



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

**SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y  
TRANSFORMACIÓN A 220 KV PARA EVACUACIÓN  
A LA RED DE TRANSPORTE DE PARQUES  
FOTOVOLTAICOS EN ZORITA DE LOS CANES**

Autor: Pablo Martínez Valero

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Agosto de 2025



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Subestación Colectora 30 KV y Transformación A 220 KV Para Evacuación A La Red De  
Transporte De Parques Fotovoltaicos En Zorita De Los Canes  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.  
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Pablo Martínez Valero

Fecha: 17/08/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Matías Juan Sánchez Mingarro

Fecha:  23/08/2025





**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

**SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y  
TRANSFORMACIÓN A 220 KV PARA EVACUACIÓN  
A LA RED DE TRANSPORTE DE PARQUES  
FOTOVOLTAICOS EN ZORITA DE LOS CANES**

Autor: Pablo Martínez Valero

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid



# **Agradecimientos**

Agradezco a la Escuela y a sus profesores, en especial a mi director de proyecto, por su apoyo y orientación.

Igualmente, agradezco a mi familia y a mi entorno cercano, y muy especialmente a mi madre, por su apoyo incondicional que ha hecho posible la culminación de este trabajo.



## **SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV PARA EVACUACIÓN A LA RED DE TRANSPORTE DE PARQUES FOTOVOLTAICOS EN ZORITA DE LOS CANES**

**Autor: Martínez Valero, Pablo.**

Director: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

### **RESUMEN DEL PROYECTO**

El presente proyecto consiste en el diseño de una nueva subestación colectora en el municipio de Zorita de los Canes (Guadalajara). El lugar seleccionado tiene una extensión de 23.751 m<sup>2</sup> y se corresponde con la referencia catastral número 19405A004000010000EM.

La construcción de esta subestación permitirá evacuar las potencias generadas por futuros proyectos de plantas fotovoltaicas de la zona. Estos han surgido en los últimos años como consecuencia del cierre de la Central Nuclear José Cabrera en el año 2006, lo que ha llevado a reemplazar la anterior potencia generada por energía renovable.

El objetivo principal del proyecto es obtener todas las autorizaciones administrativas necesarias para su correcto desarrollo. Esto incluye la autorización administrativa de construcción (tramitada en la Consejería de Desarrollo Sostenible de Castilla-La Mancha), la declaración de utilidad pública y la licencia urbanística.

La tecnología de aislamiento seleccionada es AIS (Air Insulated Switchgear) debido a que se trata de un emplazamiento rural donde no existen problemas de impacto visual. La configuración elegida es de doble barra debido a la buena relación entre versatilidad, ampliabilidad y coste.

Las características principales de la subestación se presentan en la siguiente tabla:

<b>Parámetro</b>	<b>Nivel 30 kV</b>
Tensión nominal de utilización (kV)	30
Tensión más elevada para el material (kV)	36
Tensión soportada tipo rayo (kV cresta)	170
Tensión soportada a frecuencia industrial (kV)	70
Frecuencia para la red (Hz)	50
Intensidad de cortocircuito trifásico (kA)	20
Duración del cortocircuito (s)	0,5
Intensidad de cortocircuito monofásico (kA)	9

El alcance del proyecto engloba únicamente la subestación de 30kV. Para el nivel de 220 kV únicamente se instalará una salida de línea, compuesta por transformadores de tensión y de corriente de medida y autoválvulas.

La subestación contará con un total de 6 posiciones, de las cuales 3 serán posiciones provenientes de generadores fotovoltaicos, 2 serán posiciones de transformación y la restante será una posición de reserva.

La aparamenta necesaria para la instalación y sus cantidades son las siguientes:

<b>Aparamenta</b>	<b>Unidades</b>
Barras	6
Interruptor de potencia trifásico	6
Seccionador de cuchillas giratorias trifásico	17
Transformador de potencia trifásico	2
Transformador de tensión monofásico	21
Transformador de corriente monofásico	18
Pararrayos	12

En cuanto a la obra civil, se comenzará con el movimiento de tierras, realizando las excavaciones necesarias para los drenajes y las cimentaciones. En ese momento se instalará la malla de tierra de la subestación a 1 metro de profundidad.

La red de tierras se compone de una malla de 54 x 48 m de extensión con una retícula cuadrada de 6 metros, compuesta por conductor desnudo de cobre de 95mm<sup>2</sup>. La resistividad del terreno es de 100 ohm·m, que se complementará con una capa de grava de 10 cm de espesor.

El edificio de control tendrá una extensión de 15 x 8 metros y una altura de 3,5 metros, construido en hormigón prefabricado. Albergará un total de 6 estancias: protecciones, comunicaciones y control, archivo, almacén, aseos y servicios auxiliares.

Los servicios auxiliares estarán constituidos por un cuadro principal de corriente alterna (400/230 V) y un cuadro principal de corriente continua (125 V). Se dispondrá de un conjunto de baterías de Ni-Cd para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallo en la red. Los servicios auxiliares de corriente alterna incluirán las cargas generales de baja tensión, mientras que los servicios auxiliares de corriente continua incluirán los elementos esenciales de la subestación como el sistema de protecciones y telecontrol.

El sistema de control y telecomunicaciones permitirá la operación de la subestación tanto de manera presencial como remota. Se dispondrá también de un sistema anti incendios y de un sistema anti intrusismo para garantizar la seguridad de la instalación y de las personas.

El presupuesto total del proyecto es de 3.950.146,64 € con una rentabilidad prevista del 15%.

## **30 KV COLLECTOR SUBSTATION AND TRANSFORMATION TO 220 KV FOR EVACUATION TO THE TRANSPORT NETWORK OF PHOTOVOLTAIC PARKS IN ZORITA DE LOS CANES**

**Author: Martínez Valero, Pablo.**

Supervisor: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

### **ABSTRACT**

This project consists of the design of a new collector substation in the municipality of Zorita de los Canes (Guadalajara). The selected site has an extension of 23,751 m<sup>2</sup> and corresponds to the cadastral reference number 19405A004000010010000EM.

The construction of this substation will make it possible to evacuate the power generated by future photovoltaic plant projects in the area. These have arisen in recent years as a consequence of the closure of the José Cabrera Nuclear Power Plant in 2006, which has led to the replacement of the previous power generated by renewable energy.

The main objective of the project is to obtain all the necessary administrative authorizations for its correct development. This includes the administrative authorization for construction (processed by the Castilla-La Mancha Department of Sustainable Development), the declaration of public utility and the urban planning license.

The insulation technology selected is AIS (Air Insulated Switchgear) because it is a rural site where there are no visual impact problems. The chosen configuration is double busbar due to the good relationship between versatility, expandability and cost.

The main characteristics of the substation are presented in the following table:

<b>Parameter</b>	<b>30 kV level</b>
Rated operating voltage (kV)	30
Highest voltage for material (kV)	36
Lightning withstand voltage (kV peak)	170
Power frequency withstand voltage (kV)	70
Mains frequency (Hz)	50
Three-phase short-circuit current (kA)	20
Short-circuit duration (s)	0,5
Short-circuit current single-phase (kA)	9

The scope of the project only covers the 30 kV substation. For the 220 kV level, only one line output will be installed, consisting of voltage and current transformers and self-valves.

The substation will have a total of 6 positions, of which 3 will be positions coming from photovoltaic generators, 2 will be transformation positions and the remaining one will be a reserve position.

The switchgear required for the installation and its quantities are as follows:

<b>Switchgear</b>	<b>Units</b>
Busbars	6
Three-phase circuit breaker	6
Three-phase rotary blade disconnectors	17
Three-phase power transformer	2
Single-phase voltage transformer	21
Single-phase current transformer	18
Lightning arrester	12

As for the civil works, the earthwork will begin with the excavations necessary for drainage and foundations. At this point, the substation ground grid will be installed at a depth of 1 meter.

The ground grid consists of a 54 x 48 m mesh with a 6 m square grid, composed of 95 mm<sup>2</sup> bare copper conductor. The soil resistivity is 100 ohm-m, which will be complemented with a 10 cm thick gravel layer.

The control building will have an extension of 15 x 8 meters and a height of 3.5 meters, built in precast concrete. It will house a total of six rooms: security, communications and control, archives, storage, restrooms, and auxiliary services.

The auxiliary services will consist of an alternating current main switchboard (400/230 V) and a direct current main switchboard (125 V). A set of Ni-Cd batteries will be available to ensure continuity of service in the event of a power failure. The AC auxiliary services will include the general low voltage loads, while the DC auxiliary services will include the essential elements of the substation such as the protection and telecontrol system.

The control and telecommunications system will allow the substation to be operated both on-site and remotely. There will also be an anti-fire system and an anti-intrusion system to ensure the safety of the installation and people.

The total budget for the project is €3.950.146,64 with an expected return on investment of 15 %.

## Índice General

<b>DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>14</b>
CAPÍTULO 1: MEMORIA.....	18
CAPÍTULO 2: CÁLCULOS .....	40
CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO.....	81
CAPÍTULO 4: ANEJOS .....	84
<b>DOCUMENTO 2: PLANOS.....</b>	<b>114</b>
CAPÍTULO 1: LISTA DE PLANOS .....	116
CAPÍTULO 2: PLANOS .....	118
<b>DOCUMENTO 3: PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>127</b>
CAPÍTULO 1: GENERALES Y ECONÓMICAS .....	130
CAPÍTULO 2: TÉCNICAS Y PARTICULARES .....	153
<b>DOCUMENTO 4: PRESUPUESTO.....</b>	<b>160</b>
CAPÍTULO 1: MEDICIONES .....	162
CAPÍTULO 2: PRECIOS UNITARIOS.....	165
CAPÍTULO 3: SUMAS PARCIALES .....	168
CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO GENERAL .....	171
<b>DOCUMENTO 5: BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>173</b>

**DOCUMENTO 1: MEMORIA**  
**DESCRIPTIVA**

## Índice

<b>CAPÍTULO 1: MEMORIA .....</b>	<b>18</b>
1.1 Generalidades .....	19
1.1.1 Antecedentes.....	19
1.1.2 Estado del arte.....	19
1.1.3 Alcance .....	20
1.1.4 Objeto .....	21
1.1.5 Normativa .....	21
1.2 Descripción general de la subestación .....	22
1.2.1 Emplazamiento .....	22
1.2.2 Condiciones ambientales de la zona .....	22
1.2.3 Características eléctricas .....	23
1.2.4 Configuración de la subestación .....	23
1.2.5 Formas constructivas y tecnología .....	23
1.2.6 Distancias .....	24
1.2.7 Datos del terreno a efectos de la red de tierras .....	25
1.2.8 Características de la zona elegida.....	25
1.3 Sistemas primarios de la instalación eléctrica.....	26
1.3.1 Descripción general .....	26
1.3.2 Esquema unifilar.....	26
1.3.3 Elección de los fabricantes .....	26
1.3.4 Elección de la aparamenta .....	26
1.3.5 Embarrado principal.....	27
1.3.6 Embarrado secundario.....	27
1.3.7 Embarrado tendido .....	28
1.3.8 Interruptor de potencia.....	28
1.3.9 Seccionador de cuchillas giratorias.....	29
1.3.10 Transformador de potencia .....	29
1.3.11 Transformador de tensión de medida .....	30
1.3.12 Transformador de corriente de medida .....	31
1.3.13 Pararrayos .....	32
1.4 Obra civil.....	32
1.4.1 Movimiento de tierras .....	32

1.4.2 Vallado .....	33
1.4.3 Accesos .....	33
1.4.4 Red de tierras .....	33
1.4.5 Edificación .....	34
1.4.6 Drenajes y saneamientos .....	35
1.4.7 Acceso de las líneas .....	35
1.5 Sistemas secundarios de la instalación eléctrica .....	36
1.5.1 Sistemas auxiliares.....	36
1.5.2 Sistema de telecontrol y medidas .....	37
1.5.3 Sistema de protecciones.....	37
1.5.4 Sistema contra incendios .....	38
1.5.5 Sistema anti intrusismo.....	39
<b>CAPÍTULO 2: CÁLCULOS .....</b>	<b>40</b>
2.1 Introducción .....	41
2.2 Cálculo mecánico de embarrados rígidos .....	41
2.2.1 Hipótesis de diseño .....	41
2.2.2 Condiciones del vano .....	41
2.2.3 Condiciones de la instalación .....	42
2.2.4 Normativa aplicable .....	42
2.2.5 Características de los materiales y equipos a instalar .....	43
2.3 Cálculo del embarrado principal .....	45
2.3.1 Corriente de cortocircuito .....	45
2.3.2 Tensión en el tubo .....	45
2.3.3 Reacciones sobre los aisladores soporte .....	51
2.3.4 Flecha en el tubo .....	53
2.3.5 Elongación del embarrado .....	53
2.3.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.....	54
2.3.7 Intensidad nominal de las barras .....	56
2.4 Cálculo del embarrado secundario.....	56
2.4.1 Corriente de cortocircuito .....	56
2.4.2 Tensión en el tubo .....	57
2.4.3 Reacciones sobre los aisladores soporte .....	62
2.4.4 Flecha en el tubo .....	65
2.4.5 Elongación del embarrado .....	65

2.4.6 <i>Esfuerzo térmico en cortocircuito</i> .....	66
2.4.7 <i>Intensidad nominal de las barras</i> .....	68
2.5 Cálculo del efecto corona.....	68
2.6 Cálculo de la selección de autoválvulas.....	70
2.7 Cálculo de la red de tierras superiores .....	71
2.8 Cálculo de la red de tierras inferiores .....	72
2.8.1 <i>Introducción</i> .....	72
2.8.2 <i>Tensiones de paso y contacto admisibles</i> .....	73
2.8.3 <i>Máximas tensiones de paso y de contacto admisibles</i> .....	74
2.8.4 <i>Sección y diámetro del conductor de tierra</i> .....	75
2.8.5 <i>Resistencia de puesta a tierra</i> .....	76
2.8.6 <i>Corriente por la red de tierra</i> .....	76
2.8.7 <i>Evaluación de las tensiones de paso y de contacto</i> .....	77
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>81</b>
3.1 <i>Introducción</i> .....	82
3.2 <i>Estudio de la rentabilidad de la subestación</i> .....	82
<b>CAPÍTULO 4: ANEJOS</b> .....	<b>84</b>
4.1 <i>Alineación con objetivos de desarrollo sostenible</i> .....	85
4.2 <i>Ficha técnica seccionador de cuchillas</i> .....	86
4.3 <i>Ficha técnica interruptor de potencia</i> .....	90
4.4 <i>Ficha técnica transformador de corriente 30kv</i> .....	94
4.5 <i>Ficha técnica transformador de corriente 220kv</i> .....	97
4.6 <i>Ficha técnica transformador de tensión 30kv</i> .....	101
4.7 <i>Ficha técnica transformador de tensión 220kv</i> .....	103
4.8 <i>Ficha técnica pararrayos 30kv</i> .....	107
4.9 <i>Ficha técnica pararrayos 220kv</i> .....	108
4.10 <i>Ficha técnica aisladores soporte</i> .....	112

# CAPÍTULO 1: MEMORIA

## **1.1 GENERALIDADES**

### **1.1.1 Antecedentes**

Tras el cierre de la Central Nuclear José Cabrera en el año 2006, han surgido gran cantidad de proyectos enfocados en recuperar la potencia de generación perdida en Castilla-La Mancha. Uno de los más destacados es el de Naturgy, propietaria de la central nuclear, que ha apostado por aprovechar las zonas próximas a la nuclear para instalar nuevas plantas fotovoltaicas. Se trata de los proyectos Zorita I, Zorita II y Zorita III, de 50MW de potencia pico cada uno [1]. Se unen a estos el Parque Solar Valdezorita de ABO Energy [2] y la planta fotovoltaica José Cabrera de Zelestra [3], ambos también de 50MW. Todas las centrales anteriormente detalladas llevan a cabo su evacuación en la Subestación Colectora 220/30 kV José Cabrera.

En vista a la instalación de futuras plantas fotovoltaicas en la zona, se propone el presente proyecto técnico de una nueva subestación colectora que permita evacuar las potencias generadas. Esto permitirá desaturar la subestación actualmente en uso e incrementar la flexibilidad operativa de la zona.

### **1.1.2 Estado del arte**

Las subestaciones constituyen los nudos de interconexión de la red eléctrica, enlazando entre sí los diferentes elementos del sistema al mismo o distinto nivel de tensión. En la actualidad juegan un papel fundamental debido a su capacidad de automatización y gestión eficiente. Esto ha permitido en gran medida la aparición de las redes eléctricas inteligentes, facilitando la gestión de la red en tiempo real [4]. Estas son esenciales para mantener la estabilidad del sistema en un modelo donde la generación es intermitente y difícilmente predecible. A estas las acompañan subestaciones con una alta flexibilidad operativa para poder adaptarse a las condiciones de cada instante.

La configuración elegida para las subestaciones depende de las características técnicas necesarias y del coste. En este caso, se ha priorizado la versatilidad y ampliabilidad en

función al coste, con el objetivo de cumplir con las necesidades de las redes eléctricas inteligentes. Esto ha resultado en el empleo de la configuración de doble barra.

El diseño de las subestaciones tiene en cuenta diversos factores como son la situación ambiental, eléctrica y social de la zona donde se van a implementar. Esto determina en gran medida la tecnología de aislamiento a emplear en cada caso. Las 3 más comunes son AIS (Air Insulated Switchgear), GIS (Gas Insulated Switchgear) y HIS (Highly Integrated Switchgear). La primera de ellas está ampliamente probada y es la tecnología de elección en zonas donde el espacio no es una limitación importante. GIS destaca por requerir un espacio muy reducido para su instalación, pero poca flexibilidad a cambios de diseño. HIS destaca por tener un montaje y tiempo de reposición ante fallo muy rápido. El presente proyecto empleará la tecnología AIS.

La Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo de la Unión Europea tiene como objetivo lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2050. En el caso concreto de España, esto supone una reducción del 90% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, de tal forma que el 10% restante pueda ser absorbido por los sumideros de carbono [5].

Para lograrlo, se pretende que el sistema energético esté basado al 97% en energías renovables. Una pieza clave de este nuevo mix energético serán las plantas solares fotovoltaicas. Actualmente la potencia instalada de esta tecnología en España es del 24,7% [6] y se prevé que esta proporción aumente fuertemente en los próximos años. Es por este motivo que se necesita impulsar la construcción de nuevas infraestructuras que faciliten la implantación de renovables.

### 1.1.3 Alcance

El presente proyecto incluye la elección del emplazamiento de la subestación, teniendo en cuenta aspectos como la facilidad de acceso, la disposición de las líneas actualmente construidas e impacto visual. Se selecciona la configuración que mejor se adapte a las necesidades en relación con el coste. En lo relativo a la apartamentada, se atenderá a los catálogos de los distintos fabricantes para seleccionar aquella que reúna las especificaciones técnicas necesarias. En cuanto a la obra civil, se tendrán en cuenta las edificaciones, el

vallado y el movimiento de tierras necesario. Se calculará la red de tierras y embarrados necesarios. Se especificarán también sistemas anti intrusismo, antiincendios, sistemas auxiliares y de protecciones. Por último, se realizará el presupuesto del proyecto completo.

#### 1.1.4 Objeto

El objetivo principal del proyecto es obtener todas las autorizaciones administrativas necesarias para su correcto desarrollo. Esto incluye la autorización administrativa de construcción (tramitada en la Consejería de Desarrollo Sostenible de Castilla-La Mancha), la declaración de utilidad pública y la licencia urbanística.

Otro objetivo clave del proyecto es la contribución a la transición energética de la zona. El desarrollo de esta subestación permitirá facilitar la implantación de nuevas plantas de generación renovable en la comunidad de Castilla-La Mancha. Esto llevará al sistema eléctrico español un paso más cerca de los objetivos europeos de descarbonización.

Adicionalmente, la subestación actuará como un nuevo nudo en la red, logrando incrementar la flexibilidad operativa del sistema además de un mayor mallado. Esto contribuirá significativamente a la estabilidad y la fiabilidad.

Por último, se garantizará también un diseño fácilmente ampliable de tal forma que se pueda adaptar a futuras conexiones con generadores o líneas.

#### 1.1.5 Normativa

El proyecto cumple toda la normativa vigente en el momento de elaboración de este. En particular, se ha atendido a:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión ITC-RAT
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión ITC-LAT
- Reglamento electrotécnico para baja tensión REBT
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico

- Código Técnico de la Edificación CTE
- Normas UNE, IEC, IEEE

## 1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBESTACIÓN

### 1.2.1 Emplazamiento

El lugar seleccionado para el emplazamiento de la subestación se corresponde con la referencia catastral número 19405A004000010000EM. Se trata de un terreno rústico de aproximadamente 23.751 m<sup>2</sup>, situado entre la zona urbana de los municipios Zorita de los Canes y Almonacid de Zorita. El acceso es bueno ya que se encuentra en una zona llana y tiene carreteras colindantes.

### 1.2.2 Condiciones ambientales de la zona

Los datos siguientes corresponden a la estación meteorológica de Pastrana, cuya ubicación es la más cercana posible al lugar del emplazamiento. Las características consideradas para el diseño de la subestación son las siguientes:

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Temperatura máxima	39.9 °C
Temperatura mínima	- 4.4 °C
Precipitación máxima	31.6 l/m <sup>2</sup>
Velocidad del viento máxima	21.1 m/s
Presión mínima	898.0 hPa
Presión máxima	957.0 hPa
Nivel de contaminación	I (ligero)

*Tabla 1: Datos meteorológicos de la estación de Pastrana [7]*

### 1.2.3 Características eléctricas

<b>Característica</b>	<b>Nivel 30 kV</b>
Tensión nominal de utilización (kV)	30
Tensión más elevada para el material (kV)	36
Tensión soportada tipo rayo (kV cresta)	170
Tensión soportada a frecuencia industrial (kV)	70
Frecuencia para la red (Hz)	50
Intensidad de cortocircuito trifásico (kA)	20
Duración del cortocircuito (s)	0,5
Intensidad de cortocircuito monofásico (kA)	9
Conexión del neutro	Rígido a tierra

*Tabla 2: Características eléctricas de la subestación*

### 1.2.4 Configuración de la subestación

Para la elección de la configuración se ha prestado especial atención a las características de versatilidad y ampliabilidad en relación con el coste. Estas cualidades son de especial relevancia en el sistema eléctrico del futuro. Teniendo esto en cuenta, se ha descartado la configuración de barra simple por su baja ampliabilidad y versatilidad. La configuración de anillo simple resulta versátil pero muy poco segura a partir de 5 posiciones. Las configuraciones de triple barra e interruptor y medio tienen muy buenas características de versatilidad, pero un coste demasiado elevado. La configuración de barra completa sería adecuada para 4 posiciones, menos de las que requiere el presente proyecto.

En definitiva, se llega a la conclusión de que la configuración que mejor reúne las características mencionadas es la de doble barra.

### 1.2.5 Formas constructivas y tecnología

La tecnología de aislamiento seleccionada para la subestación es AIS (Air Insulated Switchgear). Esta tecnología está ampliamente probada y es aconsejable en lugares donde no haya limitaciones de espacio, como es el caso del emplazamiento seleccionado.

A esto se suma la prohibición del gas SF6 como medio aislante para aparataje de media tensión a partir de 2026 [8]. Puesto que se pretende que la subestación del presente proyecto tenga una larga vida útil y con el fin de evitar futuros problemas, se descarta el empleo de tecnología GIS (Gas Insulated Switchgear) o HIS (Highly Integrated Switchgear).

### 1.2.6 Distancias

En la ITC-RAT-12 se establecen las distancias mínimas de aislamiento en aire entre fase y tierra y entre fases en función de la tensión más elevada para el material. Estos valores aplican para instalaciones situadas a altitudes inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar, como es el caso del presente proyecto. Dichas distancias mínimas son las siguientes:

#### Nivel 30 kV:

- Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases: 0,32 m

#### Nivel 220 kV:

- Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases: 2,1 m

Se ha tenido en cuenta la posibilidad de situaciones desfavorables como efectos de cortocircuitos y efectos del viento, por lo que finalmente se han empleado las siguientes distancias:

#### Nivel 30 kV:

- Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases: 1 m

#### Nivel 220 kV:

- Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases: 2,5 m

En lo que respecta a las distancias de los pasillos, se atiende a lo dispuesto en el punto 4 de la ITC-RAT-15. La anchura mínima de los pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a ambos lados es de 1,2 m. Los elementos en tensión que se encuentren sobre los pasillos estarán dispuestos a una altura mínima sobre el suelo de 2,82 m para el nivel de 30

kV y 4,6 metros para el nivel de 220 kV. En las zonas donde se prevea el paso de maquinaria, la distancia mínima entre los elementos en tensión y el punto más alto de esta será de 50 cm para el nivel de 30 kV y de 2,2 metros para el nivel de 220 kV. La distancia mínima de elementos en tensión al vallado perimetral será de 3,6 m.

Teniendo en cuenta dichas distancias mínimas establecidas por normativa y con el objetivo de garantizar la seguridad de las personas y de la instalación, se han adoptado finalmente las siguientes distancias:

- Anchura de los pasillos: 2 m
- Altura de elementos en tensión sobre los pasillos:
  - Nivel de 30 kV: 3,5 m
  - Nivel de 220 kV: 14 m
- Altura de la parte más baja de elementos aislantes:
  - Nivel de 30 kV: 2,8 m
  - Nivel de 220 kV: 5 m
- Distancia de elementos en tensión al vallado perimetral: 3,8 m

#### 1.2.7 Datos del terreno a efectos de la red de tierras

Atendiendo a la información disponible en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), los datos sobre el terreno en el que se emplaza la presente subestación se encuentran recogidos en la hoja 584 de la memoria del Mapa Geológico Nacional [9]. Se identifica una composición del suelo variable, que incluye calizas, margas, yesos, arcillas y areniscas. Esto denota un suelo con una resistividad media a alta. Se toma como valor aproximado de la resistividad del terreno 100 ohm·m en base a lo detallado anteriormente.

#### 1.2.8 Características de la zona elegida

Atendiendo a los datos cartográficos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [10], la parcela sobre la que se desarrollara el presente proyecto no se encuentra dentro de la Red de Espacios Naturales Protegidos, por lo que no se tendrán en cuenta consideraciones adicionales a la hora de diseñar la subestación.

## 1.3 SISTEMAS PRIMARIOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### 1.3.1 Descripción general

Los sistemas primarios son el conjunto de equipos y elementos conectados a los niveles de media y alta tensión que componen cada una de las posiciones de la subestación.

### 1.3.2 Esquema unifilar

La subestación cuenta con un parque de 30 kV compuesto por 3 posiciones de generación, 1 posición de reserva sin equipar y 2 posiciones de transformación de salida para realizar la interconexión con las subestaciones ya existentes.

### 1.3.3 Elección de los fabricantes

Para la elección de la aparamenta, se han consultado diversos fabricantes. Se ha tenido en cuenta en primer lugar que la aparamenta reúna las características técnicas necesarias y, en segundo lugar, el aspecto económico.

### 1.3.4 Elección de la aparamenta

Para la construcción de la presente subestación serán necesarios los siguientes elementos y cantidades:

<b>Aparamenta</b>	<b>Unidades</b>
Barras	6
Interruptor de potencia trifásico	6
Seccionador de cuchillas giratorias trifásico	17
Transformador de potencia trifásico	2
Transformador de tensión monofásico	21
Transformador de corriente monofásico	18
Pararrayos	12

*Tabla 3: Aparamenta y cantidades necesarias.*

### 1.3.5 Embarrado principal

Constituye el punto de conexión de cada una de las posiciones de la subestación. Sus características deben estar conforme al “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión (Real Decreto 337/2014)”. Las características del conductor seleccionado son las siguientes:

- Tubo 120/100 de aluminio 6101 T6 [11]:
- Aleación: 6101 T6 ISO E-ALMgSi
- Diámetro exterior / Diámetro interior: 120/100 mm
- Espesor: 10 mm
- Sección: 3.456 mm<sup>2</sup>
- Peso: 9,331 kg/m
- Máxima intensidad: 4200 A
- Momento de inercia: 537 cm<sup>4</sup>
- Momento de elasticidad: 89,5 cm<sup>3</sup>
- Carga de rotura: 200 MPa
- Límite elástico: 170 MPa
- Módulo de elasticidad: 68900 N/mm<sup>2</sup> (68,9 GPa)
- Coeficiente de dilatación lineal: 0,0217 mm/m°C [12]

### 1.3.6 Embarrado secundario

El embarrado secundario es el conjunto de conductores que se utilizan para conectar entre sí los equipos de cada una de las posiciones de la subestación. Las características del conductor seleccionado son las siguientes:

- Tubo 80/64 de aluminio 6101 T6:
- Aleación: 6101 T6 ISO E-ALMgSi
- Diámetro exterior / Diámetro interior: 80/64 mm
- Espesor: 8 mm
- Sección: 1810 mm<sup>2</sup>
- Peso: 4,886 kg/m
- Máxima intensidad: 2650 A
- Momento de inercia: 121 cm<sup>4</sup>
- Momento de elasticidad: 30,2 cm<sup>3</sup>
- Carga de rotura: 200 MPa

- Límite elástico: 170 MPa
- Módulo de elasticidad: 68900 N/mm<sup>2</sup> (68,9 GPa)
- Coeficiente de dilatación lineal: 0,0217 mm/m°C [12]

### 1.3.7 Embarrado tendido

En este caso, se empleará un conductor de aluminio con alma de acero flexible. Las características concretas del modelo seleccionado son las siguientes:

- Conductor: LARL 380
- Diámetro del conductor: 25,4 mm
- Sección aluminio: 337,3 mm<sup>2</sup>
- Sección acero: 43,7 mm<sup>2</sup>
- Sección total: 381 mm<sup>2</sup>
- Número de hilos aluminio / acero: 54 / 7
- Carga de rotura: 109,8 kN
- Peso propio del cable: 1222 kg/km
- Módulo de elasticidad final: 66000 N/mm<sup>2</sup>
- Resistencia eléctrica máxima: 0,0821 Ω/km

### 1.3.8 Interruptor de potencia

Para la apertura y cierre en carga de las posiciones, se instalarán interruptores de accionamiento tripolar de intemperie. Sus características están acordes a lo dispuesto en la ITC-RAT-06.

El equipo seleccionado para la subestación es el Interruptor Automático de Intemperie de corte en vacío modelo OVB-VBF-36.25.32 de ABB [13]. Sus características son:

- Mod.: OVB-VBF-36.25.32
- Marca: ABB
- Clasificación: IEC 62271-100
- Tensión nominal: 30 kV
- Tensión de aislamiento: 36 kV
- Intensidad nominal: 2500 A
- Nivel de cortocircuito: 31,5 kA
- Rango de Temperatura: -25 / +40 °C
- Tipo de accionamiento: Tripolar

### 1.3.9 Seccionador de cuchillas giratorias

Se colocarán seccionadores de cuchillas giratorias a ambos lados de los interruptores de potencia. Este elemento cumple lo dispuesto en la ITC-RAT-06 al igual que el interruptor de potencia. El equipo seleccionado es un seccionador de cuchillas giratorias trifásico de ABB modelo ONIII 30W/20-2 [14]. Sus características eléctricas son:

- Mod.: ONIII 30W/20-2
- Tensión Nominal [kV]: 36
- Tensión soportada a frec. indus a tierra y entre fases [kV]: 75
- Tensión soportada a frec. indus. a través de la dist. de aislamiento [kV]: 100
- Tensión soportada al impulso tipo rayo a tierra y entre fases [kV]: 170
- Tensión soportada al impulso tipo rayo a través de la dist. de aislamiento [kV]: 195
- Línea de fuga de los aisladores [mm]: 900
- Corriente Nominal [A]: 2000
- Corriente de cresta soportada por el seccionador [kA]: 63
- Corriente de corta duración soportada por el seccionador (1 s) [kA]: 25
- Corriente de cresta soportada por la cuchilla de puesta a tierra [kA]: 63
- Corriente de corta duración soportada por la cuchilla de puesta a tierra (1 s) [kA]: 25
- Frecuencia Nominal [Hz]: 50/60
- Resistencia mecánica [cierres / aperturas]: 1000
- Peso [Kg]: 150

### 1.3.10 Transformador de potencia

El transformador de potencia atenderá a lo dispuesto en la ITC-RAT-07 donde se detallan todas las condiciones relativas a la instalación de transformadores de potencia en instalaciones eléctricas. Las características del transformador seleccionado son las siguientes:

- Fabricante: ABB
- Tensión primaria: 220 kV
- Tensión secundaria: 30 kV
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Refrigeración: ONAN/ONAF
- Potencia nominal ONAN: 170 MVA
- Potencia nominal ONAF: 200 MVA

- Tipo: Trifásico, en baño de aceite
- Uso: Intemperie
- Clase de servicio: Continuo
- Regulación lado AT: Regulación en carga (21 tomas, 1,25%)
- Temperatura ambiente max/min: 40°C/-25°C
- Grupo de conexión: YNd11
- Accesorios:
  - Desecadores para la preservación del aceite
  - Válvulas de sobrepresión
  - Relé Buchholz
  - Termómetro de aceite
  - Regulador en carga telecontrolable
  - Radiadores galvanizados
  - Depósito de expansión
  - Terminales de puesta a tierra de la cuba

### 1.3.11 Transformador de tensión de medida

Se emplearán 2 modelos diferentes, uno para cada nivel de tensión. Ambos cumplen con la normativa UNE-EN 61869-3 que regula los requisitos generales y particulares de los transformadores de tensión de medida empleados para los sistemas de protección. Se empleará el siguiente modelo monofásico capacitivo:

- Fabricante: Dowe Electric
- Mod: 36 kV Capacitor Voltage Transformer
- Tensión de servicio: 36 kV
- Tensión secundaria:  $110/\sqrt{3}$  V
- Numero de devanados: 3
- Potencia nominal: 20 | 50 | 50 VA
- Clase: 0,2 | 0,5-3P | 0,5-3P
- Uso: Intemperie

Para el nivel de 220 kV se ha seleccionado el siguiente equipo:

- Fabricante: Artech
- Modelo: DFK-245
- Tensión máxima de servicio: 245 kV
- Tensión secundaria:  $110/\sqrt{3}$  V

- Tensión a frecuencia industrial: 460 kV
- Tensión soportada a impulso tipo rayo: 1050 kVp
- Numero de devanados: 3
- Potencia nominal: 25 | 75 | 75 VA
- Clase: 0,2 | 0,5-3P | 0,5-3P
- Uso: Intemperie

### 1.3.12 Transformador de corriente de medida

Cumplen con la norma internacional IEC 61869-2 que establece los requisitos específicos para transformadores de corriente utilizados para los equipos de protección. Se emplea el siguiente modelo monofásico:

- Fabricante: Artech
- Modelo: CRK-36
- Tensión de servicio: 36 kV
- Intensidad nominal primaria: 3000 A
- Intensidad nominal secundaria: 5 A
- Numero de devanados: 3
- Potencia nominal: 20 | 50 | 50 VA
- Clase: 0,5 | 5P20 | 5P20
- Línea de fuga: 1135 mm
- Uso: Intemperie

