	-	7
Bóvedas, doblados de rasilla, escaleras	M-80	a	1	-	-	4
		b	1	½	-	4
Enlucidos, revocos, cornisas, enfoscados impermeables	M-160	a	1	-	-	3
		b	1	¼	-	3

### 3.4. Cementos

El tipo de cemento utilizado para la ejecución de los hormigones, “cemento de la clase resistente 32,5 N/mm<sup>2</sup> o superior”, se determinará teniendo en cuenta entre otros factores la aplicación del hormigón, las condiciones ambientales a las que va a estar expuesto y las dimensiones de las piezas y cumplirá como mínimo las condiciones exigidas en la RC-97 y artículo 26 de la EHE.

La dosificación del cemento se realizará en base al tipo de hormigón a conseguir y el tipo de cemento a utilizar, de acuerdo a la siguiente tabla:



Tipo de Hormigón	Tipo de cemento	Dosificación
H. en masa	C. comunes C. para usos especiales	-
H. armado	C. comunes	Mínimo 275Kg/ m <sup>3</sup> de cemento
H. pretensado	C. comunes del tipo CEM I y CEM II/A-D	Mínimo 300Kg/ m <sup>3</sup> de cemento

### 3.5. Agua

Cumplirá como mínimo las condiciones impuestas en el artículo 27 de la EHE.

No se utilizarán aguas del mar ó aguas salinas análogas, tanto para amasar como para curar hormigones, y se rechazarán, salvo justificación especial, todas aquellas aguas que no cumplan las siguientes condiciones:

- Un PH  $\geq$  5.
- Contenido de sulfato  $\leq$  1g/l.
- Contenido de Ion Cloro  $\leq$  3g/l para HA ó HM y  $\leq$  1g/l para HP.
- Sustancias orgánicas solubles en éter en cantidad  $\leq$  15g/l.

### 3.6. Armaduras

Las armaduras para el hormigón serán de acero y estarán constituidas por:

- Barras corrugadas designadas en la tabla 31.2.a del artículo 31 de la EHE como B 400 S y B 500 S y cumplirán como mínimo las condiciones impuestas en el mencionado artículo.



- Mallas electrosoldadas designadas en la tabla 31.3 del artículo 31 de la EHE como B 500 T y cumplirán como mínimo las condiciones impuestas en el mencionado artículo.

### **3.7. Piezas de hormigón armado o pretensado**

La forma y dimensiones de las piezas prefabricadas, se ajustarán perfectamente a los planos aprobados así como a las indicaciones del proyecto, y al cuerpo de la obra a ensamblar, siendo recibidos todos aquellos cuerpos que requieran su unión.

### **3.8. Materiales siderúrgicos**

Los tornillos serán de la clase ordinaria y de una calidad del acero 5.6 y cumplirán, así como las tuercas y arandelas, las condiciones impuestas en la NBE.

### **3.9. Laminados de acero y para estructuras.**

Los aceros laminados para estructuras serán de calidad S275JR de acuerdo con la norma UNE- EN 10025.

En aquellos casos en los se suministren perfiles ya elaborados, incluirán 2 manos de pintura protectora antioxidante y su medición se realizará por su peso directo.

## **4. Condiciones generales para la ejecución de las obras**

### **4.1. Movimiento de tierras**

#### **Desbroce y limpieza del terreno:**

En función del tipo de terreno existente, la dirección de la obra determinará la cantidad de tierra vegetal, arbolado, tocones, maleza, etc., a retirar y extracciones a realizar. Así mismo decidirá si depositar la extracción en lugares predeterminados para su posterior



aprovechamiento o por el contrario retirarla a escombreras autorizadas.

### **Demoliciones**

Comprende el derribo o demolición, total o parcialmente, de todas las construcciones que obstaculicen la obra a realizar y la retirada de la obra del material que no se tenga que reutilizar.

### **Compactación**

Pueden presentarse 2 tipos diferentes de terrenos a escarificar:

- Terrenos sin firme existente.
- Terrenos con firme existente.

En ambos casos la operación consistirá en disgregar el terreno superficial con los medios mecánicos adecuados y previamente a su compactado.

La compactación se realizará hasta conseguir una densidad de al menos, un 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado, según norma UNE 103.501/94.

### **Excavaciones, rellenos, terraplenes, subbases granulares, redes de drenaje.**

La medición de la excavación y relleno con el propio material, se realizará por diferencia teórica entre perfiles transversales del terreno tomados antes del inicio de las excavaciones y después de realizada la compactación. En el caso de utilizarse en el relleno material de préstamo, su medición se realizará por el mismo procedimiento.

Para la realización de las excavaciones se seguirán las normas establecidas a tenor de las características particulares de la cimentación del terreno, y sus dimensiones se ajustarán a las indicadas en los planos del proyecto.



Los materiales de relleno se ajustarán a las indicaciones de Las Prescripciones Técnicas Españolas sobre materiales para su utilización en Terraplenes (PG4/88, artículo 330).

La superficie superior del terraplén se realizará con material granular, y dispondrá de la pendiente suficiente que facilite la salida de aguas o bien dispondrá de un sistema de drenaje.

Los materiales de la capa granular, empleados entre la base del firme y la explanada, se ajustará a lo indicado en los artículos 510 del PG-3.

Las redes de drenaje definidas en los planos del proyecto, se realizarán habitualmente mediante tubo de hormigón poroso, policloruro de vinilo, polietileno de alta densidad o cualquier otro material sancionado por la experiencia, siendo cubierto con material filtrante una vez colocados en la zanja, ajustándose al artículo 420 del PG-3.

## **4.2. Hormigones**

Antes de verter hormigón sobre hormigón endurecido se limpiará la superficie de contacto mediante chorro de agua y aire a presión, y/o picado, eliminando seguidamente el agua que se haya depositado, así como se realizará el tratamiento adecuado con productos especiales de unión entre fraguados y frescos.

El hormigón se compactará por vibraciones hasta asegurar que se han llenado todos los huecos, se ha eliminado el aire de la masa y refluye la lechada en la superficie.

Durante el primer período de endurecimiento, no se someterá al hormigón a cargas estáticas o dinámicas que puedan provocar su



fisuración y la superficie se mantendrá húmeda durante 7 días, como mínimo, protegiéndola de la acción directa de los rayos solares.

No se podrá colocar hormigón cuando la temperatura baje de 2° C, ni cuando siendo superior se prevea que puede bajar de 0° C durante las 48 horas siguientes, ni cuando la temperatura ambiente alcance los 40°C. Se suspenderá el hormigonado cuando el agua de lluvia pueda producir deslavado del hormigón.

Se garantizarán las condiciones de ejecución de las obras de hormigón exigidas en el Capítulo XIII de la EHE.

No se iniciará el hormigonado en ningún tajo, sin comprobar la terminación de encofrados, el estado de las superficies de apoyo, la cuantía y la correcta colocación de las armaduras, de las juntas, así como de cualquier extremo que estime oportuno

### **4.3. Pavimentos de hormigón**

Cuando se realice la pavimentación mediante hormigonado en fresco, se podrán insertar directamente las juntas de dilatación de material plástico conforme a lo indicado en los planos de proyecto, o bien, una vez endurecido el hormigón mediante serrado con disco, siendo la profundidad mayor de seis centímetros.

### **4.4. Armaduras**

La disposición de las armaduras una vez hormigonadas, será tal y como figura en los planos e instrucciones del proyecto, debiendo estar perfectamente sujetas para soportar el vertido, peso y vibrado del hormigón, respetándose especialmente los recubrimientos mínimos indicados en la EHE en vigor.



#### **4.5. Laminados**

La disposición de los laminados y su medición se realizarán conforme a los valores teóricos de acuerdo con los planos e instrucciones del Proyecto, no considerándose los despuntes, solapes, ganchos, platillas, etc., que pudieran introducirse.

#### **4.6. Encofrados**

Los encofrados de madera o metálicos, serán estancos y estarán de acuerdo con las dimensiones previstas en el proyecto, serán indeformables bajo la carga para la que están previstos y no presentarán irregularidades bruscas superiores a 2 mm ni suaves superiores a 6 mm medidos sobre la regla patrón de 1 m de longitud. Su desplazamiento final, respecto a las líneas teóricas de replanteo, no podrá exceder de los 6 mm.

#### **4.7. Piezas prefabricadas de hormigón**

Durante el proceso de carga, transporte y montaje o colocación, los elementos prefabricados deberán suspenderse y apoyarse en los puntos previstos, a fin de que no se produzcan sollicitaciones desfavorables.

#### **4.8. Estructura metálica**

La presentación de los anclajes se efectuará con las plantillas previstas para este fin.

Una vez clasificada la estructura y comprobado que las dimensiones (incluso taladros) corresponden a las medidas indicadas en el Proyecto, se procederá al izado de la misma mediante:

- Estrobo y elevación de las estructuras.
- Fijación de las mismas en sus anclajes mediante pernos u hormigón.



- Aplomado, nivelación y alineación de las mismas.

#### **4.9. Embarrados y conexiones**

- Embarrados de cable y derivaciones
- Los embarrados de cable se ejecutarán realizando un tramo de muestra de cada vano tipo, con arreglo a las tablas de tendido. Luego se montarán en el suelo todos los tramos izándolos y regulándolos posteriormente.
- Embarrados rígidos de tubo o pletina
- Los embarrados de tubo se prepararán y ejecutarán en el suelo, incluyendo el doblado con máquina, empalmes si son necesarios, y taladros. En el caso de los tubos de aluminio, se prevé un equipo de soldadura para la unión de las palas de conexión. Posteriormente se izarán y montarán los diferentes tramos.
- Conexiones
- Se prepararán, limpiarán, colocarán y apretarán las piezas de conexión según se indique.

#### **4.10. Aparamenta**

##### **Módulos compactos:**

Se procederá a la fijación en sus bancadas y una vez nivelados se regularán y ajustarán según instrucciones del fabricante.

El llenado del fluido aislante se realizará a la presión indicada por el fabricante. Cuando se trate de aceite, se realizará un filtrado hasta alcanzar una rigidez dieléctrica mínima de 150 kV/cm.

En su recepción se comprobará la densidad del gas a través del densímetro, y la presión de gas para el caso de interruptores de SF6.

La casa constructora del interruptor deberá revisar el montaje y dar su aprobación al mismo.



Se procederá al izado, fijación en sus soportes y una vez nivelados se regularán y ajustarán según instrucciones del fabricante.

Se comprobarán los ajustes, engrases finales, así como la penetración de las cuchillas, conforme a las indicaciones del fabricante.

### **Resto de la aparamenta**

Se procederá a la situación, nivelación y fijación a los soportes correspondientes y, en donde proceda, se instalarán las conducciones necesarias hasta las cajas de centralización.

Para su montaje se seguirán las instrucciones del fabricante.

- El montaje de los transformadores de medida, cuando se monte uno por fase, se realizará siguiendo el número de fabricación: el menor fase 0 y el mayor en la fase 8. Una vez montados se medirán aislamientos. En los TI además, se medirá la polaridad y relación de transformación.
- En las autoválvulas, cuando proceda, se montarán los contadores de descargas. Se comprobará y medirá el aislamiento entre la base donde lleve la puesta a tierra y el soporte metálico.

## **4.11.Transformadores de potencia y reactancias**

Actividades principales a desarrollar en el montaje:

- Descarga y traslado hasta su emplazamiento definitivo junto con sus accesorios.
- Montaje de accesorios y bornas.
- Tratamiento y llenado de aceite bajo vacío.
- Recepción final.



- Se comprobará la existencia de una ligera sobrepresión de gas en la cuba del transformador.
- Se efectuará el vacío de la cuba, al mismo tiempo se realizará el filtrado del aceite en depósitos aparte.
- Una vez conseguidos los valores de rigidez dieléctrica y vacío indicados en la Especificación Técnica de Montaje de Transformadores de Potencia, se iniciará el llenado de la cuba por la parte inferior hasta alcanzar un nivel cercano a la tapa..
- Se procederá a la rotura de vacío.
- Una vez montados todos los elementos del transformador se procederá al llenado final del transformador.

El aceite antes del llenado debe tener un contenido de humedad de 10 ppm o menos y el contenido de gases no debe exceder del 1%.

Cuando la cuba no esté preparada para pleno vacío, se procederá solamente al tratamiento del aceite y al llenado del transformador.

En el caso de transformadores nuevos, la casa constructora del transformador realizará el montaje y supervisará la puesta en servicio del mismo.

#### **4.12. Batería de condensadores**

Se efectuará el montaje del soporte metálico, colocación y fijación de los módulos de la batería sobre el soporte.

Se efectuará el montaje de los embarrados y derivaciones.

Se realizarán mediciones de las series con todos sus elementos, y eliminando elementos hasta que la sobretensión a que queda sometida sea del 10%.

En la puesta en servicio de las modernas, se vigilará la corriente residual entre los neutros para detectar el desequilibrio.



#### **4.13. Cables de potencia**

El tendido se realizará formando ternas trifásicas (fases 0, 4, 8).

No se admitirán empalmes en el tendido inicial de los cables de potencia.

Se comprobará el cumplimiento de las instrucciones del tendido y montaje dadas por el fabricante del cable, así como los ensayos eléctricos previos a la puesta en servicio.

Los cables irán marcados identificando circuito y fase en las zonas visibles y arquetas de registro.

#### **4.14. Puesta a tierra**

Cualquier elemento que no soporte tensión deberá estar conectado a la malla de tierra. El contacto de los conductores de tierra deberá hacerse de forma que quede completamente limpio y sin humedad.

La malla de tierra se tenderá a la profundidad indicada en el proyecto, siguiendo la disposición indicada en los planos del mismo.

Las conexiones se efectuarán con soldadura aluminotérmica y los cruzamientos se harán sin cortar el cable.

No se tapará ningún tramo de malla de tierra, ni soldadura alguna, sin la autorización previa de la dirección de obra.

### **5. Plan de control de calidad**

El plan de control, tanto de la ejecución como de los materiales utilizados, se preparará en base a los criterios de buena práctica y conforme a las instrucciones, normas, pliegos, etc., de aplicación en cada caso, debiéndose cumplir como mínimo los requisitos expuestos en los siguientes apartados.



El contratista de acuerdo con lo indicado en las Especificaciones Técnicas, o en su defecto en las Normas e Instrucciones de Organismos Oficiales, encargará la realización de ensayos y pruebas a laboratorios homologados.

Mensualmente el contratista entregará los certificados de calidad de todos los materiales utilizados, indicando las unidades de obra a que afecta.

### **Movimiento de tierras:**

Cuando se efectúen movimientos de tierras para explanación de carreteras, viales, etc. se deberán cumplir los valores de Límite de Atteberg, análisis granulométrico, equivalente de arena, Proctor normal/modificado, CBR de laboratorio, materia orgánica y densidad "in situ", según especifica en cada caso las correspondientes normas NLT ó UNE.

### **Hormigón:**

Para garantizar las condiciones de ejecución de las obras de hormigón exigidas en el Capítulo XIII de la EHE, se realizará un control de ejecución a nivel normal.

La comprobación de la resistencia del hormigón se realizará en el laboratorio, mediante la rotura a compresión de probetas sacadas a pie de obra, a la edad de 7 y 28 días, según normas UNE 83300:84, 83301:91, 83303:84 y 83304:84.

La comprobación de su consistencia se realizará a pie de obra, mediante el cono de Abrams, según norma UNE 83313:90.

### **Piezas prefabricadas de hormigón armado o pretensado:**

El fabricante presentará un expediente en el que se recojan las características tales como:



- Calidad del Hormigón.
- Calidad del acero.
- Dimensiones y tolerancias.
- Solicitaciones.
- Precauciones durante su montaje.