Para el nivel de 220 kV se ha seleccionado el siguiente equipo:

- Fabricante: Artech
- Modelo: CA-245
- Tensión de servicio: 245 kV
- Intensidad nominal primaria: 3000 A
- Intensidad nominal secundaria: 5 A
- Numero de devanados: 3
- Potencia nominal: 25 | 75 | 75 VA
- Clase: 0,5 | 5P20 | 5P20
- Línea de fuga: 6125 mm
- Uso: Intemperie

### 1.3.13 Pararrayos

Se instalarán a ambos lados de los transformadores de potencia. Cumplen con lo dispuesto en la norma UNE EN 60099-4. El equipo concreto seleccionado para el nivel de tensión de 30kV es el pararrayos de la marca CAON®-KORWI® modelo HY10W-36 [15]. Sus características principales se detallan a continuación:

- Mod.: HY10W-36
- Peso Aprox. (kg): 2,78
- Tensión Nominal Ur (kV): 36
- Línea de Fuga Mínima (mm): 900
- Tensión Max. Serv. Cont. Uc (kV): 30
- Corriente Nom. de Descarga (kA): 10
- Tensión Res. Maxima Onda 8/20  $\mu$ s (kV): 90
- Impulso de Sobretens. 4/10  $\mu$ s (kA): 100
- Tensión de Cresta BIL (kV): 170
- Tensión bajo Lluvia 50Hz 1min (kV): 70

Para el nivel de 220 kV se instala el siguiente equipo:

- Fabricante: ABB
- Modelo: PEXLIM Q - 245
- Tensión Nominal Ur (kV): 210
- Línea de Fuga Mínima (mm): 7250
- Tensión Max. Serv. Cont. Uc (kV): 156
- Corriente Nom. de Descarga (kA): 10
- Tensión Res. Maxima Onda 8/20  $\mu$ s (kV): 494
- Tensión de Cresta BIL (kV): 1050
- Tensión bajo Lluvia 50Hz 1min (kV): 586

## 1.4 OBRA CIVIL

### 1.4.1 Movimiento de tierras

En lo relativo a la obra civil, la ejecución del proyecto comenzará con el movimiento de tierras, destinado a acondicionar el terreno para la posterior construcción de infraestructuras. En primer lugar, se procederá al limpiado y desbroce de la parcela para eliminar vegetación

y posibles residuos que dificulten los trabajos posteriores. Se esplanará la superficie ocupada por la subestación a una cota de 710 m. Se realizará una excavación de aproximadamente 1,5 metros de profundidad para las cimentaciones y para la instalación de la malla de tierra. El suelo está compuesto principalmente de calizas, yesos, arcillas y areniscas, por lo que se emplearán retroexcavadoras hidráulicas y martillos rompedores capaces de trabajar dichos materiales. Posteriormente se rellenarán las zanjas, se compactará el terreno y se prepararán los caminos dedicados al tránsito de personas. Se incluirá una capa de grava para evitar el polvo. Toda la cimentación presentará una ligera pendiente para evitar el encharcamiento de agua.

#### 1.4.2 Vallado

Atendiendo a lo dispuesto en la ITC-RAT-15, dedicada a las instalaciones eléctricas de exterior, todo el recinto deberá estar protegido por una valla de al menos 2,2 metros de altura. En este caso, se empleará un cerramiento con malla anudada de alambre galvanizado de 2,5 metros de altura. Esta solución presenta un buen balance entre seguridad y presupuesto. Su instalación es muy rápida y requiere un mantenimiento mínimo. Se dispondrán varias señales de advertencia de peligro por alta tensión a lo largo del perímetro.

#### 1.4.3 Accesos

El acceso a la subestación se realizará desde la carretera autonómica CM-200, tomando el desvío hacia la carretera de zorita. Ambas se encuentran asfaltadas y permiten el paso tanto de maquinaria como de vehículos urbanos. Para el acceso a las instalaciones se dispondrá de una puerta metálica corredera de 6 metros de amplitud y de la misma altura que la valla perimetral, además de una puerta pequeña anexa para el paso de personal.

#### 1.4.4 Red de tierras

Para el diseño de la red de tierras de la subestación se ha atendido a lo dispuesto en la ITC-RAT-13. Se ha realizado el diseño de la red de tierras superiores e inferiores.

La red de tierras inferiores tiene como objetivo proteger a las personas y a la aparamenta ante posibles cortocircuitos, además de redirigir las corrientes debidas a descargas

atmosféricas. Para determinar las características de la malla, se ha tenido en cuenta la resistividad del terreno en función de su composición, además de la resistividad adicional aportada por una capa de grava de 10 cm de espesor. Se han determinado las corrientes máximas de falta para calcular la sección y el diámetro del conductor de puesta a tierra. En este caso, se ha optado por un conductor desnudo de cobre de 12,2 mm de diámetro exterior y una sección de 95mm<sup>2</sup>. Se ha calculado la resistencia de puesta a tierra resultante, considerando una malla rectangular sin picas de 54 x 48 m de extensión, con una retícula cuadrada de 6 m de lado y enterrada a 1 metro de profundidad. Por último, se han calculado las tensiones de paso y de contacto admisibles según la norma y se ha comprobado que las tensiones obtenidas con la configuración seleccionada eran inferiores a estas, cumpliendo así con la normativa vigente.

Se conectarán a la malla de tierra todos los elementos metálicos de la subestación que no estén normalmente en tensión pero que puedan llegar a estarlo a causa de averías o sobretensiones.

La red de tierras superiores tiene como objetivo garantizar la seguridad de la instalación y del personal ante posibles descargas atmosféricas. En este caso, se ha optado por utilizar puntas Franklin a lo largo de la subestación. Todas ellas estarán conectadas a la malla de puesta a tierra a través del propio apoyo metálico que las soporta.

#### 1.4.5 Edificación

Se construirá un edificio de hormigón prefabricado de 15 x 8 metros de superficie, con una altura de 3,5 metros. Albergará un total de 6 estancias: protecciones, comunicaciones y control, archivo, almacén, aseos y servicios auxiliares. En la sala dedicada a los servicios auxiliares estarán los cuadros principales de alterna y continua, el cargador de baterías y 2 baterías. El transformador de servicios auxiliares se ubicará en el exterior del edificio. Desde la sala de comunicaciones y control se podrá supervisar la operación de la subestación en caso necesario. Estará equipada con la unidad remota de telecontrol (RTU) y un armario donde se ubicarán equipos varios destinados a la transmisión de datos. Aquí se encontrará también la centralita del sistema de vigilancia. La sala dispondrá de un puesto de ordenador desde el que se podrá llevar a cabo las labores de control. La sala de protecciones contará

con espacio suficiente para todos los armarios de protecciones y medidas. Las salas de almacén y archivo permitirán guardar documentación técnica y administrativa necesaria.

Para garantizar una correcta ventilación y evacuación del calor generado por los equipos, el edificio dispondrá de varias ventanas a lo largo de su perímetro. También incluirá varias unidades de aire acondicionado para mejorar el confort del personal y eventualmente proteger los equipos contra el sobrecalentamiento.

#### 1.4.6 Drenajes y saneamientos

Se instalará una red de tubo drenante y sumideros a lo largo de todo el parque para la recogida del agua procedente de las lluvias. Los tubos se dispondrán con una pendiente del 1% para facilitar el flujo de agua y a una distancia suficiente de los elementos en tensión. Se canalizará hacia el perímetro de la parcela, para posteriormente desembocar en cunetas próximas.

Se instalará un sistema de saneamiento para la recogida de aguas residuales procedentes del edificio de control. Se empleará tubo de PVC de 125 mm de diámetro para encauzar el agua hacia una fosa séptica. Posteriormente se verterá a un pozo filtrante.

#### 1.4.7 Acceso de las líneas

Las fotovoltaicas a las que pretende dar salida esta subestación se prevé que estén ubicadas a una distancia media – larga. Es por ello, que el acceso de las líneas de media tensión se hará por aire. Tanto la subestación como las fotovoltaicas se encuentran en entorno rural donde el impacto visual no es decisivo, además de que el uso de líneas aéreas requiere un menor coste de construcción y de mantenimiento para estas distancias.

En lo que respecta a las 2 líneas de alta tensión (220 kV), se emplearán también líneas aéreas, como es habitual para estos niveles de tensión. Entrarán a las posiciones de transformación de la subestación. Una de ellas permitirá la conexión con la Subestación Colectora José Cabrera y la otra con la Subestación Central Nuclear José Cabrera.

## **1.5 SISTEMAS SECUNDARIOS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

### **1.5.1 Sistemas auxiliares**

Los sistemas auxiliares (SSAA) garantizan la alimentación eléctrica a los equipos fundamentales tanto en condiciones normales como ante fallos de la red principal. Se dividen en 2 grupos: los servicios auxiliares de corriente alterna y los servicios auxiliares de corriente continua.

#### SSAA de corriente alterna:

Tendrá una tensión nominal de servicio de 400/230 V. La alimentación se realizará a través de un transformador de servicios auxiliares que reducirá la tensión de generación de 30kV a 400/230 V. Las características de dicho transformador son las siguientes:

- Tipo de transformador: Trifásico de intemperie
- Potencia nominal: 160 kVA
- Tensión primaria: 30kV
- Tensión secundaria: 0,4 – 0,23 kV
- Aislamiento: Aceite

Los SSAA de corriente alterna incluirán:

- Cuadro principal de corriente alterna
- Alumbrado exterior y del edificio de control
- Sistemas de ventilación y aire acondicionado
- Cargas generales de baja tensión (equipos informáticos)

#### SSAA de corriente continua:

Tendrá una tensión nominal de servicio de 125 V. La alimentación se realizará a través de rectificadores desde el cuadro principal de corriente alterna. Permitirán dar servicio ininterrumpido a todos los sistemas vitales para el correcto funcionamiento de la subestación,

incluso cuando se produzca un fallo en la red de corriente alterna. Se instalarán para ello 2 baterías Ni-Cd, tecnología ampliamente utilizada por su alta fiabilidad y vida útil.

Los elementos que estarán conectados al cuadro principal de corriente continua serán los siguientes:

- Sistemas de protección
- Sistemas de control y mando
- Sistemas de comunicaciones
- Alumbrado de emergencia
- Sistema de vigilancia y anti intrusismo
- Cargadores de baterías

### 1.5.2 Sistema de telecontrol y medidas

El sistema de telecontrol de la subestación permitirá la supervisión y mando de todos los equipos y posiciones de manera remota desde el centro de control correspondiente. Estará constituido por una unidad remota de telecontrol (RTU), ubicada en la sala de comunicaciones y control del edificio. Este dispositivo será el encargado de recopilar el estado actual y las alarmas de todos los equipos para posteriormente enviarlos al sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) del centro de control. Desde este se podrán enviar órdenes de mando, que serán recibidas por el RTU, actuando sobre la aparamenta.

Para el control local de la subestación, en caso de que fuera necesario, se dispondrá de un puesto de ordenador ubicado en la misma sala, desde el que se podrá operar los equipos. Se recibirán las señales desde las unidades de control de posición, de igual forma que se emplean para el control remoto. Tanto de manera local como remota, se tendrá un registro de eventos (maniobras, alarmas...) por si fuera necesario su análisis.

### 1.5.3 Sistema de protecciones

Detectará posibles funcionamientos anómalos en el sistema (faltas) para posteriormente aislar las zonas implicadas minimizando los posibles daños que puedan causar. Está

constituido por los transformadores de medida, que capturan las señales; los relés de protección, que interpretan dichas señales y los interruptores de potencia, que permiten aislar las zonas en falta. Los transformadores de medida cuentan con 2 devanados dedicados al sistema protectorio para garantizar la actuación de este en caso de fallo simple. Los relés de protección instalados deberán seguir lo dispuesto en la ITC-RAT-09. Para cada elemento a proteger, se dispondrá de al menos una protección principal y una de respaldo. Los relés de respaldo se ubicarán en armarios diferentes, con circuitos de disparo separados. Las protecciones dependientes de comunicaciones contarán con dos sistemas de telecomunicación diferentes. Los interruptores contarán con doble bobina de disparo para garantizar la actuación en caso de falta.

Para la protección de los transformadores de potencia se empleará:

- Protección diferencial de transformador (87T)
- Protección de sobreintensidad de fase (50/51)
- Protección de sobreintensidad de neutro (50N/51N)
- Relé Buchholz (63)
- Protección de sobrecarga (49)

Para la protección de las líneas se empleará:

- Protección de distancia (21)
- Protección diferencial de línea (87L)
- Protección de sobreintensidad de fase (50/51)
- Protección direccional de neutro (67N)

#### 1.5.4 Sistema contra incendios

Atendiendo a lo especificado en el apartado 6.1 del ITC-RAT 15, se prestará especial atención a la protección contra incendios de los transformadores de potencia. Se dispondrá de fosas colectoras con detectores térmicos para cada uno de los transformadores evitando posibles fugas de líquido aislante. Los transformadores estarán separados por un muro cortafuegos de hormigón armado de 30 cm para evitar posibles propagaciones.

Se dispondrá de 2 equipos de extinción de polvo químico ubicados en el edificio de control. En la zona exterior donde se ubique la aparamenta, se colocarán 2 carros de espuma AFFF/AR 3% de 100 litros modelo EM100K.

#### 1.5.5 Sistema anti intrusismo

Se instalará un sistema anti intrusismo capaz de detectar presencia de personas no autorizadas dentro del recinto de la subestación y comunicarlo a un centro de control remoto. Estará compuesto de un vallado perimetral completo, incluyendo barreras de infrarrojos para detectar presencia. La puerta de acceso permanecerá cerrada en todo momento excepto para permitir el paso de personal de mantenimiento. En el interior del recinto se instalará un sistema de videovigilancia junto con un sistema de alarmas. El acceso a los edificios interiores estará provisto de un sistema de identificación mediante tarjetas RFID para garantizar la seguridad.

# CAPÍTULO 2: CÁLCULOS

## 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan los cálculos relativos al diseño de la subestación. Se justificarán desde un punto de vista técnico las soluciones adoptadas y se confirmará que cumplen con la normativa vigente.

## 2.2 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS

### 2.2.1 Hipótesis de diseño

Para el nivel de 30 kV, la corriente de cortocircuito trifásica se estima en 20 kA. Para garantizar el funcionamiento adecuado de la subestación a largo plazo, teniendo en cuenta las posibles ampliaciones del sistema eléctrico, se decide realizar el dimensionamiento de los embarrados rígidos partiendo de los siguientes valores:

- $I_{cc3}$  simétrica = 30 kA
- $R/X = 0,07$  (Valor típico para los sistemas de MT [16])
- Duración del cortocircuito: 0,5s

Para el embarrado principal se empleará tubo de aluminio de 120/100 mm de diámetro.

Para el embarrado secundario se empleará tubo de aluminio de 80/64 mm de diámetro.

### 2.2.2 Condiciones del vano

Se entiende por vano a la distancia entre apoyos tanto del embarrado principal como del secundario. Se realizarán los cálculos considerando la situación más desfavorable, cuyas condiciones son las siguientes:

Para el embarrado principal:

- Longitud del vano: 12 m
- Distancia entre fases: 1 m
- Tipo de anclaje: apoyo fijo

Para el embarrado secundario:

- Longitud del vano: 3,7 m
- Distancia entre fases: 1 m
- Tipo de anclaje: apoyo fijo o aparamenta

### 2.2.3 Condiciones de la instalación

La subestación se encuentra ubicada a 710 m sobre el nivel del mar [17]. Atendiendo a lo dispuesto en la ITC-LAT-07, esto corresponde a la zona B (aquella situada a una altitud entre 500 y 1000 metros sobre el nivel del mar). No se consideran condiciones de categoría especial. Las condiciones climáticas a considerar son las siguientes:

- Velocidad del viento: 120 km/h (33,3 m/s). Esta es la velocidad marcada por la norma, muy superior a la velocidad más alta registrada en la zona (75.96 km/h).
- Hielo: Se considera la sobrecarga de un manguito de hielo de valor  $0,18 \cdot \sqrt{D}$  daN por metro lineal, siendo D el diámetro del conductor en mm.
- Sismo: No se considera zona de elevada actividad sísmica.
- Temperatura: Se encuentra entre -4,4 °C y 39,9 °C
- Contaminación: Se considera nivel de contaminación I (ligero) al encontrarse emplazada en una zona agrícola sin industrias.
- Máxima precipitación diaria registrada: 31.6 l/m<sup>2</sup>

### 2.2.4 Normativa aplicable

Todos los cálculos realizados en lo que respecta a los embarrados rígidos cumplen con la normativa vigente española y se encuentran conforme a lo indicado en los siguientes reglamentos y normativas:

- ITC-RAT 01 a 23
- ITC-LAT 01 a 09
- Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos” [18]

- Norma CEI 60909 (VDE 0102), “Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna” [19]
- Norma DIN 43670, “Aluminium bus bars; design for continuous current” [20]

Para los cálculos realizados, siempre se considerará el resultado más desfavorable de entre todos los que se desprendan de aplicar la normativa anterior. De esta forma se garantiza una mayor seguridad de la instalación.