#### **Armadura:**

- Verificación de la sección equivalente.
- Ensayos y características según Norma UNE 36068:94.
- Comprobación de los valores característicos del material, límite elástico, rotura y alargamiento.
- Verificar que las características de las mallas electrosoldadas de acero para hormigón armado, cumplen con la norma UNE 36092:96.

#### **Obra de fábrica:**

El contratista entregará el certificado de garantía y ensayos efectuados por el fabricante de los siguientes elementos: Tocho macizo, Cero visto, Tochana y Gero no visto.

#### **Protocolo, ensayos y Montaje de estructuras metálicas y soportes.:**

Protocolos: El Contratista entregará a la propiedad, antes de iniciar la construcción, los certificados de garantía de la materia prima con las características mecánicas y químicas, según los apartados 2.3, 2.6 y capítulo 3 de la Norma MV 102/1975.

Ensayos: El Contratista encargará los ensayos que a continuación se mencionan a un laboratorio recomendado; se entregarán los resultados inmediatamente después de efectuados.

Control de medidas: En el taller del constructor, de cada tipo de módulo (columna, viga, soporte, etc.) se elegirá uno, del que se comprobarán las dimensiones y tipo de perfil.



Control del galvanizado: El espesor del galvanizado, se comprobará mediante el medidor de espesores digital. De cada tipo de módulo se elegirá uno, en el cual se efectuarán como mínimo 3 mediciones. Este control, se efectuará en obra.

Control de características mecánicas: Se escogerá una muestra de cada módulo (viga, columna, soporte, etc.) del taller del constructor y se efectuarán, ensayo de resiliencia y ensayo de tracción, del que se obtendrá; límite elástico, resistencia a tracción y alargamiento a la rotura, de acuerdo con las Normas indicadas en la MV 102/1975.

En los módulos soldados se efectuarán radiografía de las soldaduras (Norma UNE 14011) por empresas especializadas y autorizadas.

Las radiografías a efectuar dependerán del tipo de estructura, fijándose como norma dos elegidas por muestreo en obra.

Control de tornillería: Se comprobarán tanto las medidas de tornillo, arandela y tuerca, así como el buen marcaje de la marca del fabricante y de la calidad del tornillo. También se comprobará la uniformidad del galvanizado.

Los tornillos que se comprobarán se procurará que sean de distintos tipos.

Las tolerancias dimensionales de los conjuntos montados serán indicadas en los planos. Las tolerancias admitidas son:



	<b>SOPORTES</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>	<b>DINTELES</b>
<b>Aplomado</b>	$\pm \text{altura}/1000 \leq 25 \text{ mm}$	$\pm 3 \text{ ‰}$ de la altura	
<b>Nivelación</b>	$\pm 2,5 \text{ mm}$ (* )Con un máximo de 2,5 mm entre cada soporte de seccionadores	$\pm 2,5 \text{ mm}$	Horizontal: $\pm 3 \text{ ‰}$ de la longitud
<b>Alineación</b>	$\pm 2,5 \text{ mm}$ (anclaje mediante hormigón) Holgura que permita el taladro , < 2,5 mm (anclaje mediante pernos)		
<b>Flecha</b>		$\pm \text{altura}/1000 \leq 15 \text{ mm}$ (F. de los pilares de la estructura respecto a su eje vertical)	$\pm \text{Longitud}/100$ $0 \leq 10 \text{ mm}$ (F. entre ejes de apoyo)

Ensayos Red de tierras: El Contratista encargará los ensayos que a continuación se mencionan a una empresa especializada.

Medida de las tensiones de paso y de contacto, mano-mano y mano-pie, (como mínimo 50 puntos, a criterio del Comprador).

El sistema a utilizar para ambas medidas será de inyección de corriente y en la medición de tensiones de paso y contacto con un sistema de corrección de cualquier tensión parásita que pueda circular por el terreno o bien inyectando una intensidad del 1 % de la corriente para la cual ha sido dimensionada la instalación y en cualquier caso no inferior a 50 A.



Medida de la continuidad de la red, indicando sección conductor equivalente, esta medida se efectuará como mínimo entre 10 puntos opuestos a criterio del Comprador.

## **6. Recepción y puesta en marcha de las obras**

Al término de las obras comprendidas en el Proyecto, se hará una recepción de las mismas, levantándose la correspondiente Acta, en la que se hará constar la conformidad con los trabajos realizados, si éste es el caso, dándose la obra por terminada si se ha ejecutado correctamente de acuerdo con el presente Pliego de Condiciones.

En el caso de no hallarse la obra en estado de ser recibida, se hará constar así en el Acta, y se darán las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados, fijándose un plazo de ejecución. Expirado dicho plazo, se hará un nuevo reconocimiento.

Para la recepción y puesta en marcha de la obra el Contratista deberá realizar las pruebas de los equipos e instalaciones, basándose en la normativa citada y en los Protocolos de Pruebas indicadas.

El Contratista deberá cumplimentar los distintos Protocolos de Recepción, de los equipos e instalaciones, antes de la Puesta en Servicio.

La Puesta en Servicio la realizará el Contratista bajo la dirección de la propiedad.

El Contratista cumplimentará el permiso de Puesta en Marcha ante el Organismo Oficial (Industria).



## **Secuencia a seguir antes de las maniobras de puesta en marcha:**

De un modo no exhaustivo se describen las principales actividades que deben realizarse antes de la puesta en marcha.

### Verificaciones previas a la energización en A.T.:

- Verificación de los tenses y flechas de las conexiones tensadas.
- Verificación del conexionado de la aparamenta de toda la instalación.
- Verificar el valor nominal de tensión en los equipos y demás características de la aparamenta que sean correctas.
- Comprobación a muestreo el apriete de la tornillería en las conexiones, aparamenta y estructura metálica.
- Verificar el ajuste y puesta a punto de los seccionadores:
  - Enclavamientos eléctricos y mecánicos.
  - Mandos locales.
  - Control de la resistencia contacto.
    - Aislamiento
  - Velocidad de apertura-cierre
- Verificar el ajuste y puesta a punto de los interruptores:
  - Enclavamientos eléctricos y mecánicos.
  - Mandos locales.
  - Control de la resistencia contacto.
  - Aislamiento
  - Velocidad de cierre-apertura.
  - Tiempos de actuación cierre-apertura (bloques de contacto).
  - Sincronismo entre fases y entre los contactos cierre-apertura.

### Verificaciones previas a la energización en armarios y circuitos de control y protección:

- Verificación del conexionado, de acuerdo con los esquemas correspondientes.



- Realizar las pruebas de aislamiento de cada uno de los aparatos.
- Verificar la separación de las polaridades y respecto a tierra (cc y ca).
- Verificar el valor nominal de tensión y demás características sean correctas (aparatos y equipos).
- Comprobación de la ausencia de conexiones sueltas o mal apriete de bornas.
- Comprobar etiquetado de cables.
- Comprobar la puesta a tierra de las pantallas de los cables y su etiquetado (longitud del rabillo de tierra).
- Comprobar la relación de los transformadores auxiliares y su concordancia con la relación elegida (T/T y T/I).
- Comprobación de la polaridad de los transformadores aux. (T/T y T/I).

#### Secuencia a seguir para la puesta en marcha circuito control y protección

De un modo exhaustivo, se describen las principales actividades a realizar en la puesta en marcha "en caliente" de los circuitos de control y protección.

- Servicios auxiliares ca:
- Servicios auxiliares cc:
- Comprobación independencia de los circuitos de baterías.
- SISTEMA INTEGRADO DE CONTROL Y PROTECCIÓN:  
Comprobación local de todas las señales, mandos y medidas.
- Para cada POSICIÓN:
  - o Maniobra: local desde el armario de la propia celda, desde el Terminal Local (PC) y desde el Centro de Control.
  - o Enclavamientos.
  - o Circuitos intensidad y tensión: inyección de corriente y tensión, comprobando los aparatos de medida, protección y convertidores.
  - o Protecciones: protocolos de ajuste.
  - o Protección embarrado:
  - o Celda unión de barras.