### 2.2.5 Características de los materiales y equipos a instalar

Conductor para el embarrado principal:

Tubo 120/100 de aluminio 6101 T6 [11]:

- Aleación: 6101 T6 ISO E-ALMgSi
- Diámetro exterior / Diámetro interior: 120/100 mm
- Espesor: 10 mm
- Sección: 3.456 mm<sup>2</sup>
- Peso: 9,331 kg/m
- Máxima intensidad: 4200 A
- Momento de inercia: 537 cm<sup>4</sup>
- Momento de elasticidad: 89,5 cm<sup>3</sup>
- Carga de rotura: 200 MPa
- Límite elástico: 170 MPa
- Módulo de elasticidad: 68900 N/mm<sup>2</sup> (68,9 GPa)
- Coeficiente de dilatación lineal: 0,0217 mm/m°C [12]

Conductor para el embarrado secundario:

Tubo 80/64 de aluminio 6101 T6:

- Aleación: 6101 T6 ISO E-ALMgSi
- Diámetro exterior / Diámetro interior: 80/64 mm
- Espesor: 8 mm

- Sección: 1810 mm<sup>2</sup>
- Peso: 4,886 kg/m
- Máxima intensidad: 2650 A
- Momento de inercia: 121 cm<sup>4</sup>
- Momento de elasticidad: 30,2 cm<sup>3</sup>
- Carga de rotura: 200 MPa
- Límite elástico: 170 MPa
- Módulo de elasticidad: 68900 N/mm<sup>2</sup> (68,9 GPa)
- Coeficiente de dilatación lineal: 0,0217 mm/m°C [12]

Características del aislador soporte empleado en el embarrado principal:

Aislador de soporte exterior POINSA C8-170 [21]:

- Carga de rotura a flexión: 8000 N
- Carga de rotura a torsión: 2000 N
- Altura del aislador: 445 mm
- Altura de la pieza soporte: 70 mm
- Diámetro del aislador: 0,209 m

Características del aislador soporte empleado en el embarrado secundario:

Aislador de soporte exterior POINSA C6-170:

- Carga de rotura a flexión: 6000 N
- Carga de rotura a torsión: 1500 N
- Altura del aislador: 445 mm
- Altura de la pieza soporte: 50 mm
- Diámetro del aislador: 0,205 m

## 2.3 CÁLCULO DEL EMBARRADO PRINCIPAL

### 2.3.1 Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásico considerada es de 20 kA. Se puede calcular la intensidad de cresta trifásica de la siguiente manera según la norma CEI 60909:

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

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

La relación de impedancias R/X típica en el nivel de 30kV es de 0,07. Con ello:

$$\chi = 1,8144$$

$$I_p = 51,318 \text{ kA}$$

### 2.3.2 Tensión en el tubo

Esfuerzos debidos al viento:

$$F_v = p_v \cdot D$$

Siendo:

- $p_v$  es la presión del viento, en este caso a 33,3 m/s

$$p_v = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 33,3^2 = 679,2 \text{ N/m}^2$$

- D es el diámetro exterior de la barra, en este caso 0,12 m

Por tanto:

$$F_v = 81,5 \text{ N/m}$$

Esfuerzos debidos al peso propio del tubo:

$$F_p = P_t \cdot g$$

Donde:

- $P_t$  es el peso del tubo por unidad de longitud. En este caso 9,331 kg/m
- $g$  es la aceleración de la gravedad: 9,81m/s<sup>2</sup>

Por tanto:

$$Fp = 91,54 \text{ N/m}$$

Esfuerzos debidos al hielo:

$$Fh = 0,18 \cdot \sqrt{D} \frac{daN}{m} = 1,8 \cdot \sqrt{D} \frac{N}{m}$$

Siendo D el diámetro del conductor en mm, en este caso: 120 mm. Se obtiene, por tanto:

$$Fh = 19,72 \text{ N/m}$$

Esfuerzos por cortocircuito:

En primer lugar, se tiene en cuenta la fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores:

$$Fs = 0,866 \cdot \frac{\mu_0 \cdot Ip^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $Ip$  la intensidad de cresta trifásica: 51318 A
- $\mu_0$  la permeabilidad magnética en el vacío:  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$
- $a$  la distancia entre fases en metros: 1 m

Se obtiene:

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

En segundo lugar, se tienen en cuenta los esfuerzos dinámicos, que dependen de la frecuencia de vibración propia del tubo. Se calcularán 2 factores: uno tiene en cuenta el efecto dinámico,  $V_\sigma$  y el otro tiene en cuenta el reenganche,  $V_r$ .

La frecuencia de vibración del tubo se calcula a partir de Norma UNE EN 60865-1 de la siguiente manera:

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

Donde:

- $l$  es la longitud del vano
- $E$  es el módulo de elasticidad del material
- $I$  es la inercia de la sección
- $m$  es la masa por unidad de longitud del tubo
- $\gamma$  es el coeficiente del tubo y los apoyos. Se obtiene de la tabla 3 de UNE EN 60865:

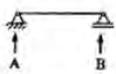
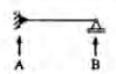
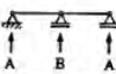
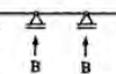
Tipo de viga y de soporte		Factor $\alpha$	Factor $\beta^*$	Factor $\gamma$
Vigas de un solo vano	A y B: soportes simples 	A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: soporte empotrado B: soporte simple 	A: 0,625 B: 0,375	0,73	2,45
	A y B: soportes empotrados 	A: 0,5 B: 0,5	0,5	3,56
Vigas continuas con soportes equidistantes	Dos vanos 	A: 0,375 B: 1,25	0,73	2,45
	Tres o más vanos 	A: 0,4 B: 1,1	0,73	3,56

Ilustración 1: Tabla número 3 de UNE EN 60865 para obtener factor  $\gamma$

Se tiene:

$$l = 12 \text{ m}$$

$$E = 68,9 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$I = 5,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\gamma = 1,57$$

$$m = \frac{Fp}{g} = 9,33 \text{ Kg/m}$$

Se obtiene, por tanto:

$$f_c = 2,17 \text{ Hz}$$

La relación entre la frecuencia de vibración del tubo y la frecuencia nominal es de:

$$\frac{f_c}{50} = 0,0434$$

A partir del anexo A de la norma UNE EN 60865 y de la relación anterior se pueden determinar las fórmulas necesarias y calcular los factores buscados:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68 \cdot k} + 0,54 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50}\right)$$

$$V_r = 1,8 \left(\frac{f_c}{50} \leq 0,05\right)$$

Siendo  $k = 1,6$  según se indica en la norma.

Se obtiene, por tanto:

$$V_\sigma = 0,326$$

$$V_r = 1,8$$

Se calcula ahora la tensión debida al esfuerzo dinámico en el tubo de la siguiente manera:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_s \cdot l^2}{8 \cdot W}$$

Siendo:

- $\beta$  es un factor cuyo valor se obtiene de Ilustración 1 (1 en este caso)
- $F_s$  es la fuerza estática por unidad de longitud calculada anteriormente (456,13 N/m)
- $l$  es la longitud del vano (12 m)

- $W$  es el módulo resistente del tubo ( $89,5 \text{ cm}^3$ )

Se obtiene, por tanto:

$$\sigma_m = 53,83 \text{ N/mm}^2$$

Se calcularán las tensiones debidas al resto de esfuerzos sobre el tubo de la siguiente forma:

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

Siendo  $P$  la carga que produce el esfuerzo. Se tiene, por tanto:

- Tensión debida al viento:

$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{81,5 \cdot 12^2}{89,5} = 16,39 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión debida al peso propio del tubo:

$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{91,54 \cdot 12^2}{89,5} = 18,41 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión debida al hielo:

$$\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{19,72 \cdot 12^2}{89,5} = 3,97 \text{ N/mm}^2$$

El valor de la tensión máxima será la superposición de los efectos. Se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 73,7 \text{ N/mm}^2$$

Podemos calcular ahora el coeficiente de seguridad del tubo a partir del límite elástico del mismo:

$$SF = \frac{170}{\sigma_{tot}} = 2,31$$

Según la norma UNE EN 60865, el tubo será capaz de soportar el esfuerzo aplicado si se cumple lo siguiente:

$$\sigma_{tot} \leq q \cdot R_{p0,2}$$

Donde:

- $R_{p0,2}$  es el límite elástico del material (170 MPa)
- $q$  es un factor que se obtiene de la tabla 4 de la misma norma:

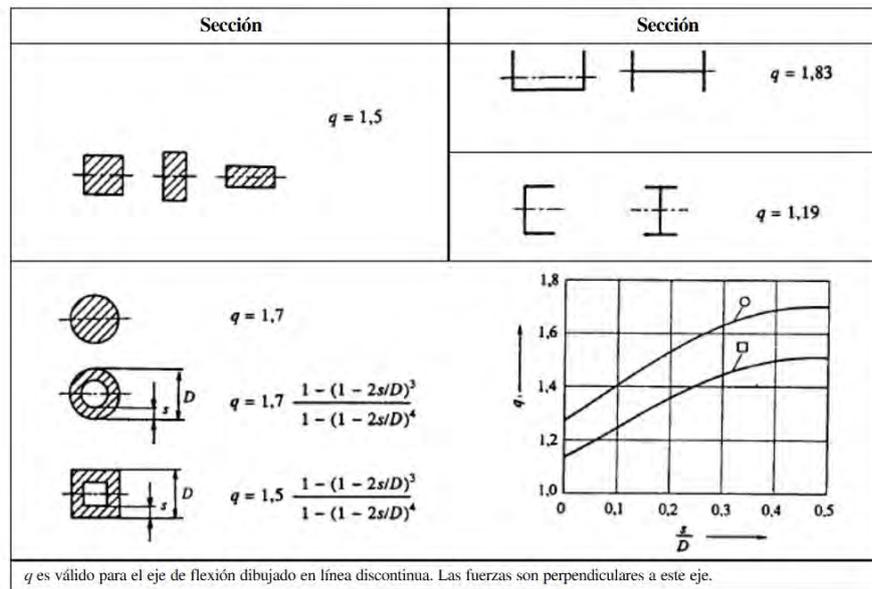


Ilustración 2: Obtención del factor  $q$

En este caso,  $q = 1,383$

Se obtiene, por tanto:

$$\sigma_{tot}(73,7) \leq q \cdot R_{p0,2}(235,16)$$

Se confirma que el embarrado seleccionado soportará los esfuerzos implicados.

### 2.3.3 Reacciones sobre los aisladores soporte

Para calcular las reacciones sobre los aisladores soporte se aplicará igualmente superposición de esfuerzos, en este caso, horizontales únicamente. Cada uno de ellos se ponderará con un coeficiente de 0,5 según se indica en la norma UNE EN 60865. Se tienen, por tanto:

Esfuerzo del viento sobre el tubo:

$$Fv = 81,5 \text{ N/m}$$

Esfuerzo por cortocircuito:

Atendiendo a lo especificado en la norma, se tiene:

$$Fs = 0,866 \cdot V_f \cdot V_r \cdot \frac{\mu_0 \cdot Ip^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $V_r = 1,8$
- $Ip = 51318 \text{ A}$
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$
- $a = 1 \text{ m}$
- $V_f$  es un factor que depende de la relación  $f_c/50=0,0434$  de la siguiente manera:

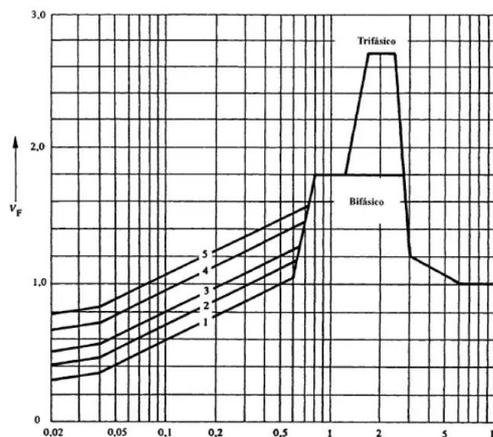


Ilustración 3: Gráfico para la obtención del parámetro  $V_f$  en función de  $f_c/50$ . Norma UNE EN 60865

$V_f$  toma por tanto el valor de 0,35 y se obtiene:

$$F_s = 287,36 \text{ N/m}$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte debidos al cortocircuito y al viento es, por tanto:

$$F_t' = (F_v + F_s) \cdot l \cdot \alpha$$

Siendo  $\alpha = 0,5$  el coeficiente de reparto de esfuerzos y  $l = 12 \text{ m}$  la longitud del vano. Se obtiene, por tanto:

$$F_t' = 2213,16 \text{ N}$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 70 mm por encima del aislador, que tiene una altura de 445 mm. El esfuerzo real será, por tanto:

$$F_t = F_t' \cdot \frac{(445 + 70)}{445} = 2561,3 \text{ N}$$

#### Esfuerzo del viento sobre el aislador:

Hay que considerar también la acción del viento sobre el propio aislador de la siguiente manera:

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

Siendo:

- $L_a$  la longitud del aislador: 0,445 m
- $D_a$  es el diámetro medio del aislador: 0,209 m
- $p_v$  es la presión del viento:  $679,2 \text{ N/m}^2$
- $\alpha$  es el coeficiente de reparto de esfuerzos: 0,5

Por tanto:

$$F_{va} = 31,58 \text{ N}$$

La fuerza total sobre el aislador será:

$$F_{TOT} = F_t + F_{va} = 2592,9 \text{ N}$$

Se puede calcular ahora el factor de seguridad:

$$SF = \frac{8000}{2592,9} = 3,09$$

Puesto que el factor de seguridad obtenido es superior a 1,5 se puede afirmar que el diseño cumple con la normativa.

### 2.3.4 Flecha en el tubo

El cálculo de la flecha en el tubo se basa en el prontuario de estructuras, considerando el caso de viga biapoyada sometida a una carga distribuida. Se tiene entonces:

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

Siendo:

- $q$  la carga distribuida a la que está sometida la barra. En este caso es la suma de la fuerza debida al propio peso y la fuerza del hielo  $q = Fp + Fh = 111,26 \text{ N/m}$
- $l$  es la longitud del vano: 12 m
- $E$  es el módulo de elasticidad del material:  $68,9 \cdot 10^9 \text{ Pa}$
- $I$  es la inercia de la sección:  $5,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Por tanto:

$$f = 0,0337 \text{ m} = 33,7 \text{ mm}$$

### 2.3.5 Elongación del embarrado

El tubo sufrirá una dilatación debida a efectos térmicos de la siguiente magnitud:

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

Siendo:

- $l_0$  la longitud inicial del tubo: 12 m
- $\alpha$  es el coeficiente de dilatación lineal: 0,0217 mm/m°C
- $\Delta T$  es el incremento de temperatura entre la de montaje y servicio: 45 °C

Se obtiene, por tanto:

$$\Delta l = 11,72 \text{ mm}$$

Se instalarán piezas capaces de absorber esta dilatación.

### 2.3.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

Para hallar la intensidad térmica en cortocircuito se atiende a UNE EN 60865:

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

- $I_p$  es la intensidad de cresta trifásica: 51,318 kA
- Los coeficientes m y n provienen de las siguientes 2 gráficas en función de  $f = 50$  y  $T_k = 0,5$  (tiempo de duración de falta):

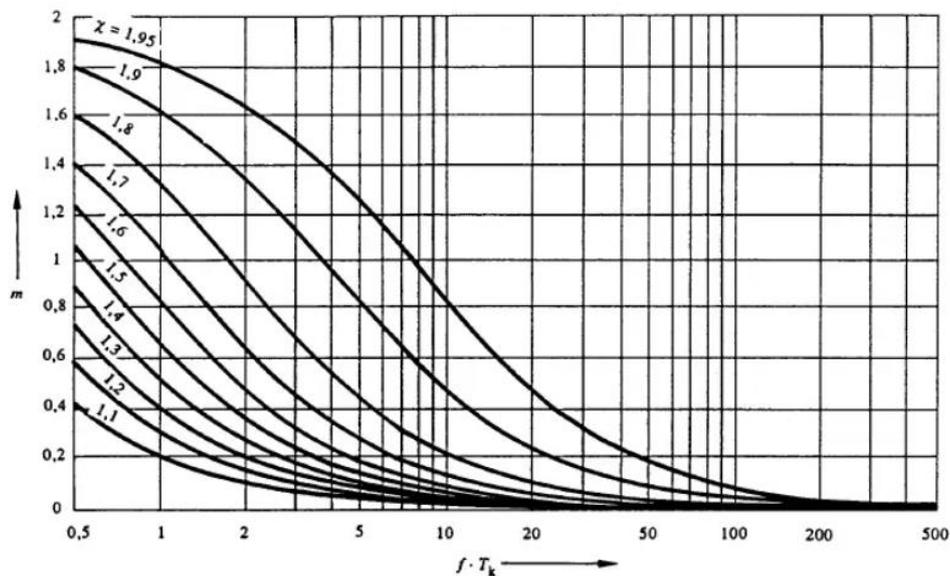


Ilustración 4: Gráfica para obtener el factor m. Norma UNE EN 60865

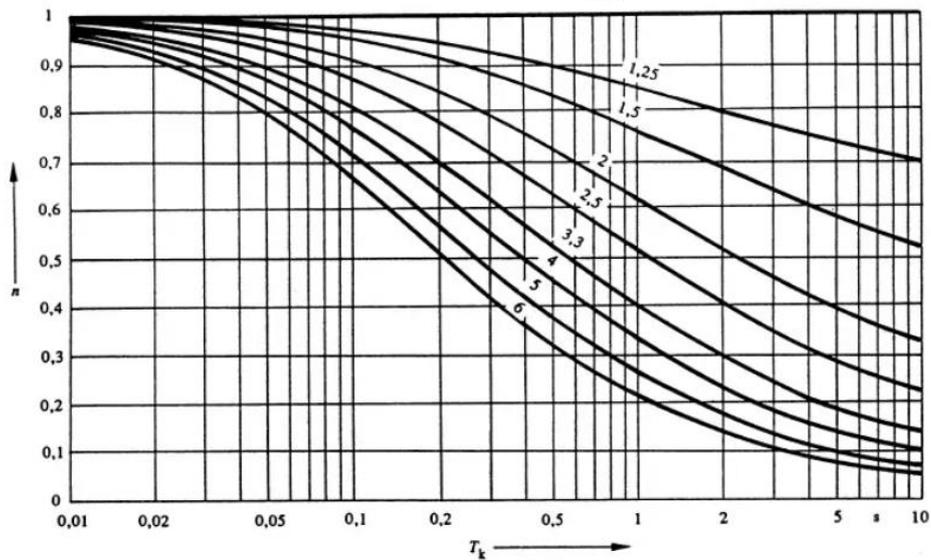


Ilustración 5: Gráfica para la obtención del parámetro n. Norma UNE EN 60865

Se tiene, por tanto:

$$m = 0,085$$

$$n = 0,73$$

$$I_{\theta} = 46,33 \text{ kA}$$

La capacidad térmica del tubo en cuestión viene definida por la máxima densidad de corriente de este, en este caso, 100 A/mm<sup>2</sup>. Por tanto, la capacidad térmica del tubo es de:

$$100 \cdot 3,456 = 345,6 \text{ kA}$$

Se comprueba por tanto que la capacidad térmica del tubo es muy superior a la que soportará en funcionamiento y por tanto está correctamente dimensionado en lo que respecta al esfuerzo térmico en cortocircuito.