- Protección diferencial o modificación de corrientes de la misma.
- Otras pruebas:
- SICOP modificación de la programación y pruebas funcionamiento.
- Equipos de comunicación.
- Programación Centro de Control
- Pruebas Comunicaciones.
- Prueba desde Centro de Control.

## 7. Resumen de las características de los equipos a instalar

A continuación se indicarán los equipos que se van a instalar en la subestación, con todas sus características.

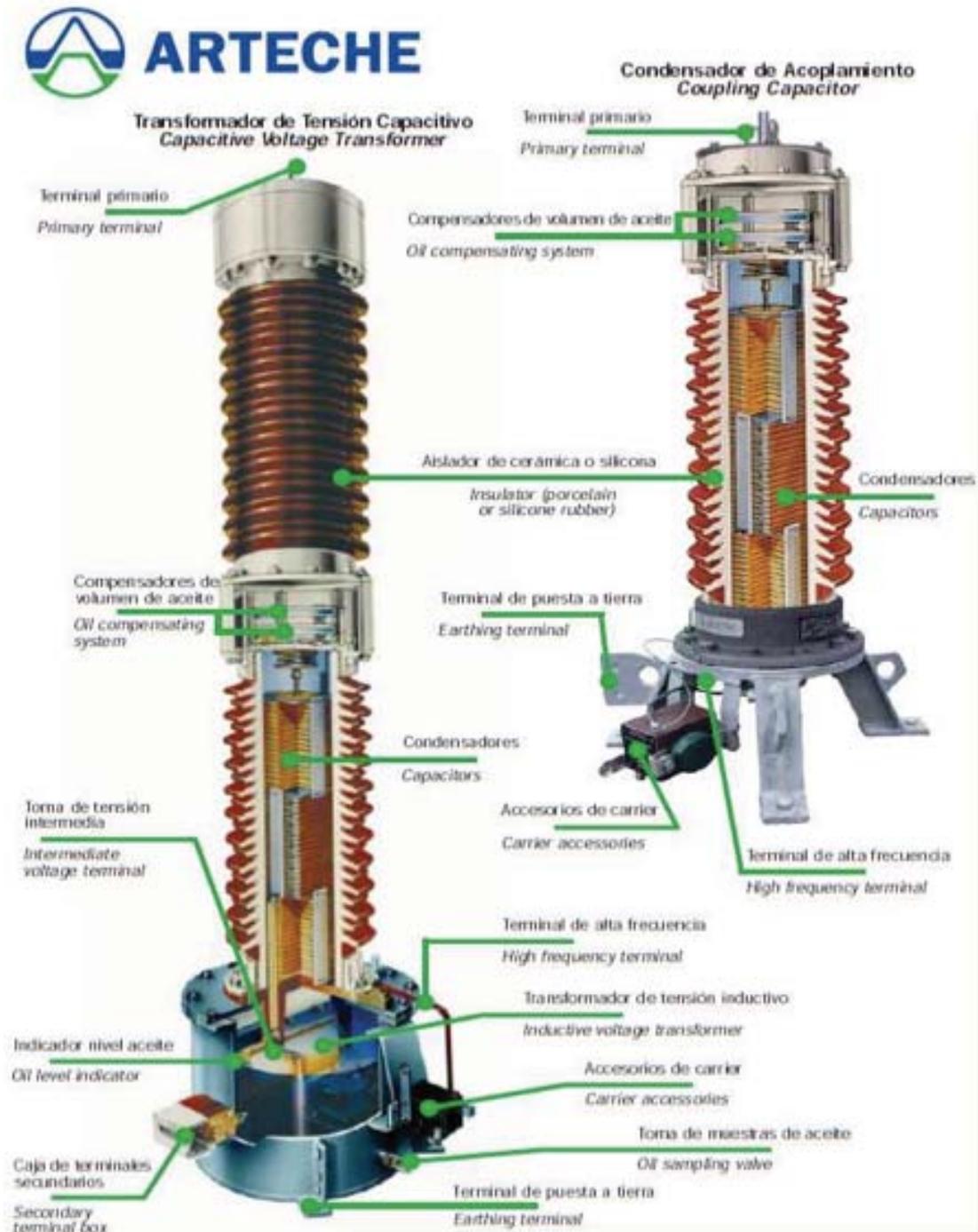
### 7.1. PASS M0S SBB 252 kV de ABB





<b>Rated insulation level</b>			
Rated voltage	kV	252	
Rated power frequency withstand voltage (1 min)			
normal value	kV	460	460
over the isolating distance	kV	530	530
on open circuit-breaker	kV	460	460
Rated lightning impulse withstand voltage (1 sec)			
normal value	kV	1050	1050
over the isolating distance	kV	1200	1200
on open circuit-breaker	kV	1050	1050
<b>Current ratings</b>			
Rated frequency	Hz	50	60
Rated continuous current	A	4000	4000
Rated short-time withstand current	kA	50	50
Rated short-circuit duration	s	3	3
Rated peak withstand current	kA	125	125
Rated short-circuit breaking current	kA	50	40

## 7.2. Transformadores de tensión capacitivos, ARTECHE





Transformadores de Tensión Capacitivos • Capacitive Voltage Transformers

Modelo Model	Tensión máxima de servicio Highest system voltage (kV)	Tensiones de ensayo test voltages			Capacidad estándar Standard capacitance (pF)	Alta capacidad High capacitance (pF)	Línea de fuga estándar Standard creepage distance (mm)	Dimensiones Dimensions		Peso Weight (Kg)
		Frecuencia Industrial Power frequency (kV)	Impulso Lightning impulse (BLI) (kVp)	Maniobra Switching impulse (SMI) (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DOB-72	72,5	140	325	-	14600	40000	1825	450	1510	245
DOB-100	100	185	450	-	9000	26500	2500	450	1600	255
DOB-123	123	230	550	-	8800	24000	3075	450	1830	300
DOB-145	145	275	650	-	6000	17700	3625	450	1920	310
DOB-170	170	325	750	-	5000	15200	4250	450	2065	330
DFK-245	245	460	1050	-	3600	12400	6125	450	2885	450
DFK-300	300	460	1050	850	4000	10000	7500	450	3205	480
DFK-362	362	510	1175	950	3400	8600	9050	450	3675	520
DFK-420	420	630	1425	1050	2600	7000	10500	450	4595	670
DFK-525	525	680	1550	1175	-	6800	13125	450	5560	1065
DFK-765	765	880	1950	1425	-	5200	15300	450	7010	1270

Clases y potencias de precisión estándar • Standard accuracy classes and burdens

Según Normas CEI

- 75 VA Clase 0,2 / 3P
- 180 VA Clase 0,5 / 3P
- 350 VA Clase 1 / 3P

Potencias de precisión elevadas como 500 VA Clase 0,5, o incluso superiores, son posibles bajo pedido. Clase 0,1 de alta precisión disponible bajo pedido.

Según Normas IEEE

- 0,3 WXYZ
- 0,6 WXYZ
- 1,2 WXYZ, ZZ

Potencias de precisión superiores como 0,3 WXYZ o ZZ son posibles bajo pedido.

According to IEC Standards:

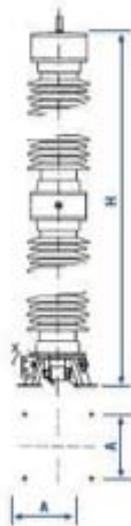
- 75 VA Class 0,2 / 3P
- 180 VA Class 0,5 / 3P
- 350 VA Class 1 / 3P

High accuracy burdens such as 500 VA Class 0,5, or even higher, can be made to order. High accuracy Class 0,1 can be made to order.

According to IEEE Standards:

- 0,3 WXYZ
- 0,6 WXYZ
- 1,2 WXYZ, ZZ

Higher accuracy burdens such as 0,3 WXYZ or ZZ can be made to order.