### 2.3.7 Intensidad nominal de las barras

Según las características proporcionadas por el fabricante, el tubo seleccionado tiene una intensidad nominal teórica de 4200 A. Este valor debe ser corregido según lo indicado en la norma DIN 43670 de la siguiente manera:

$$I_{max} = I_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

Siendo:

- $I_n$  la intensidad nominal marcada por el fabricante: 4200 A
- $k_1$  es 0,925 por la aleación de la barra
- $k_2$  es 1,25 para temperatura de 80 °C
- $k_3$  es 1 por tratarse de un tubo
- $k_4$  es 0,98 por encontrarse la subestación emplazada a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar

Se obtiene, por tanto:

$$I_{max} = 4759,12 A$$

Esta corriente es equivalente a 247,29 MVA, potencia superior a la necesaria por la subestación, que estará conectada a centrales fotovoltaicas de como máximo 50 MW cada una.

## 2.4 CÁLCULO DEL EMBARRADO SECUNDARIO

Para el cálculo del embarrado secundario se partirá de las mismas hipótesis que para el embarrado primario.

### 2.4.1 Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásico considerada es de 20 kA. Se puede calcular la intensidad de cresta trifásica de la siguiente manera según la norma CEI 60909:

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

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

La relación de impedancias R/X típica en el nivel de 30kV es de 0,07. Con ello:

$$\chi = 1,8144$$

$$I_p = 51,318 \text{ kA}$$

#### 2.4.2 Tensión en el tubo

Esfuerzos debidos al viento:

$$F_v = p_v \cdot D$$

Siendo:

- $p_v$  es la presión del viento, en este caso a 33,3 m/s

$$p_v = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 33,3^2 = 679,2 \text{ N/m}^2$$

- D es el diámetro exterior de la barra, en este caso 0,08 m

Por tanto:

$$F_v = 54,336 \text{ N/m}$$

Esfuerzos debidos al peso propio del tubo:

$$F_p = P_t \cdot g$$

Donde:

- $P_t$  es el peso del tubo por unidad de longitud. En este caso 4,886 kg/m
- $g$  es la aceleración de la gravedad: 9,81m/s<sup>2</sup>

Por tanto:

$$F_p = 47,93 \text{ N/m}$$

Esfuerzos debidos al hielo:

$$Fh = 0,18 \cdot \sqrt{D} \frac{daN}{m} = 1,8 \cdot \sqrt{D} \frac{N}{m}$$

Siendo D el diámetro del conductor en mm, en este caso: 80 mm. Se obtiene, por tanto:

$$Fh = 16,1 \text{ N/m}$$

Esfuerzos por cortocircuito:

En primer lugar, se tiene en cuenta la fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores:

$$Fs = 0,866 \cdot \frac{\mu_0 \cdot Ip^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $Ip$  la intensidad de cresta trifásica: 51318 A
- $\mu_0$  la permeabilidad magnética en el vacío:  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$
- $a$  la distancia entre fases en metros: 1 m

Se obtiene:

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

En segundo lugar, se tienen en cuenta los esfuerzos dinámicos, que dependen de la frecuencia de vibración propia del tubo. Se calcularán 2 factores: uno tiene en cuenta el efecto dinámico,  $V_\sigma$  y el otro tiene en cuenta el reenganche,  $V_r$ .

La frecuencia de vibración del tubo se calcula a partir de Norma UNE EN 60865-1 de la siguiente manera:

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

Donde:

- $l$  es la longitud del vano
- $E$  es el módulo de elasticidad del material
- $I$  es la inercia de la sección
- $m$  es la masa por unidad de longitud del tubo
- $\gamma$  es el coeficiente del tubo y los apoyos. Se obtiene de la tabla 3 de UNE EN 60865:

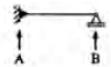
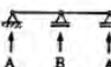
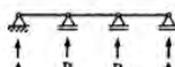
Tipo de viga y de soporte		Factor $\alpha$	Factor $\beta^*$	Factor $\gamma$
Vigas de un solo vano	A y B: soportes simples 	A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: soporte empotrado B: soporte simple 	A: 0,625 B: 0,375	0,73	2,45
	A y B: soportes empotrados 	A: 0,5 B: 0,5	0,5	3,56
Vigas continuas con soportes equidistantes	Dos vanos 	A: 0,375 B: 1,25	0,73	2,45
	Tres o más vanos 	A: 0,4 B: 1,1	0,73	3,56

Ilustración 6: Tabla número 3 de UNE EN 60865 para obtener factor  $\gamma$

Se tiene:

$$l = 3,7 \text{ m}$$

$$E = 68,9 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$I = 1,21 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\gamma = 1,57$$

$$m = \frac{Fp}{g} = 4,886 \text{ Kg/m}$$

Se obtiene, por tanto:

$$f_c = 14,98 \text{ Hz}$$

La relación entre la frecuencia de vibración del tubo y la frecuencia nominal es de:

$$\frac{f_c}{50} = 0,299$$

A partir del anexo A de la norma UNE EN 60865 y de la relación anterior se pueden determinar las fórmulas necesarias y calcular los factores buscados:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68 \cdot k} + 0,54 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50}\right)$$

$$V_r = 1 - 0,615 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50}\right) \left(\text{si } 0,05 < \frac{f_c}{50} < 1\right)$$

Siendo  $k = 1,6$  según se indica en la norma.

Se obtiene, por tanto:

$$V_\sigma = 0,779$$

$$V_r = 1,322$$

Se calcula ahora la tensión debida al esfuerzo dinámico en el tubo de la siguiente manera:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_s \cdot l^2}{8 \cdot W}$$

Siendo:

- $\beta$  es un factor cuyo valor se obtiene de la Ilustración 6 (1 en este caso)
- $F_s$  es la fuerza estática por unidad de longitud calculada anteriormente (456,13 N/m)
- $l$  es la longitud del vano (3,7 m)
- $W$  es el módulo resistente del tubo (30,2 cm<sup>3</sup>)

Se obtiene, por tanto:

$$\sigma_m = 26,617 \text{ N/mm}^2$$

Se calcularán las tensiones debidas al resto de esfuerzos sobre el tubo de la siguiente forma:

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

Siendo P la carga que produce el esfuerzo. Se tiene, por tanto:

- Tensión debida al viento:

$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{54,336 \cdot 3,7^2}{30,2} = 3,08 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión debida al peso propio del tubo:

$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{47,93 \cdot 3,7^2}{30,2} = 2,72 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión debida al hielo:

$$\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{16,1 \cdot 3,7^2}{30,2} = 0,91 \text{ N/mm}^2$$

El valor de la tensión máxima será la superposición de los efectos. Se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_{tot} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 29,918 \text{ N/mm}^2$$

Podemos calcular ahora el coeficiente de seguridad del tubo a partir del límite elástico del mismo:

$$SF = \frac{170}{\sigma_{tot}} = 5,68$$

Según la norma UNE EN 60865, el tubo será capaz de soportar el esfuerzo aplicado si se cumple lo siguiente:

$$\sigma_{tot} \leq q \cdot R_{p0,2}$$

Donde:

- $R_{p0,2}$  es el límite elástico del material (170 MPa)
- $q$  es un factor que se obtiene de la tabla 4 de la misma norma:

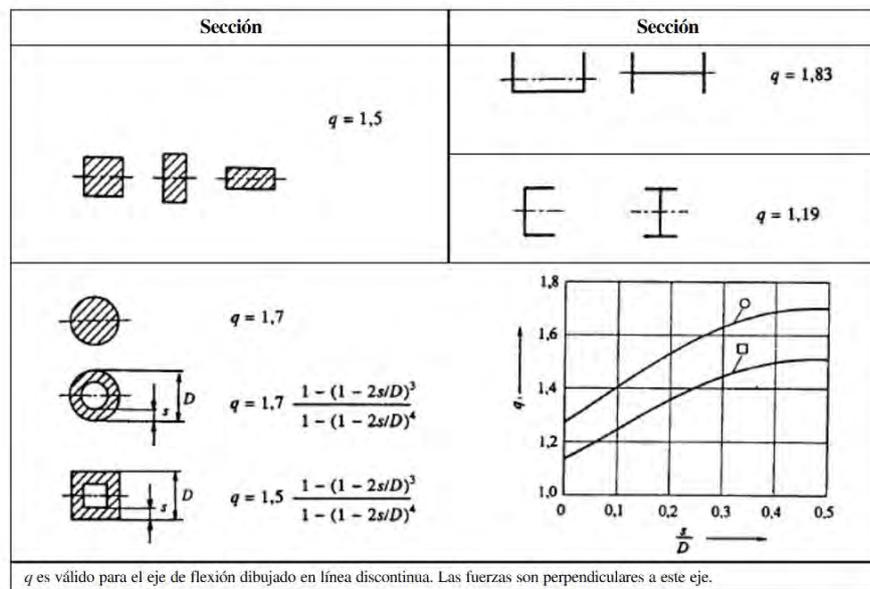


Ilustración 7: Obtención del factor q

En este caso,  $q = 1,41$

Se obtiene, por tanto:

$$\sigma_{tot}(29,918) \leq q \cdot R_{p0,2}(239,7)$$

Se confirma que el embarrado seleccionado soportará los esfuerzos implicados.

### 2.4.3 Reacciones sobre los aisladores soporte

Para calcular las reacciones sobre los aisladores soporte se aplicará igualmente superposición de esfuerzos, en este caso, horizontales únicamente. Cada uno de ellos se ponderará con un coeficiente de 0,5 según se indica en la norma UNE EN 60865. Se tienen, por tanto:

Esfuerzo del viento sobre el tubo:

$$F_v = 54,336 \text{ N/m}$$

Esfuerzo por cortocircuito:

Atendiendo a lo especificado en la norma, se tiene:

$$F_s = 0,866 \cdot V_f \cdot V_r \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo:

- $V_r = 1,322$
- $I_p = 51318 \text{ A}$
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$
- $a = 1 \text{ m}$
- $V_f$  es un factor que depende de la relación  $f_c/50=0,299$  de la siguiente manera:

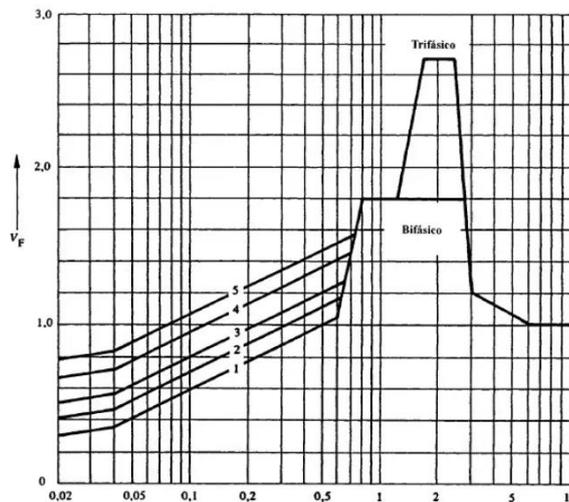


Ilustración 8: Gráfico para la obtención del parámetro  $V_f$  en función de  $f_c/50$ . Norma UNE EN 60865  
 $V_f$  toma por tanto el valor de 0,85 y se obtiene:

$$F_s = 512,55 \text{ N/m}$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte debidos al cortocircuito y al viento es, por tanto:

$$F_t' = (F_v + F_s) \cdot l \cdot \alpha$$

Siendo  $\alpha = 0,5$  el coeficiente de reparto de esfuerzos y  $l = 3,7 \text{ m}$  la longitud del vano. Se obtiene, por tanto:

$$F_t' = 1048,74 \text{ N}$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 50 mm por encima del aislador, que tiene una altura de 445 mm. El esfuerzo real será, por tanto:

$$F_t = F_t' \cdot \frac{(445 + 50)}{445} = 1166,57 \text{ N}$$

Esfuerzo del viento sobre el aislador:

Hay que considerar también la acción del viento sobre el propio aislador de la siguiente manera:

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

Siendo:

- $L_a$  la longitud del aislador: 0,445 m
- $D_a$  es el diámetro medio del aislador: 0,205 m
- $p_v$  es la presión del viento:  $679,2 \text{ N/m}^2$
- $\alpha$  es el coeficiente de reparto de esfuerzos: 0,5

Por tanto:

$$F_{va} = 30,98 \text{ N}$$

La fuerza total sobre el aislador será:

$$F_{TOT} = F_t + F_{va} = 1197,55 \text{ N}$$

Se puede calcular ahora el factor de seguridad:

$$SF = \frac{6000}{1197,55} = 5,01$$

Puesto que el factor de seguridad obtenido es superior a 1,5 se puede afirmar que el diseño cumple con la normativa.

#### 2.4.4 Flecha en el tubo

El cálculo de la flecha en el tubo se basa en el prontuario de estructuras, considerando el caso de viga biapoyada sometida a una carga distribuida. Se tiene entonces:

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

Siendo:

- $q$  la carga distribuida a la que está sometida la barra. En este caso es la suma de la fuerza debida al propio peso y la fuerza del hielo  $q = Fp + Fh = 64,03 \text{ N/m}$
- $l$  es la longitud del vano: 3,7 m
- $E$  es el módulo de elasticidad del material:  $68,9 \cdot 10^9 \text{ Pa}$
- $I$  es la inercia de la sección:  $1,21 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$

Por tanto:

$$f = 0,0078 \text{ m} = 7,8 \text{ mm}$$

#### 2.4.5 Elongación del embarrado

El tubo sufrirá una dilatación debida a efectos térmicos de la siguiente magnitud:

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

Siendo:

- $l_0$  la longitud inicial del tubo: 3,7 m
- $\alpha$  es el coeficiente de dilatación lineal:  $0,0217 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$
- $\Delta T$  es el incremento de temperatura entre la de montaje y servicio:  $45 \text{ }^\circ\text{C}$

Se obtiene, por tanto:

$$\Delta l = 3,613 \text{ mm}$$

Se instalarán piezas capaces de absorber esta dilatación.

### 2.4.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

Para hallar la intensidad térmica en cortocircuito se atiende a UNE EN 60865:

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

- $I_p$  es la intensidad de cresta trifásica: 51,318 kA
- Los coeficientes m y n provienen de las siguientes 2 gráficas en función de  $f = 50$  y  $T_k = 0,5$  (tiempo de duración de falta):

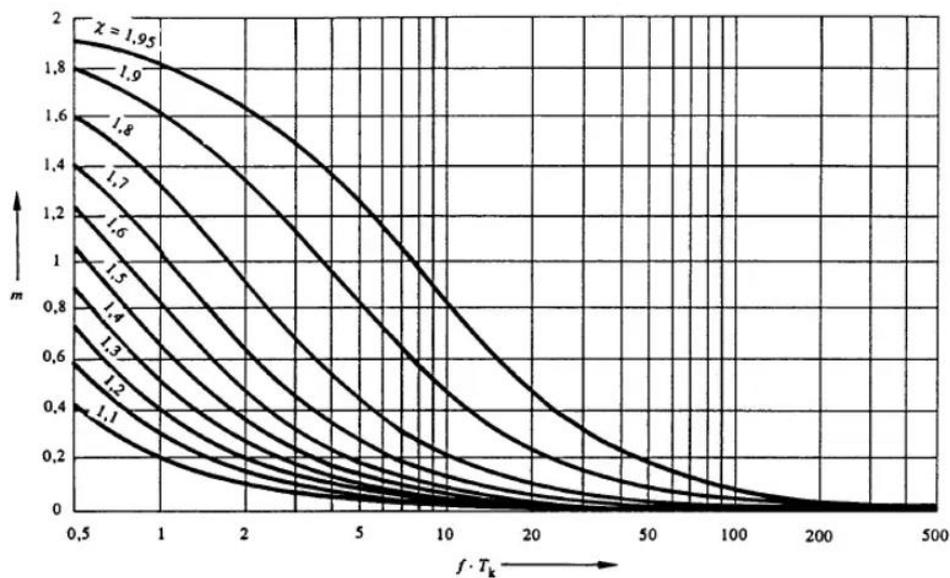


Ilustración 9: Gráfica para obtener el factor m. Norma UNE EN 60865

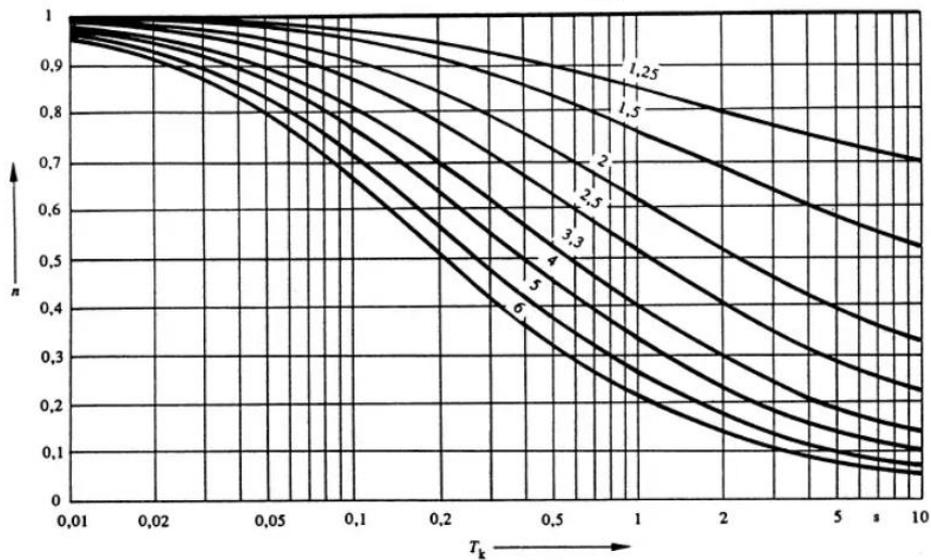


Ilustración 10: Gráfica para la obtención del parámetro  $n$ . Norma UNE EN 60865

Se tiene, por tanto:

$$m = 0,085$$

$$n = 0,73$$

$$I_{\theta} = 46,33 \text{ kA}$$

La capacidad térmica del tubo en cuestión viene definida por la máxima densidad de corriente de este, en este caso, 100 A/mm<sup>2</sup>. Por tanto, la capacidad térmica del tubo es de:

$$100 \cdot 1,810 = 181 \text{ kA}$$

Se comprueba por tanto que la capacidad térmica del tubo es muy superior a la que soportará en funcionamiento y por tanto está correctamente dimensionado en lo que respecta al esfuerzo térmico en cortocircuito.