Condensadores de Acoplamiento • Coupling Capacitors

Modelo Model	Tensión máxima de servicio Highest system voltage (kV)	Tensiones de ensayo test voltages			Capacidad estándar Standard capacitance (pF)	Alta capacidad High capacitance (pF)	Línea de fuga estándar Standard creepage distance (mm)	Dimensiones Dimensions		Peso Weight (Kg)
		Frecuencia Industrial Power frequency (kV)	Impulso Lightning impulse (BLI) (kVp)	Maniobra Switching impulse (SMI) (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DDN-72	72,5	140	325	-	14600	40000	1825	350	1235	115
DDN-100	100	185	450	-	9000	26500	2500	350	1325	120
DDN-123	123	230	550	-	8800	24000	3075	350	1585	145
DDN-145	145	275	650	-	6000	17700	3625	350	1675	150
DDN-170	170	325	750	-	5000	15200	4250	350	1805	170
DFN-245	245	460	1050	-	3600	12400	6125	350	2625	255
DFN-300	300	460	1050	850	4000	10000	7500	350	2945	305
DFN-362	362	510	1175	950	3400	8600	9050	450	3415	345
DFN-420	420	630	1425	1050	2600	7000	10500	450	4335	495
DFN-525	525	680	1550	1175	-	6800	13125	450	5300	890
DFN-765	765	880	1950	1425	-	5200	15300	450	6760	1095

Pesos y medidas aproximadas.  
Weights and dimensions are approximate.

Para valores distintos o necesidades especiales, consultar.  
For special requirements or different values please consult.



### 7.3. Autoválvulas pararrayos EXLIM P, de ABB





Max. system voltage	Rated voltage	Max. continuous operating voltage <sup>1)</sup>		TOV capability <sup>2)</sup>		Max. residual voltage with current wave						
		as per IEC	as per ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 $\mu$ s			8/20 $\mu$ s			
						U <sub>r</sub>	U <sub>c</sub>	MCOV	0.5 kA	1 kA	2 kA	5 kA
KV <sub>rms</sub>	KV <sub>rms</sub>	KV <sub>rms</sub>	KV <sub>rms</sub>	KV <sub>rms</sub>	KV <sub>rms</sub>	KV <sub>peak</sub>	KV <sub>peak</sub>	KV <sub>peak</sub>	KV <sub>peak</sub>	KV <sub>peak</sub>	KV <sub>peak</sub>	KV <sub>peak</sub>
<b>145</b>	108	86	86.0	124	118	208	214	223	242	254	280	313
	120	92	98.0	138	132	231	238	248	268	282	311	347
	132	92	108	151	145	254	262	272	295	311	342	382
	138	92	111	158	151	265	274	285	309	325	357	399
	144	92	115	165	158	277	286	297	322	339	373	417
	150	92	121	172	165	288	298	309	335	353	388	434
	162	92	131	186	178	312	321	334	362	381	419	469
	168	92	131	193	184	323	333	346	375	395	435	486
<b>170</b>	132	106	106	151	145	254	262	272	295	311	342	382
	144	108	115	165	158	277	286	297	322	339	373	417
	150	108	121	172	165	288	298	309	335	353	388	434
	162	108	131	186	178	312	321	334	362	381	419	469
	168	108	131	193	184	323	333	346	375	395	435	486
	182	106	152	220	211	369	381	396	429	452	497	555
<b>245</b>	180	144	144	207	198	346	357	371	402	423	466	521
	192	154	154	220	211	369	381	396	429	452	497	555
	198	156	160	227	217	381	393	408	443	465	512	573
	210	156	170	241	231	404	417	433	469	494	543	608
	218	156	175	248	237	415	428	445	483	508	559	625
	219	156	177	251	240	421	434	451	489	515	567	634
	222	156	179	255	244	427	440	458	496	522	574	642
	228	156	180	262	250	438	452	470	510	536	590	660
<b>300</b>	218	173	175	248	237	415	428	445	483	508	559	625
	240	191	191	275	264	461	476	495	536	564	621	694
	258	191	209	296	283	496	512	532	576	607	667	746
	264	191	212	303	290	507	523	544	590	621	683	764
	278	191	220	317	303	530	547	569	617	649	714	798
<b>362</b>	258	206	209	296	283	496	512	532	576	607	667	746
	264	211	212	303	290	507	523	544	590	621	683	764
	278	221	221	317	303	530	547	569	617	649	714	798
	288	230	230	331	316	553	571	593	643	677	745	833
<b>420</b>	330	264	267	379	363	634	654	680	737	775	854	954
	336	267	272	386	369	646	666	692	751	790	869	972
	342	267	277	393	376	657	678	705	764	804	885	989
	360	267	291	414	396	692	714	742	804	846	931	1046



Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV



Max. system voltage $U_m$	Rated voltage $U_r$	Housing	Creepage distance	External insulation *				Dimensions					
				1.2/50 $\mu$ s dry	50 Hz wet (60s)	60 Hz wet (10s)	250/2500 $\mu$ s wet	Mass	$A_{max}$	B	C	D	Fig.
kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>		mm	kV <sub>peak</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>peak</sub>	kg	mm	mm	mm	mm	
24	24	XV024	1363	283	126	126	242	21	481	-	-	-	1
36	30-36	XV036	1363	283	126	126	242	21	481	-	-	-	1
52	42-72	XV052	2270	400	187	187	330	25	736	-	-	-	1
72	54-72	XV072	2270	400	187	187	330	25	736	-	-	-	1
	75-84	XV072	3625	578	293	293	462	38	1080	-	-	-	1
100	75-96	XV100	3625	578	293	293	462	38	1080	-	-	-	1
123	90-120	XH123	3625	578	293	293	462	37	1080	-	-	-	1
	90-144	XV123	4540	800	374	374	660	45	1397	-	-	-	2
	150	XV123	4988	861	419	419	704	52	1486	-	-	-	2
145	108-120	XH145	3625	578	293	293	462	38	1080	-	-	-	1
	108-144	XV145	4540	800	374	374	660	45	1397	-	-	-	2
	150	XV145	4988	861	419	419	704	52	1486	-	-	-	2
	162-188	XV145	5895	978	480	480	792	58	1741	-	-	-	2
170	132-144	XH170	4540	800	374	374	660	48	1400	400	-	160	3
	150	XH170	4988	861	419	419	704	54	1489	400	-	160	3
	132-192	XV170	5895	978	480	480	792	59	1744	400	-	160	3
245	182	XM245	5895	978	480	480	492	59	1761	600	-	300	4
	180-228	XH245	7250	1156	586	586	924	73	2105	600	-	300	4
	180-198	XV245	8613	1439	712	712	1166	94	2617	800	-	500	5
	210-228	XV245	8613	1439	712	712	1166	91	2617	600	-	300	5
300	216-276	XH300	8613	1439	712	712	1166	94	2617	800	-	500	5
	216-276	XV300	9520	1556	773	773	1254	98	2872	800	-	500	5
362	258-288	XH362	9520	1556	773	773	1254	103	2872	1200	1000	600	6
	258-288	XV362	11790	1958	960	960	1584	127	3491	1400	1000	700	7
420	330-380	XH420	10875	1734	879	879	1386	116	3216	1400	1000	700	6

Max. system voltage	Rated voltage	Housing	Creepage distance	External insulation *				Dimensions					
				1.2/50 $\mu$ s dry	50 Hz wet (60s)	60 Hz wet (10s)	250/2500 $\mu$ s wet	Mass	$A_{max}$	B	C	D	Fig.
kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>		mm	kV <sub>peak</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>peak</sub>	kg	mm	mm	mm	mm	

Neutral-ground arresters

52	30-36	XN052	1363	400	187	187	330	21	736	-	-	-	1
72	42-54	XN072	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
100	60	XN100	2270	400	187	187	330	25	736	-	-	-	1
123	72	XN123	2270	400	187	187	330	25	736	-	-	-	1
	75-120	XN123	3625	578	293	293	462	38	1080	-	-	-	1
145	84-120	XN145	3625	578	293	293	462	37	1080	-	-	-	1
170	84-120	XN170	3625	578	293	293	462	37	1080	-	-	-	1
245	108-120	XN245	3625	578	293	293	462	38	1080	-	-	-	1
	132-144	XN245	4540	800	374	374	660	45	1397	-	-	-	2

## 7.4. PASS M00 72,5 kV DBB de ABB

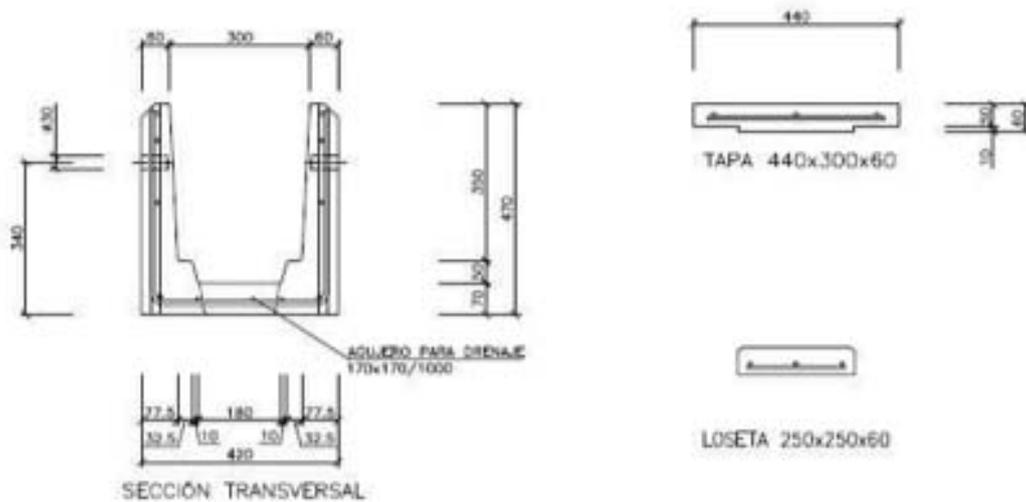
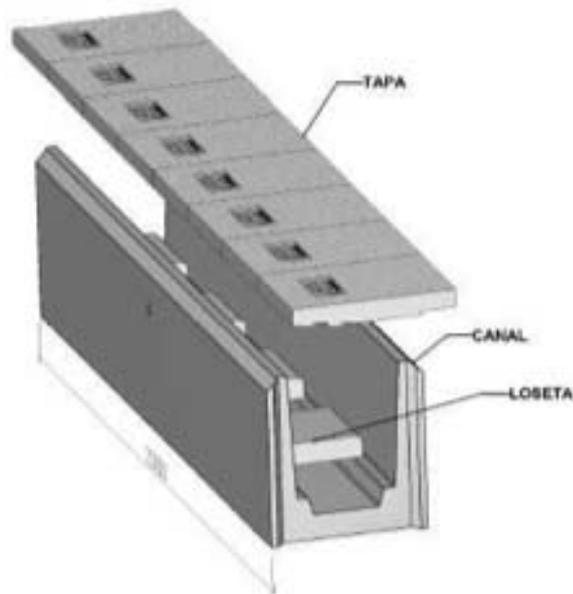