### 2.4.7 Intensidad nominal de las barras

Según las características proporcionadas por el fabricante, el tubo seleccionado tiene una intensidad nominal teórica de 2650 A. Este valor debe ser corregido según lo indicado en la norma DIN 43670 de la siguiente manera:

$$I_{max} = I_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

Siendo:

- $I_n$  la intensidad nominal marcada por el fabricante: 2650 A
- $k_1$  es 0,925 por la aleación de la barra
- $k_2$  es 1,25 para temperatura de 80 °C
- $k_3$  es 1 por tratarse de un tubo
- $k_4$  es 0,98 por encontrarse la subestación emplazada a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar

Se obtiene, por tanto:

$$I_{max} = 3002,78 \text{ A}$$

Esta corriente es equivalente a 156,03 MVA, potencia superior a la necesaria por la subestación, que estará conectada a centrales fotovoltaicas de como máximo 50 MW cada una.

## 2.5 CÁLCULO DEL EFECTO CORONA

El efecto corona se produce a partir de un cierto valor de tensión, conocido como tensión crítica disruptiva. Para calcularlo, se emplea la fórmula de Peek:

$$U_c = m_c \cdot m_t \cdot \delta \cdot \sqrt{3} \cdot E_{0f} \cdot r_1 \cdot \ln\left(\frac{D}{r_1}\right)$$

Siendo:

- $m_c$  es un factor que tiene en cuenta la posible irregularidad del conductor. En este caso, para conductor cilíndrico y liso, toma el valor de 1.
- $m_t$  es un factor que tiene en cuenta las condiciones meteorológicas, en particular, la humedad. En este caso, toma el valor de 1 por encontrarse la subestación en un entorno principalmente seco.
- $\delta$  es el factor de corrección de la densidad del aire. Depende de la presión y de la temperatura. Las condiciones más desfavorables son para temperatura máxima (39,9 °C) y presión mínima (898.0 hPa = 67.36 cmHg). Calculamos el factor de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{3,926 \cdot p}{273 + T} = 0,845$$

- $E_{0f}$  es la rigidez dieléctrica del aire: 21,1 kV/cm
- $r_1$  es el radio exterior del tubo en cm. Para el embarrado principal será 6 cm y para el embarrado secundario será 4 cm.
- $D$  es la distancia media geométrica entre fases en cm [22]. Puesto que los conductores están dispuestos en un mismo plano:

$$D = 1,26 \cdot \text{Distancia entre fases (100 cm)} = 126 \text{ cm}$$

Se obtiene, por tanto:

$$U_{c,principal} = 564,12 \text{ kV}$$

$$U_{c,secundario} = 426,16 \text{ kV}$$

Estos valores se verían reducidos un 20% en caso de niebla o lluvia intensa. Puesto que los conductores se encuentran dispuestos en un mismo plano, la tensión disruptiva del conductor central debería ser un 4% menor y la de los conductores de los extremos un 6% mayor.

En cualquier caso, se puede confirmar que no se producirá efecto corona en ninguna circunstancia, ya que los valores obtenidos son mucho mayores que la tensión esperada en las barras.

## 2.6 CÁLCULO DE LA SELECCIÓN DE AUTOVÁLVULAS

Lo primero es comprobar si el sistema está puesto a tierra correctamente. Para ello se calcula el factor  $k$  según lo dispuesto en ET025 de R.E.E:

$$k = \frac{U_{TOV}}{U_{ca}}$$

Siendo:

- $U_{ca}$  la tensión de funcionamiento continuo, que se calcula de la siguiente manera:

$$U_{ca} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{36 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 20,78 \text{ kV}$$

- $U_{TOV}$  la tensión TOV (Temporary Overvoltage). Se calcula de la siguiente manera teniendo en cuenta que  $t = 0,5s$  :

$$U_{TOV} = 1,4 \cdot U_{ca} \cdot \left(\frac{t}{10}\right)^{0,002} = 28,92 \text{ kV}$$

Resulta, por tanto:

$$k = 1,39$$

Puesto que el valor obtenido de  $k$  es menor que 1,4 se puede afirmar que la tierra del sistema es efectiva. Para poder seleccionar el modelo correcto de autoválvula se deben definir sus características mínimas:

- Tensión nominal del descargador  $U_r$

$$U_r \geq 0,8 \cdot U_m = 28,8 \text{ kV}$$

- Tensión de funcionamiento continuo  $U_c$

$$U_c \geq U_{ca} = 20,78 \text{ kV}$$

- Línea de fuga mínima, considerando nivel de contaminación moderado:

$$L_{fuga} \geq 16 \left[ \frac{mm}{kV} \right] \cdot U_m = 576 \text{ mm}$$

- Tensión residual  $U_p$ , siendo  $U_{BIL}$  la tensión soportada a impulsos tipo rayo:

$$U_p \leq \frac{U_{BIL}}{1,2} = \frac{170}{1,2} = 141,7 \text{ kV}$$

- Corriente nominal de descarga de 10 kA

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se selecciona el modelo HY10W-36 de la marca KORWI cuyas especificaciones completas se pueden consultar en la memoria descriptiva.

## 2.7 CÁLCULO DE LA RED DE TIERRAS SUPERIORES

La subestación del presente proyecto se encuentra en exterior, por lo que cobra especial importancia un diseño de la red de tierras superiores de la misma. El objetivo es garantizar la seguridad del personal y de la aparamenta ante posibles descargas atmosféricas, conduciendo esa corriente hacia la malla de puesta a tierra de la subestación.

Para tal efecto, se colocarán puntas Franklin de tal forma que toda la subestación, tanto las zonas de paso de personal como el espacio ocupado por la aparamenta, quede protegido por la acción de estas. Las puntas Franklin irán unidas a la malla de tierra directamente a través de la estructura metálica que las soportará.

Para poder diseñar la colocación de las puntas a lo largo del terreno es esencial conocer el radio crítico de cebado de estas. La norma IEEE Std 998-1996 propone diversas formas de calcular esta distancia, resaltando específicamente una de ellas por tener mejor precisión. Es la que se usará en este proyecto y presenta la siguiente forma [23]:

$$r = 8 \cdot I^{0,65}$$

Donde:

- $r$  es el radio crítico de cebado

- I es la corriente debida a la descarga atmosférica en kA. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$I = U \cdot \frac{N}{Z}$$

Donde:

- U es la tensión soportada a impulsos tipo rayo en kV
- N es el número de líneas conectadas a la subestación
- Z es la impedancia característica de las líneas. Para líneas de 30kV típicamente se encuentra en el rango de 200 a 500 ohm. Se escoge un valor intermedio.

Partiendo de los siguientes valores:

$$U = 1050 \text{ kV}$$

$$N = 2$$

$$Z = 350 \Omega$$

Se obtiene:

$$I = 6 \text{ kA}$$

$$r = 25,64 \text{ m}$$

Para poder proteger todos los elementos de la subestación se necesitarán por tanto 6 puntas Franklin. Su distribución espacial queda indicada en el plano de planta general.

## 2.8 CÁLCULO DE LA RED DE TIERRAS INFERIORES

### 2.8.1 Introducción

Para el diseño de la red de tierras de la subestación se atenderá a lo dispuesto en la ITC-RAT-13, donde se especifican las condiciones necesarias para garantizar la seguridad del personal y de los equipos de la subestación.

Se calcularán las tensiones de paso y de contacto, la sección del conductor de tierra y la resistencia de puesta a tierra.

### 2.8.2 Tensiones de paso y contacto admisibles

En la ITC-RAT-13 se especifica que el diseño de la instalación de tierra será tal que en cualquier punto donde las personas puedan circular o permanecer, estas queden sometidas como máximo a las tensiones de paso y de contacto.

Se establece el valor admisible de la tensión de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la falta [24]:

Duración de la corriente de falta, $t_F$ (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, $U_{ca}$ (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

*Ilustración 11: Tensión de contacto aplicada admisible en función de la duración de la falta*

Para la presente subestación se ha considerado un tiempo de despeje de falta de 0,5s, resultando por tanto en:

$$U_{ca} = 204 V$$

En lo que respecta al valor admisible de la tensión de paso aplicada:

$$U_{pa} = 10 \cdot U_{ca} = 2040 V$$

### 2.8.3 Máximas tensiones de paso y de contacto admisibles

Las máximas tensiones de paso y de contacto admisibles tienen en cuenta todas las resistencias adicionales que intervienen en el circuito. Para calcularlas se emplean las siguientes fórmulas:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left[ 1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right]$$

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right]$$

Donde

- $U_{ca}$  es el valor admisible de la tensión de contacto
- $R_{a1}$  es la resistencia del calzado
- $\rho_s$  es la resistividad superficial aparente del terreno

$$\rho_s = \rho + C_s \cdot \rho^*$$

$C_s$  representa el coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial, que se calcula de la siguiente manera:

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot \left( \frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2 \cdot h_s + 0,106} \right)$$

Donde:

- $h_s$  es el espesor de la capa superficial en metros
- $\rho^*$  es la resistividad de la capa adicional. En este caso corresponde a la capa de grava.
- $\rho$  es la resistividad del terreno en  $\Omega \cdot m$

Para el presente proyecto se consideran los siguientes valores:

$$U_{ca} = 204 V$$

$$R_{a1} = 2000 \Omega$$

$$\rho = 100 \Omega \cdot m$$

$$\rho^* = 2\,000 \Omega \cdot m$$

$$h_s = 0,1 m$$

Se obtienen por tanto los siguientes resultados para las máximas tensiones de paso y de contacto admisibles:

$$U_c = 849,2 V$$

$$U_p = 27,85 kV$$

#### 2.8.4 Sección y diámetro del conductor de tierra

A la hora de dimensionar la sección del conductor de puesta a tierra se debe tener en cuenta el material de este. En este caso se emplearán conductores desnudos de cobre, por lo que, atendiendo a la ITC-RAT-13, la densidad de corriente máxima por el mismo debe ser de 160 A/mm<sup>2</sup>. Teniendo esto en cuenta:

$$A_{min} = \frac{I_{cc1f}}{160}$$

Considerando  $I_{cc1f} = 15 kA$  se tiene  $A_{min} = 93,75 \text{ mm}^2$

El diámetro del conductor de tierra será, por tanto:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4A_{min}}{\pi}} = 10,93 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta los diámetros estandarizados de cable disponibles en el mercado, se escoge un cable desnudo de cobre de 12,2 mm de diámetro exterior y una sección de 95mm<sup>2</sup>.

### 2.8.5 Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra depende de la resistividad del terreno, las dimensiones y la forma en la que se distribuya el conductor de tierra. En este caso, se opta por una malla de tierra sin picas, por lo que la resistencia se puede calcular según ITC-RAT-13 como:

$$R_{PAT} = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Siendo:

- $\rho$  es la resistividad del terreno en  $\Omega \cdot m$
- $r$  es el radio en metros de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla
- $L$  es la longitud total de los conductores enterrados en metros

Considerando una malla rectangular de 54 x 48 m de extensión, con una retícula cuadrada de 6 m de lado:

$$\rho = 100 \Omega \cdot m$$

$$r = 27,5 m$$

$$L = 906 m$$

Por tanto:

$$R_{PAT} = 1,02 \Omega$$

### 2.8.6 Corriente por la red de tierra

Se considera una corriente de falta monofásica de 15 kA. Según ITC-RAT-13, si el neutro de la instalación se encuentra rígido a tierra se establece un factor de reducción del 30% a la corriente antes mencionada para el cálculo de las tensiones de paso y de contacto. Por otro lado, se establece un factor de reducción adicional  $S_f$  marcado por la IEEE 80-2000 dependiente de la resistencia de puesta a tierra de la instalación y de la resistencia a tierra de la línea.

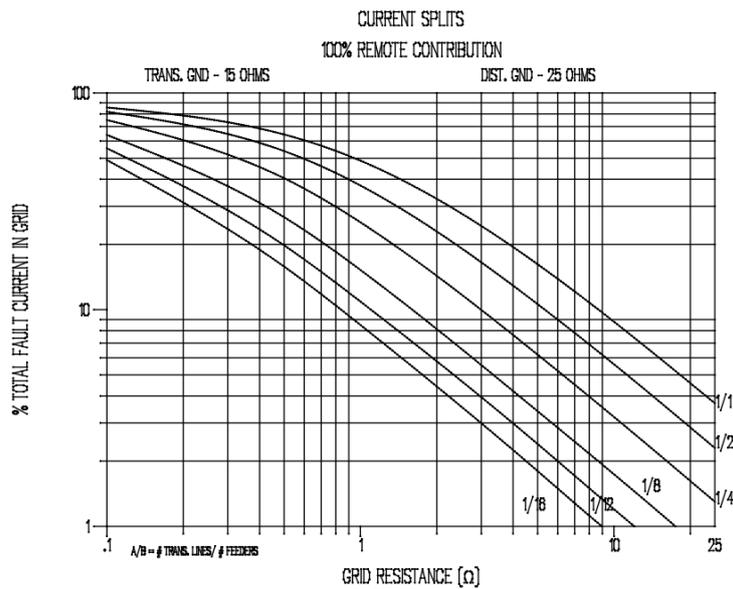


Ilustración 12: Curva para determinar el valor de  $S_f$  [25]

Consultando la curva anterior, y considerando  $1,02 \Omega$  como resistencia de puesta a tierra de la instalación y  $15 \Omega$  como resistencia a tierra de la línea (valor típico), se obtiene:

$$S_f = 0,5 \text{ (50\%)}$$

Por tanto, la intensidad que circula por la red de tierra es:

$$I_g = 15000 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 5250 \text{ A}$$

### 2.8.7 Evaluación de las tensiones de paso y de contacto

Se recurre al estándar IEEE 80-2000 [26] para calcular las tensiones de paso y de contacto que se tienen con el sistema de tierras inferiores planteado. Esto es, con una malla de tierra sin picas rectangular de  $54 \times 48 \text{ m}$  de extensión, con cable desnudo de cobre de  $95\text{mm}^2$  de sección. De esta forma, comprobaremos que el diseño de tierras cumple normativa.

Las fórmulas necesarias son las siguientes:

$$U'_c = \frac{\rho \cdot Km \cdot Ki \cdot I_g}{Lm}$$

$$U'_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s}$$

Donde:

- $\rho$  es la resistividad del terreno en  $\Omega \cdot m$
- $I_g$  es la intensidad que circula por la red de tierra
- $K_m$  es el factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de contacto
- $K_i$  es el factor de corrección por efecto de mayor densidad de corriente en los extremos de la malla
- $K_s$  es el factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de paso
- $L_m$  es la longitud total de los conductores enterrados
- $L_s$  es la longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de paso

Los diferentes factores se calculan de la siguiente manera:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left( \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{K_{ii}}{Kh} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)} \right) \right]$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{2/n}}$$

$$Kh = \sqrt{1 + h}$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left[ \frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} \cdot (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

$$L_s = 0,75 \cdot L_m$$

Donde:

- $D$  es la separación media entre conductores de la red de tierras
- $d$  es el diámetro de los conductores de la red de tierras
- $h$  es la profundidad de la malla de tierra

- $n$  es el número de conductores en paralelo. Se calcula de la siguiente forma:

$$n = \frac{2 \cdot Lm}{Lp} \sqrt{\frac{Lp}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

Donde:

- $Lp$  es la longitud perimetral de la malla
- $A$  es el área de la malla de tierra

Partiendo de los siguientes datos:

$$\rho = 100 \Omega \cdot m$$

$$Ig = 5250 A$$

$$Lm = 906 m$$

$$D = 6 m$$

$$d = 0,0122 m$$

$$h = 1 m$$

$$Lp = 204 m$$

$$A = 2376 m^2$$

Se obtienen por tanto los siguientes resultados:

$$n = 9,086$$

$$Kii = 0,528$$

$$Kh = 1,414$$

$$Km = 0,779$$

$$Ki = 1,989$$

$$K_s = 0,257$$

$$L_s = 679,5 \text{ m}$$

$$U'_c = \mathbf{817,07 \text{ V}}$$

$$U'_p = \mathbf{394,95 \text{ V}}$$

Se confirma que:

$$U'_c (817,07 \text{ V}) < U_c (849,2 \text{ V})$$

$$U'_p (394,95 \text{ V}) < U_p (27,85 \text{ kV})$$

Por tanto, el diseño de la red de tierras inferiores cumple normativa.

# CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se analizará la viabilidad económica de la subestación proyectada, considerando los costes de inversión y los beneficios asociados a su construcción. Se calculará la rentabilidad estimada del proyecto.

### **3.2 ESTUDIO DE LA RENTABILIDAD DE LA SUBESTACIÓN**

La construcción de la subestación conlleva una inversión inicial asociada a los costes de cada uno de los elementos necesarios. El total de la inversión inicial en la subestación ha resultado en 3.950.146,64 €.

La subestación no se encuentra ni en el segmento dedicado al transporte ni en el dedicado a la distribución de energía. Es por ello que el proyecto no puede recibir ingresos en forma de subvenciones, sino que toda la inversión debe ser privada. Esta será asumida íntegramente por los promotores del parque de generación.

La subestación no genera ingresos directos. Para poder estimar la rentabilidad de esta, se atenderá al valor añadido que aporta al permitir la venta de la energía generada por los parques fotovoltaicos conectados a ella.

En el momento de la puesta en funcionamiento, se prevé la conexión de 3 parques fotovoltaicos de 50MW de potencia cada uno. En base a los datos de parques ya construidos en la zona, se estima una producción anual de energía de 90.500 MWh por planta [27]. De igual forma, se estima un coste de construcción medio de 21.000.000 € por planta. El precio de venta promedio de la energía fotovoltaica se estima en 37 €/MWh [28].

Se obtienen por tanto los siguientes datos de partida:

- Inversión total en plantas fotovoltaicas: 63.000.000 €
- Ingresos totales anuales generados por venta de energía: 10.045.500 €

El porcentaje de rentabilidad se calculará atendiendo únicamente a la parte del beneficio neto que le corresponde a la subestación en función de su peso en la inversión total del sistema, formado por la propia subestación y por los parques fotovoltaicos.

$$\text{Inversión total (parques + subestación)} = 66.950.146,64 \text{ €}$$

El peso de la subestación en la inversión total será:

$$\text{Peso} = \frac{3.950.146,64 \text{ €}}{66.950.146,64 \text{ €}} \cdot 100 = 5,9 \%$$

Los ingresos anuales atribuibles a la subestación serán, por tanto:

$$\text{Ingresos subestación} = 10.045.500 \text{ €} \cdot \frac{5,9}{100} = 592.684,5 \text{ €}$$

Finalmente, se obtiene una rentabilidad anual de:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{592.684,5 \text{ €}}{3.950.146,64 \text{ €}} \cdot 100 = 15 \%$$

Concluimos por tanto que el presente proyecto de subestación resulta rentable.

# CAPÍTULO 4: ANEJOS

## **4.1 ALINEACIÓN CON OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de metas acordadas por la Organización de las Naciones Unidas encaminadas hacia la protección del planeta y el bienestar de las personas [29]. Son 17 puntos en total, siendo satisfecho uno de ellos por el presente proyecto.

El objetivo 9 busca incrementar la inversión en la construcción de infraestructuras resilientes, con capacidad de adaptación. Uno de los objetivos del presente proyecto precisamente recae en garantizar un diseño fácilmente ampliable que pueda acoger futuras conexiones y garantizar por tanto un servicio prolongado en el tiempo. Esto atraerá a su vez la construcción de nuevas plantas fotovoltaicas, desplazando las actuales tecnologías de generación y dando pie a un futuro energético mucho más sostenible y concienciado con el medioambiente.

## 4.2 FICHA TÉCNICA SECCIONADOR DE CUCHILLAS

**ABB**

CATALOGUE

**ON**

Medium Voltage Outdoor  
Disconnectors



ON MEDIUM VOLTAGE OUTDOOR DISCONNECTORS

6. Designation of switch

Designation of disconnectors type

<b>ON</b>	<b>III</b>	<b>30</b>	<b>W</b>	/	<b>B</b>	<b>UD</b>	-	<b>2</b>
Disconnector's type	Number of poles I – 1 pole III – 3 poles	Rated voltage 20 – 24 kV 30 – 36 kV	Creepage distance of insulators – 460 mm (24 kV) – 610 mm (36 kV) W – 900 mm (36 kV)		Prąd znamionowy ciągły 4 – 400 A B – 800 A 12 – 1250 A 16 – 1600 A 20 – 2000 A	Earthing switch type UD – lower earthing switch UG – upper earthing switch		Construction version

7. Technical data

Electrical parameters

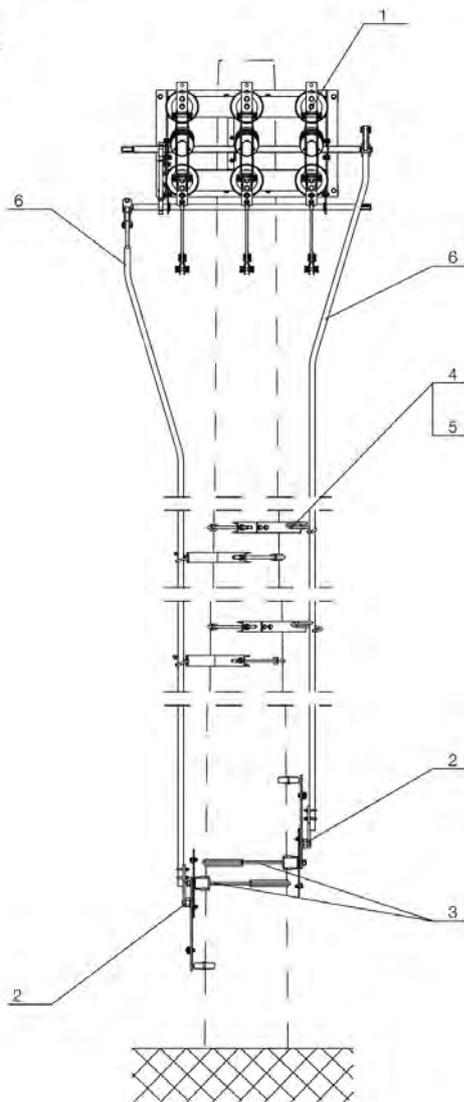
Table 1: Three poles disconnector's parameters  
Basic parameters

Parameters	ONIII 20/4-2	ONIII 20/8-2	ONIII 20/12-2	ONIII 30/4-2	ONIII 30/8-2	ONIII 30W/4-2	ONIII 30W/8-2	ONIII 30W/16-2	ONIII 30W/20-2
Rated Voltage [kV]	24	24	24	36	36	36	36	36	36
Rated power frequency withstand voltage to earth and between phases [kV]	55	55	55	75	75	75	75	75	75
Rated power frequency withstand voltage across the isolating distance [kV]	75	75	75	100	100	100	100	100	100
Rated lightning impulse withstand voltage to earth end between phases. [kV]	125	125	125	170	170	170	170	170	170
Rated lightning impulse withstand voltage across the isolating distance [kV]	145	145	145	195	195	195	195	195	195
Insulators creepage distance [mm]	460	460	460	610	610	900	900	900	900
Rated current [A]	400	800	1250	400	800	400	800	1600	2000
Disconnector rated peak withstand current [kA]	50	50	50	50	50	50	50	63	63
Disconnector rated short-time withstand current 1 s [kA]	20	20	20	20	20	20	20	25	25
Earthing switch	UD – lower earthing switch; or UG – upper earthing switch*								
Earthing switch rated peak withstand current [kA]	50	50	50	50	50	50	50	63	63
Earthing switch rated short-time withstand current 1 s [kA]	20	20	20	20	20	20	20	25	25
Rated frequency [Hz]	50/60								
Mechanical endurance [close /open]	1000								
Weight [kg]	Without earthing switch								
	80	80	80	105	105	125	125	130	130
With earthing switch									
	90	90	90	120	120	140	140	150	150

\* earthing switch from both side on request

- 01 Disconnecter
- 02 Manual drive
- 03 Drive fixing
- 04 Rod's support
- 05 Rods

**8. Accessories**  
Disconnecter ON III 20 UD with accessories



**8.1 Manual drives**

NN Manual drives dedicated for outdoor disconnector type ON:

- NN2 basic manual drive
- NN1 manual drive with auxiliary contacts (details point 9)

**8.2 Motor drives**

Disconnecter ON can be controlled by UEMC50 motor drive. Technical details of UEMC50 can be found in UEMC50's catalogue.



**8.3 Rods and rod's support**

Optionally rod's can be delivered together with disconnector. Standard length of rods is 4 x 1,5m. In the set with rods, 2 rod's supports are delivered

**8.4 Disconnecter fixing**

Taking into account high variety of installation arrangements ABB is not delivering fixing accessories for disconnector.

**8.5 Drive fixing**

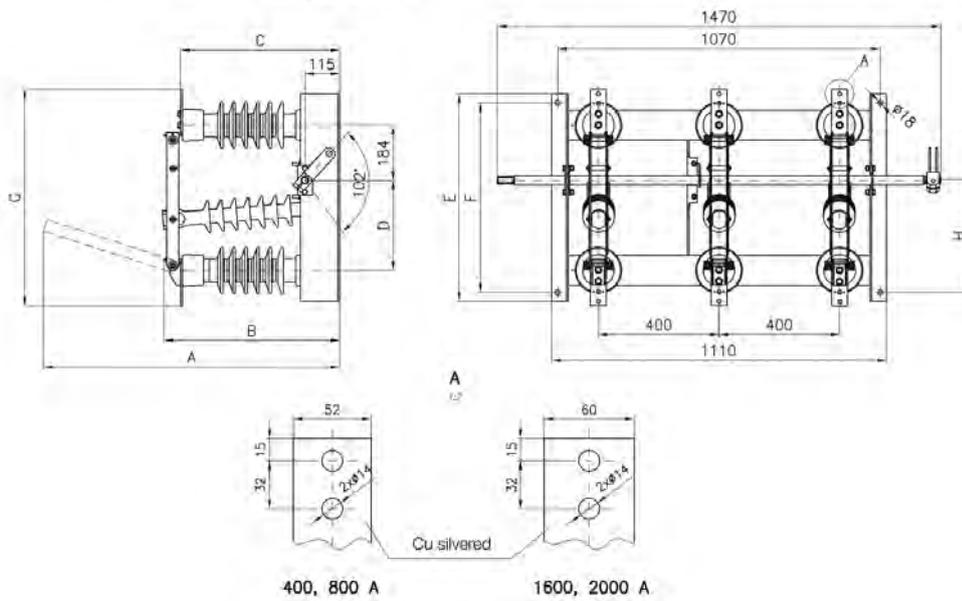
Few standard variants are available for square or circular pillars.

ON MEDIUM VOLTAGE OUTDOOR DISCONNECTORS

13

13.4 1YMR711027

- ON III 30/4-2      ON III 30 W/4-2
- ON III 30/8-2      ON III 30 W/8-2
- ON III 30 W/16-2
- ON III 30 W/20-2



ONIII 30W/16-2; ONIII 30W/20-2	1020	626	550	301	694	634	725	375
ONIII 30W/4-2; ONIII 30W/8-2	1000	602	546	301	694	634	725	375
ONIII 30/A-2; ONIII 30/B-2	981	583	527	301	694	634	725	375
Typ	A	B	C	D	E	F	G	H

### 4.3 FICHA TÉCNICA INTERRUPTOR DE POTENCIA

Outdoor Vacuum Circuit Breaker Type VBF

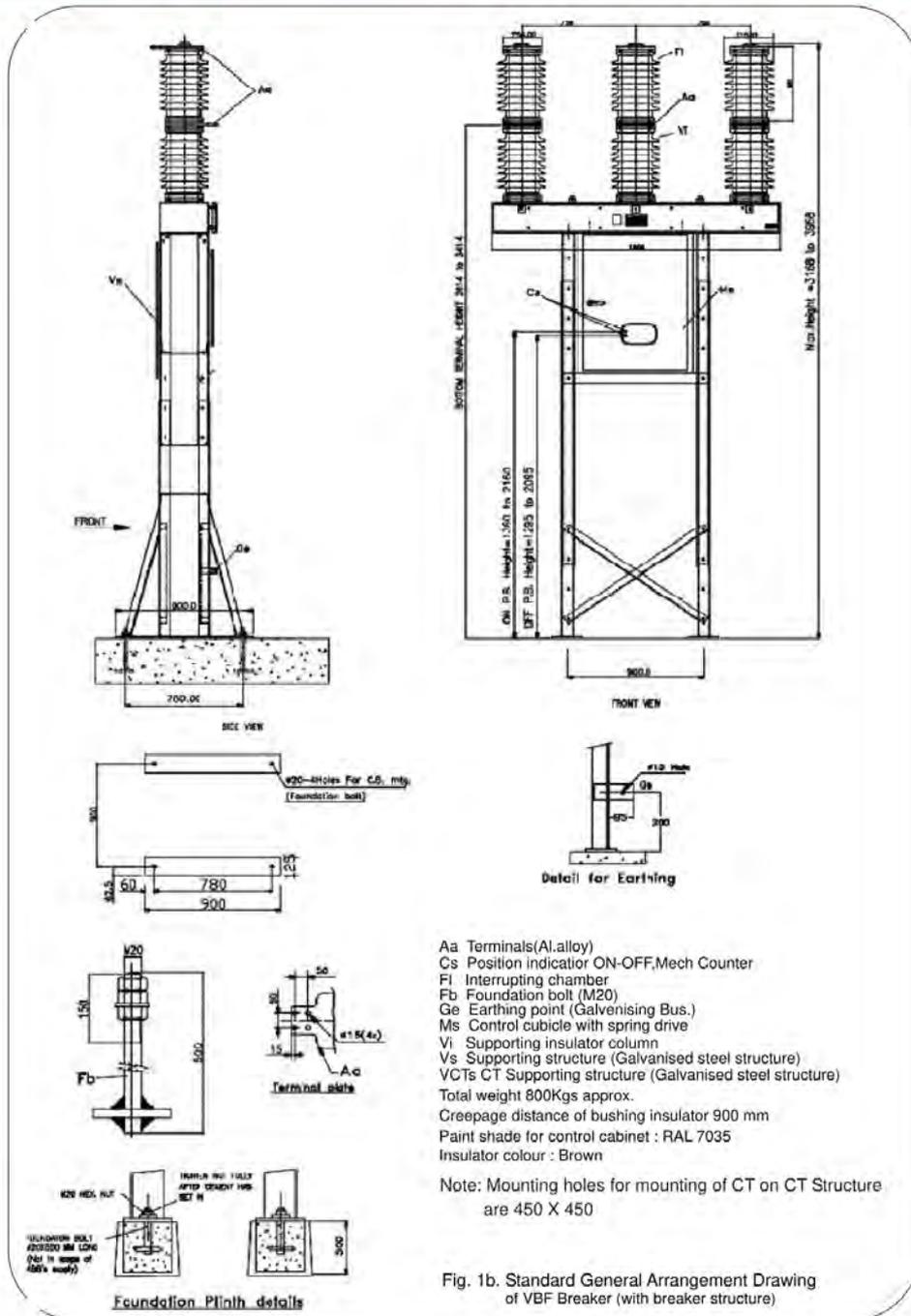
Instruction for Installation, Service and Maintenance



**ABB**



Drawings



Drawings

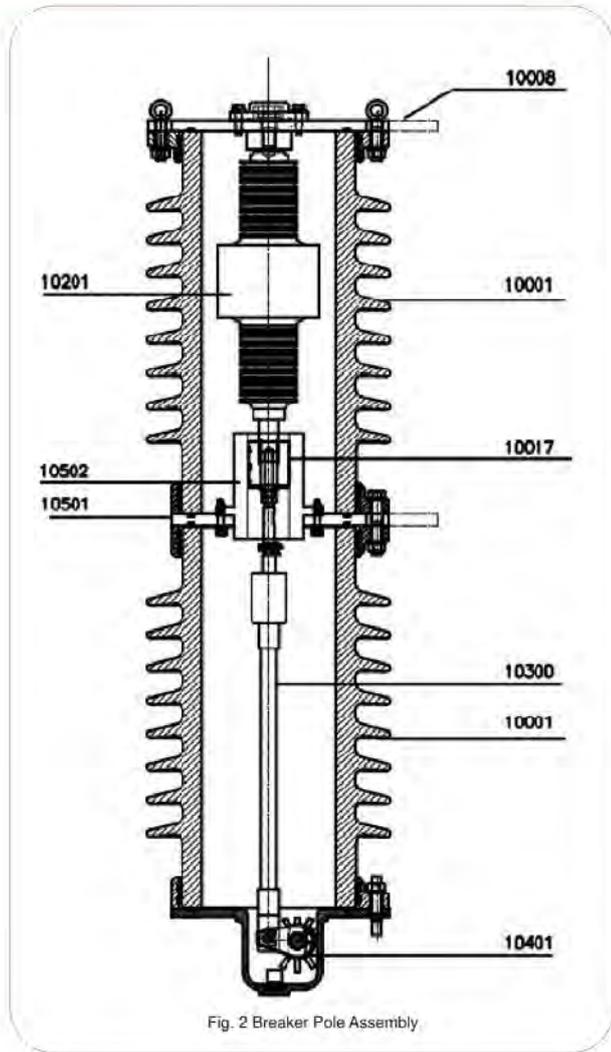


Fig. 2 Breaker Pole Assembly

Part No.	Description
10001	Insulator body
10200	Vacuum interrupter
10017	Lamellar contact
10502	Current collecting hub
10008 & 10500	Upper and lower terminal
10300	Insulating Rod
10401	Crank Housing