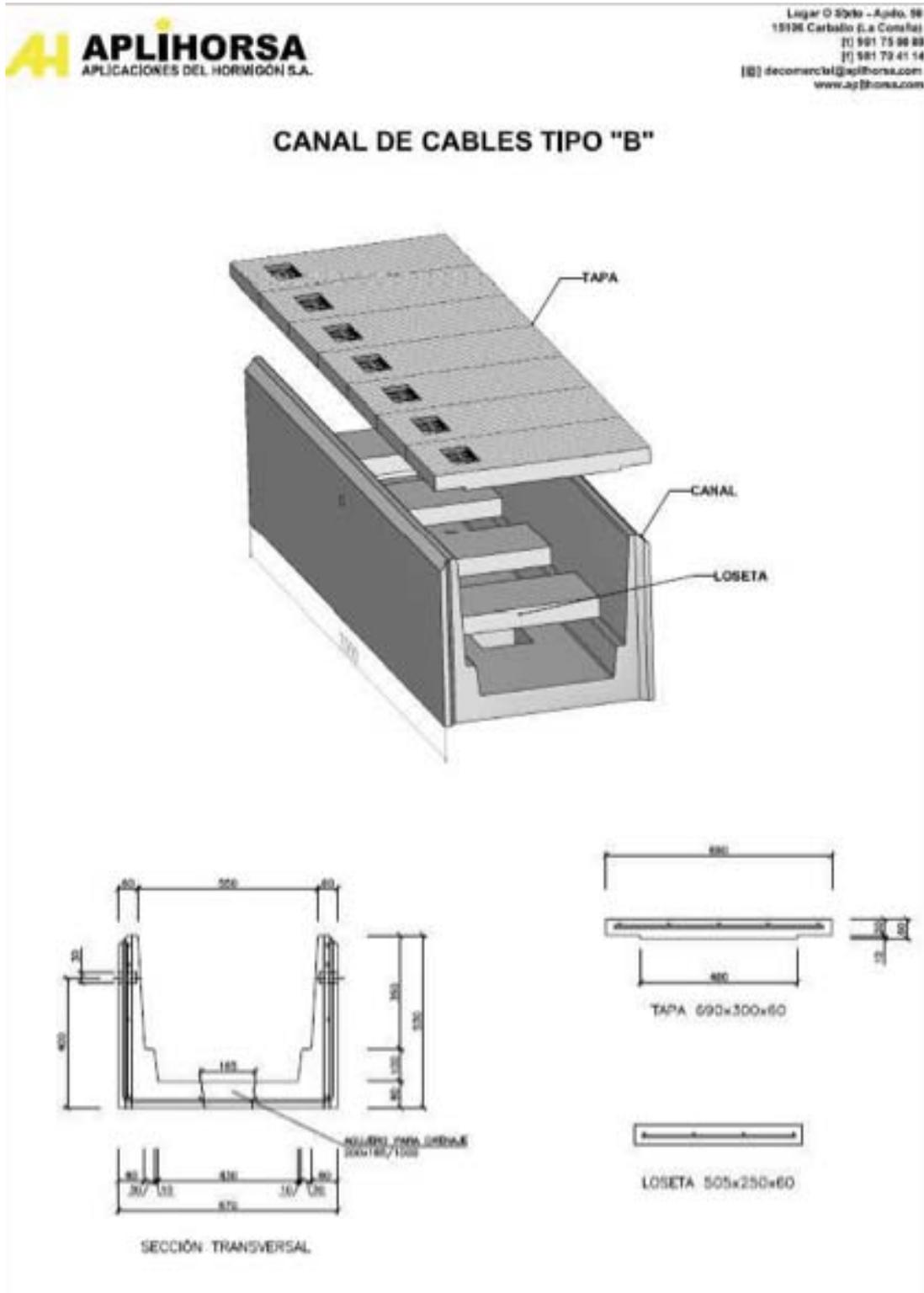
PASS M00

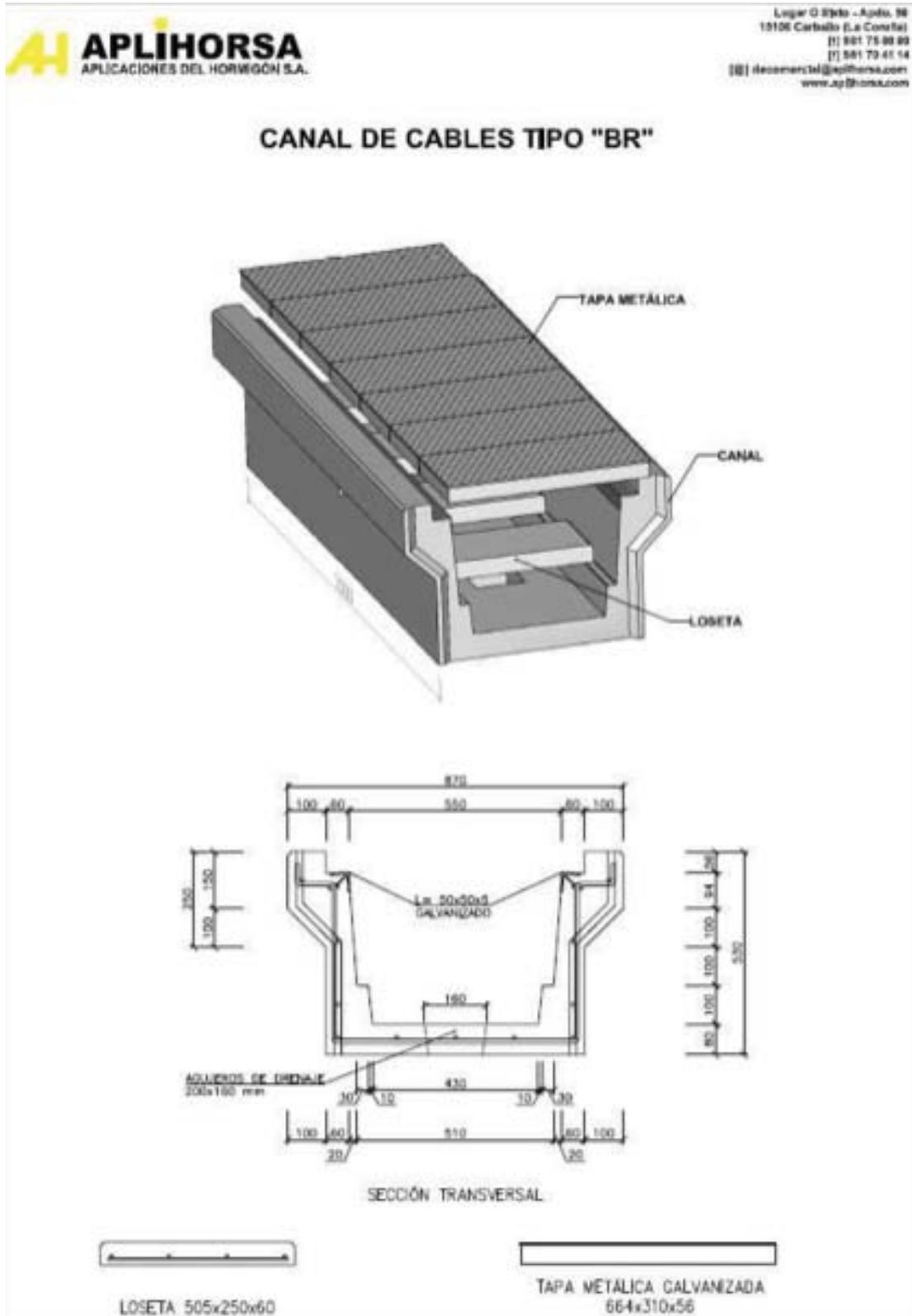
Rated voltage	kV	72.5	100
Frequency	Hz	50/60	50
Rated current	A	3150	
Breaking current	kA	40	20
AC test voltage	kV	160	185
Impulse test voltage – BIL	kV	350	450
Altitude above sea level	m	≤ 1000	
Max air temperature	°C	+ 40 <sup>(1)</sup>	
Min air temperature	°C	- 40 <sup>(1)</sup>	- 30 <sup>(1)</sup>
Relative humidity	%	100	
Wind pressure	Pa	700	
Sun radiation	W/m <sup>2</sup>	≤ 1000	
Earthquake (IEC 1166)	g	0.5	
Degree of protection (IEC 60529)	IP	44 <sup>(2)</sup>	
Pollution level (IEC 60815)		III Heavy <sup>(3)</sup>	

## 7.5. Canalizaciones de cables.

### CANAL DE CABLES TIPO "A"









Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV





Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV



# Documento N°4: Presupuesto



## 1. Presupuesto desglosado

### 1.1. Obra civil

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.1.1	6.300,00	<b><u>Acondicionamiento del terreno</u></b>  m <sup>3</sup> desbroce y retirada de terreno, eliminación de tocones, etc. y compactado del terreno hasta alcanzar el 75% del Ensayo Proctor Modificado	5,30	33.390,00
1.1.2	8.600,00	<b><u>Movimientos de tierra. Excavaciones y rellenos.</u></b>  m <sup>3</sup> Excavación y limpieza de cualquier clase de terreno hasta la cota requerida por la D.F., incluyendo carga y transporte a donde indique la propiedad. En el caso de vertedero, incluye el canon de vertido.	3,65	30.944,70



1.1.3	12.600,00	m <sup>3</sup> Suministro y relleno en superficie con zahorra, compactada en capas de espesor menor de 25 cm., regado y compactado al 95% Proctor o hasta alcanzar el grado de compactación exigido por la D.F. Incluyendo suministro, carga y transporte	3,50	44.100,0
		<b><u>Viales y accesos</u></b>		
1.1.4	310,00	m <sup>2</sup> Vial de acceso a la Subestación. Incluye la excavación, suministro y colocación de las distintas capas constituyentes, realización de pendientes, incluso parte proporcional de ensanches para cambios de dirección, totalmente terminado.	24,00	7.440,00
1.1.5	3.052,10	m <sup>2</sup> Vial interior de la subestación, que incluye la excavación, suministro y colocación	32,00	97.667,2



		<p>de las distintas capas constituyentes, realización de pendientes, incluso suministro y colocación de bordillos laterales de hormigón prefabricados y de la correspondiente base para su asiento. Se incluye asimismo parte proporcional de ensanches para cambios de dirección, totalmente terminado.</p> <p><b><u>Edificios de celdas y control</u></b></p> <p>Edificio Principal de celdas y control Incluida la obra civil asociada, excavación, cimentaciones, aseos, abastecimiento y desagüe, aceras, etc. Completamente construido</p> <p><b><u>Cimentaciones</u></b></p> <p>Ud. Cimentación para Autoválvula de 66 kV</p>		
1.1.6	1		277.200,00	277,200,00
1.1.7	12		450,00	5.400,00



1.1.8	8	Ud. Cimentación PASS de 66 kV	450,00	3.600,00
1.1.9	14	Ud. Cimentación para transformadores de tensión 66 kV.	450,00	6.300,00
1.1.10	12	Ud. Cimentación para aisladores de barras principales	450,00	5.400,00
1.1.11	20	Ud. Cimentación para aisladores de barras secundarias de 66 kV	450,00	9.000,00
1.1.12	2	Ud. Cimentación Pararrayos Franklin 66 kV	270,00	540,00
1.1.13	2	Ud. Cimentación Pararrayos Franklin 220 kV	350,00	700,00
1.1.14	12	Ud. Cimentación para aisladores de barras secundarias 220 kV	450,00	5.400,00
1.1.15	6	Ud. Cimentación para PASS 220 kV	650,00	3.900,00
1.1.16	3	Ud. Cimentación de pórtico entrada de	620,00	1.860,00



línea 66 kV				
1.1.17	12	Ud. Cimentación para autoválvula de 220 kV	540,00	6.480,00
1.1.18	14	Ud. Cimentación para aislador de barras principales de 220 kV.	540,00	7.560,00
1.1.19	12	Ud. Cimentación para transformador de tensión de 220 kV. <b><u>Arquetas y canalizaciones para cables</u></b>	450,00	5.400,00
1.1.20	110	m. de canal de cables Tipo B, de hormigón armado, incluidas las tapas de hormigón armado. Incluso excavación, relleno y entibado.	125,00	13.750,00
1.1.21	420	m Tubo Ø90 mm de PVC corrugado de doble pared para cables de potencia.	16,00	6.720,00
1.1.22	430	m Tubo Ø110 mm de PVC corrugado de doble pared para cables de potencia.	21,00	9.030,00



1.1.23	140	m Tubo Ø200 mm de PVC corrugado de doble pared para cables de potencia.	24,00	3.360,00
1.1.24	2	Ud. de Arqueta para paso de cables de 1,10 x 1,10 m exterior, de hormigón armado, rematada por un cerco metálico donde se apoya la tapa.	460,00	920,00
1.1.25	2	Ud. de Arqueta para paso de cables de 1,80 x 1,80 m exterior, de hormigón armado, rematada por un cerco metálico donde se apoya la tapa.	705,00	1.410,00
<b><u>Bancadas de transformadores y depósitos de recogida de aceite</u></b>				
1.1.26	2	Ud. Bancada de transformador de potencia de 220/66 kV	46.900,00	93.800,00



1.1.27	1	Ud. Depósito de recogida de aceite.	10.300,00	10.300,00
		<b><u>Cierre y señalización</u></b>		
		m Cierre de 2,20 m altura, formador por cimentación de apoyo de hormigón armado y postes metálicos galvanizados de perfil circular con una malla galvanizada de simple torsión.		
1.1.28	450		75,00	33.750,00
		Material de señalización para el exterior e interior de la instalación, en equipos de intemperie, interior y cerramientos.		
1.1.29	1		464,00	464,00
		Ud. Suministro y colocación de puerta metálica corredera para acceso de vehículos de 18 m de ancho, galvanizada en caliente, incluido pilares metálicos, pasador de pie, cerradura normalizada, etc		
1.1.30	1		7.890,00	7.890,00



<b>Suma total</b>			<b>733.675,90 €</b>

## 1.2. Suministro de equipos estratégicos

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.2.1	2	Ud. de transformador de potencia de 120 MVA de relación 220/55 kV	1.500.000,00	3.000.000,00
<b>Suma total</b>				<b>3.000.000,00 €</b>

## 1.3. Suministro de equipos principales

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.3.1	12	Ud. Trafo de tensión 220 kV	8.600,00	103.200,00
1.3.2	12	Ud. Trafo de tensión 66 kV	3.940,00	47.280,00
1.3.3	12	Ud. Autoválvula 220 kV	5.695,00	68.340,00



1.3.4	12	Ud. Autoválvula 66 kV	1.675,00	20.100,00
1.3.5	78	Ud. Aislador 220 kV	2.160,00	168.480,00
1.3.6	65	Ud. Aislador 66 kV	540,00	35.100,00
1.3.7	22	Ud. Armarios de control y protección	24.895	547.690,00
1.3.8	4	Ud. Armario de SS.AA. CA y CC	17.850,00	71.400,00
1.3.9	1	Ud. Armario de servicios generales	29.900,00	29.900,00
1.3.10	1	Ud. Armarios de comunicaciones	38.940,00	38.940,00
1.3.11	6	PASS M0S 252 kV	275.000,00	1.650.000,00
1.3.12.	8	PASS M00 72,5 kV	165.000,00	1.320.000,00
<b>Suma total</b>				<b>3.997.333,20 €</b>

#### 1.4. Suministro de conductores y piezas de conexión

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.4.1	204	m de Conductor de	42,50	8.670,00



1.4.2	90	tubo de aleación de aluminio de Ø 150/134 mm m de Conductor de tubo de aleación de aluminio de Ø 100/88 mm	29,40	2.646,00
1.4.3	30	m de Conductor de tubo de aleación de aluminio de Ø 80/68 mm	27,80	834,00
1.4.4	288	m de Conductor de tubo de aleación de aluminio de Ø 120/100 mm	40,00	11.520,00
1.4.5	27	Ud cadena aislador para cable SIMPLEX	265,00	7.155,00
1.4.6	24	Ud cadena aislador para cable DUPLEX	365,00	8.760,00
<b>Suma total</b>				<b>39.585,00 €</b>

### 1.5. Suministro de estructuras

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total



1.5.1	6	Ud. de pilar de pórtico de línea de 66 kV	2.342,50	14.055,00
1.5.2	3	Ud. de dintel de pórtico de línea de 66 kV	1.212,50	3.637,50
1.5.3	12	Ud. de soporte metálico para autoválvula de 66 kV	1.002,50	12.030,00
1.5.4	12	Ud. de soporte metálico para Transformador de tensión de 66 kV	1.060,00	12.720,00
1.5.5	12	Ud. de soporte metálico para aisladores de barras principales 66 kV	1.457,00	17.484,00
1.5.6	20	Ud. de soporte metálico para aisladores de barras secundarias 66 kV	347,50	6.950,00
1.5.7	16	Ud. de pilar de pórtico de línea de 220 kV	3.351,50	53.624,00
1.5.8	8	Ud. de dintel de pórtico de línea de 220 kV	1.762,50	14.100,00
1.5.9	12	Ud. de soporte metálico para	1.367,50	16.410,00



1.5.10	12	autoválvula de 220 kV  Ud. de soporte metálico para Transformador de tensión de 220 kV	1.232,50	14.790,00
1.5.11	14	Ud. de soporte metálico para aisladores de barras principales 220 kV	1.321,25	18.581,00
1.5.12	36	Ud. de soporte metálico para aisladores de barras secundarias 220 kV	1.246,50	44.874,00
1.5.13	2	Ud. de soporte metálico para pararrayos Franklin 220 kV	1.257,50	2.515,00
<b>Suma total</b>				<b>229.255,00 €</b>

## 1.6. Sistema de red de tierras

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.6.1	2.805	m Cable de Cu desnudo para tierras	6,40	17.952,00



1.6.2	400	de 120 mm <sup>2</sup> de sección  Ud. soldadura aluminotérmica de cable a cable de 120 mm <sup>2</sup> de sección	40,00	16.000,00
1.6.3	24	Ud. Punta Franklin	80,00	1.920,00
1.6.4	92	Ud. piezas de conexión a la red de tierras por estructuras y soportes de apartamento	19,50	1.794,00
<b><u>Suma total</u></b>				<b>37.666,00 €</b>

### 1.7. Pruebas de puesta en marcha

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.7.1	1	Pruebas y puesta en marcha de los sistemas de control y protección de la instalación	60.900,00	60.900,00
<b><u>Suma total</u></b>				<b>60.900,00 €</b>



## 1.8. Montaje electromecánico

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.8.1	1	Montaje del total de la obra electromecánica.	240.722,58	240.722,58
			<b>Suma total</b>	<b>240.722,58 €</b>

## 1.9. Seguridad e higiene

Partida	Cantidad	Concepto	Precio unitario	Precio total
1.9.1	1	Estudio de Seguridad y Salud	21.529,98	21.529,98
			<b>Suma total</b>	<b>21.529,98 €</b>



## 2. Presupuesto de ejecución material

El presupuesto de ejecución material queda por tanto formado por los siguientes elementos:

Ítem Nº	Concepto	Importe (Euros)
1	Obra Civil	733.675,90
2	Suministro de equipos estratégicos	3.000.000,00
3	Suministro de equipos principales	3.997.333,20
4	Suministro de conductores y piezas de conexión	39.585,00
5	Suministro de estructuras metálicas	229.255,00
6	Sistema de red de tierras	37.666,00
7	Pruebas de puesta en marcha	60.900,00
8	Montaje electromecánico	240.722,58
9	Seguridad e higiene	21.529,98
<b>TOTAL</b>		<b>8.360.667,66</b>
Imprevistos (5%)		418.033,38
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>8.778.701,04</b>

El importe en euros del presupuesto de ejecución material de la subestación asciende a **OCHO MILLONES SETECIENTOS SETENTA Y OCHO MIL SETECIENTOS UNO Y CUATRO CÉNTIMOS.**



### 3. Presupuesto de ejecución por contrata

El presupuesto de ejecución por contrata del presente proyecto es el siguiente:

<b>Presupuesto de ejecución de material.....</b>	<b>8.778.701,04 €</b>
Gastos generales (10%) .....	877.870,10 €
Gastos financieros (3%) .....	263.361,03 €
Dirección de obra (6%) .....	526.722,06 €
Beneficio neto (6%) .....	526.722,06 €
<b>TOTAL .....</b>	<b>10.973.376,30 €</b>
I.V.A. (18%) .....	1.975.207,23 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN CONTRATA.....</b>	<b>12.948.584,04 €</b>

El importe en euros del presupuesto de ejecución por contrata de la subestación asciende a **DOCE MILLONES NOVECIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS OCHENTA Y CUATRO Y CUATRO CÉNTIMOS.**



Pablo Sanz Diez  
Subestación de intemperie 220/66 kV