1.10

Aparellaje de Exterior e Interior



1.10.1 Interruptor Automático de Intemperie de corte en gas SF6 modelo OHB



Descripción	Código	PVP €
OHB 24kV 1250A 25kA	OHB-24.12.25	Consultar
OHB 24kV 2500A 25kA	OHB-24.25.25	Consultar
OHB 24kV 1250A 31,5kA	OHB-24.12.32	Consultar
OHB 24kV 2500A 31,5kA	OHB-24.25.32	Consultar
OHB 36kV 1250A 25kA	OHB-36.12.25	Consultar
OHB 36kV 2500A 25kA	OHB-36.25.25	Consultar
OHB 36kV 1250A 31,5kA	OHB-36.12.32	Consultar
OHB 36kV 2500A 31,5kA	OHB-36.25.32	Consultar
OHB 40,5kV 1250A 25kA	OHB-40.12.25	Consultar
OHB 40,5kV 2500A 25kA	OHB-40.25.25	Consultar
OHB 40,5kV 1250A 31,5kA	OHB-40.12.32	Consultar
OHB 40,5kV 2500A 31,5kA	OHB-40.25.32	Consultar

1.10.2 Interruptor Automático de Intemperie de corte en vacío modelo OVB-VBF

Interruptor automático de intemperie de corte en vacío Clasificación según IEC 62271-100  
 Tensión de aislamiento (kV): 24 - 36 - 40,5  
 Intensidad nominal (A): 1250 - 2500  
 Nivel de cortocircuito (kA): 25 - 31,5  
 Rango de Temperatura (°C): -25 / +40  
 Secuencia



OVB-VBF 24kV 1250A 25kA	OVB-VBF-24.12.25	Consultar
OVB-VBF 24kV 2500A 25kA	OVB-VBF-24.25.25	Consultar
OVB-VBF 24kV 1250A 31,5kA	OVB-VBF-24.12.32	Consultar
OVB-VBF 24kV 2500A 31,5kA	OVB-VBF-24.25.32	Consultar
OVB-VBF 36kV 1250A 25kA	OVB-VBF-36.12.25	Consultar
OVB-VBF 36kV 2500A 25kA	OVB-VBF-36.25.25	Consultar
OVB-VBF 36kV 1250A 31,5kA	OVB-VBF-36.12.32	Consultar
<b>OVB-VBF 36kV 2500A 31,5kA</b>	<b>OVB-VBF-36.25.32</b>	Consultar
OVB-VBF 40,5kV 2000A 31,5kA	OVB-VBF-40.20.32	Consultar
OVB-VBF 40,5kV 2500A 31,5kA	OVB-VBF-40.25.32	Consultar

1.10.3 Interruptor Automático de Interior de corte en gas SF6 modelo HD4/R

Interruptor automático de interior de corte en gas SF6 para distribución secundaria  
 Clasificación según IEC 62271-100  
 Tensión de aislamiento (kV): 12 - 17,5 - 24 - 36  
 Intensidad nominal (A): 630 - 1250  
 Nivel de cortocircuito (kA): 16 - 20 - 25  
 Rango de Te



HD4/R 12kV 630A 16kA	HD4/R-12.06.16	Consultar
HD4/R 12kV 630A 20kA	HD4/R-12.06.20	Consultar
HD4/R 12kV 630A 25kA	HD4/R-12.06.25	Consultar
HD4/R 12kV 1250A 16kA	HD4/R-12.12.16	Consultar
HD4/R 12kV 1250A 20kA	HD4/R-12.12.20	Consultar
HD4/R 12kV 1250A 25kA	HD4/R-12.12.25	Consultar
HD4/R 24kV 630A 16kA	HD4/R-24.06.16	Consultar
HD4/R 24kV 630A 20kA	HD4/R-24.06.20	Consultar
HD4/R 24kV 1250A 16kA	HD4/R-24.12.16	Consultar
HD4/R 24kV 1250A 20kA	HD4/R-24.12.20	Consultar
HD4/R 36kV 630A 16kA	HD4/R-36.06.16	Consultar
HD4/R 36kV 1250A 16kA	HD4/R-36.12.16	Consultar

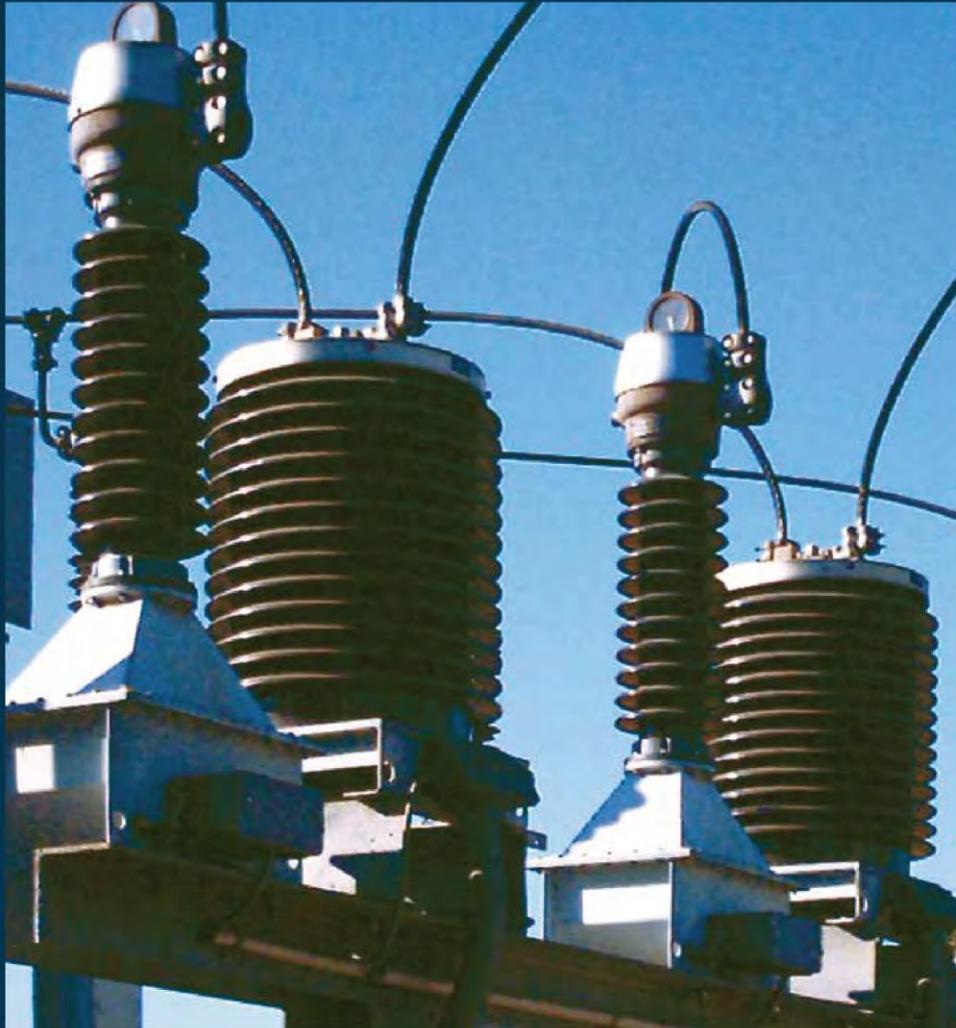
1

Redes aéreas y subterráneas

## 4.4 FICHA TÉCNICA TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 30KV



### 1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD Aislamiento seco





1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento seco

GAMA

Los transformadores de intensidad con aislamiento seco ARTECHE se denominan mediante tres letras y dos cifras que coinciden con el nivel de tensión máxima de servicio.

Las dos primeras letras son de acuerdo con el tipo de transformador y la tercera con las variantes dentro de la línea. Los transformadores de intensidad se denominan mediante las letras CX (aislador porcelana o silicona), CR (aislamiento resina cicloalifática), CE (invertido, aislamiento resina cicloalifática) y CPE (aislamiento resina cicloalifática con transformador toroidal).

Relaciones de transformación: todo tipo de combinaciones posibles en un mismo aparato.

Arrollamientos secundarios para:

- > Protección: todo tipo de clases de protección posibles, núcleos lineales, de baja inducción, etc.
- > Medida: clases de precisión para cualquier necesidad de medida y facturación (incluyendo clase 0,1/0,15 de muy alta precisión y gama extendida en corriente).

Número de arrollamientos secundarios: según necesidades, hasta 4 secundarios son posibles en un solo aparato.

Las siguientes tablas muestran la gama actual. Las características son orientativas; ARTECHE puede fabricar estos transformadores de acuerdo con cualquier norma nacional o internacional.

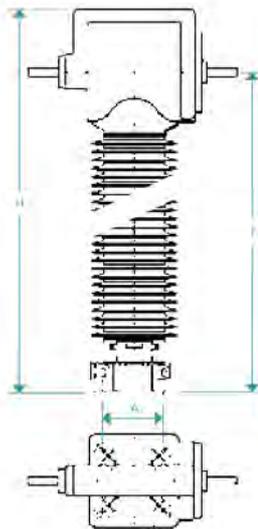


Fig. 1 - Modelo CE

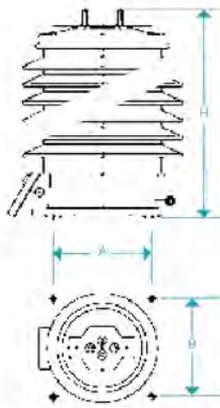


Fig. 2 - Modelos CX / CR

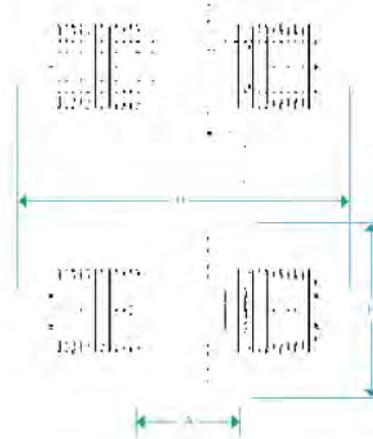


Fig. 3 - Modelo CPE



1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento seco

Transformadores de Intensidad									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo		Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones				Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)		Fig.	A (mm)	B (mm)	H (mm)	
<b>Aislamiento de resina cicloalifática</b>									
CRB-17	17,5	38	95	420	2	219	254	335	22
CRE-17	17,5	38	95	440	2	219	254	300	35
CRB-24	24	50	125	590	2	219	254	371	24
CRE-24	24	50	125	620	2	219	254	370	40
CRF-24	24	50	125	810	2	219	254	370	45
CRE-36	36	70	170	925	2	219	254	475	45
CRF-36	36	70	170	915	2	219	254	440	50
CRH-36	36	70	170	1250	2	250	250	625	115
<b>CRK-36</b>	<b>36</b>	<b>70</b>	<b>170</b>	<b>1135</b>	<b>2</b>	<b>350</b>	<b>350</b>	<b>551</b>	<b>146</b>
CRH-52	52	95	250	1785	2	250	250	797	135
CRK-52	52	95	250	1815	2	350	350	690	185
CRH-72	72,5	140	325	1785	2	250	250	797	135
CRK-72	72,5	140	325	1815	2	350	350	877	235
CE-034	36	70	170	920	1	250	250	1135/855*	265
CE-046	52	90	250	1300	1	250	250	1340/1070*	270
CE-069	72,5	140	325	1815	1	350	350	1576/1305*	350
<b>Aislamiento de porcelana o silicona</b>									
CXD-24	24	50	125	744	2	210	210	462	43
CXE-36	36	70	170	900	2	250	250	532	80
CXE-52	52	95	250	1440	2	250	250	712	111
CXG-52	52	95	250	1560	2	250	250	798	186
CXH-52	52	95	250	1560	2	330	330	800	263
CXG-72	72,5	140	325	1860	2	250	250	918	190
CXH-72	72,5	140	325	1860	2	330	330	920	305
<b>Aislamiento de resina cicloalifática</b>									
CPE-36	36	70	170	1080	3	500	460	1395	270
CPE-52	52	95	250	1700	3	620	840	1460	380

\* Dimensión T  
Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades específicas, consultar.



- > Transformador de intensidad de 72.5 kV (CX). Yuandon Textil Co. (Taiwan).
- > Transformador de intensidad de 72.5 kV (CX). Nuon (Holanda).

## 4.5 FICHA TÉCNICA TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 220KV



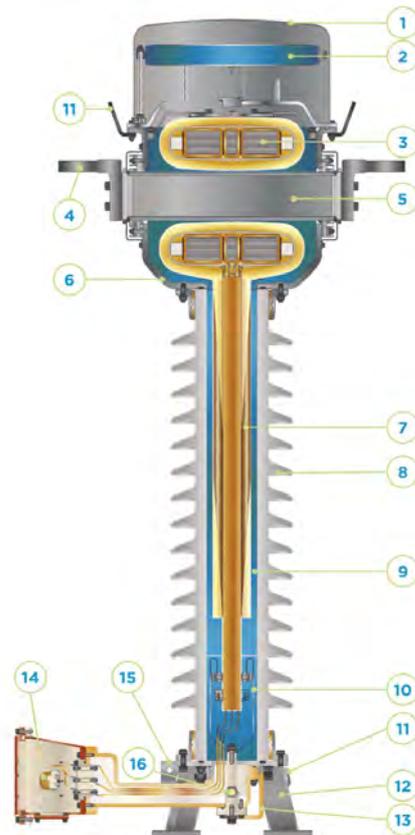
TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Serie CA

### SERIE CA

Aislamiento de papel-aceite:  
modelo CA hasta 800 kV.



1. Cubierta superior
2. Sistema compensador del volumen de aceite
3. Núcleos y arrollamientos secundarios
4. Terminal primario
5. Conductor primario
6. Cabeza
7. Borna condensadora
8. Aislador
9. Aceite aislante
10. Conexión de tierra reforzada
11. Agujeros de elevación
12. Base
13. Toma de medida de la tangente delta
14. Terminales secundarios
15. Terminal de puesta a tierra
16. Válvula de toma de muestras de aceite



Transformadores de Medida | Alta Tensión

## DISEÑO Y FABRICACIÓN

El conductor primario del transformador de intensidad es normalmente una barra de paso (con o sin reconexiones externas), o a veces un arrollamiento (también llamado bobinado). Los secundarios, que son uno o varios núcleos con sus correspondientes arrollamientos, se encuentran en la parte superior de la unidad, dentro de la envolvente exterior de aluminio.

Estas partes activas se encuentran dentro de una envolvente metálica que actúa como una pantalla de baja tensión, con el aislamiento principal de papel-aceite colocado alrededor, terminando con una pantalla de alta tensión. El espacio entre esta pantalla y la envolvente exterior está lleno de aceite. Las salidas de los cables secundarios van a la caja de los terminales secundarios a través de una borna condensadora aislada mediante papel-aceite, con varias pantallas para una distribución adecuada del campo eléctrico.



### CARACTERÍSTICAS

- › Gran precisión (hasta 0,1%), invariable a lo largo de la vida del aparato, con la máxima fiabilidad.
- › Todo tipo de núcleos de medición y protección: multiratio, lineales...
- › Amplia gama de corrientes primarias: de 1 a 5.000 A.
- › Reconexión primaria y/o secundaria.
- › Gran capacidad para corrientes nominales y de cortocircuito muy altas.
- › Diseño de seguridad reforzada.
- › Gran robustez mecánica.
- › Excelente respuesta en condiciones ambientales extremas: Temperaturas de -60°C a +60°C, grandes altitudes, zonas de peligro sísmico, vientos fuertes, etc.
- › Sin necesidad de mantenimiento durante toda su vida útil de más de 30 años. Sólo se recomienda la monitorización periódica.
- › Toma de medida de la Tangente Delta (DDF) para ensayos in situ.
- › Válvula de toma de muestras de aceite e indicador del nivel de aceite para la monitorización.
- › Sellado hermético que garantiza una absoluta estanqueidad con el mínimo volumen de aceite. Cada unidad se prueba individualmente.
- › Sistema de compensación del nivel de aceite que regula eficazmente los cambios en el volumen de aceite debidos fundamentalmente a la variación de la temperatura.
- › Disponibilidad de laboratorios propios homologados oficialmente.
- › Certificaciones del sistema de gestión de la calidad: ISO9001, ISO14001 y OHSAS 18001.
- › Cada unidad pasa ensayos de rutina siguiendo las normas aplicables.
- › Informes completos de ensayos tipo en conformidad con las normas internacionales.
- › Cumplimiento de todas las normas a nivel internacional y nacional.
- › Respeta el medio ambiente. Los materiales empleados en su construcción son reciclables y resistentes a la intemperie. Su avanzado diseño respeta la normativa medioambiental mediante el uso de aceites aislantes de alta calidad y libres de PCB.
- › Tamaño reducido gracias a un diseño compacto que facilita el transporte, almacenamiento y montaje, y reduce el impacto visual.
- › Puede ser transportado y almacenado de forma horizontal o vertical.

### OPCIONES

- › Ensayo de arco interno según norma IEC 61869 y otras.
- › Aisladores de porcelana o poliméricos.
- › Terminales secundarios precintables.
- › Diferentes prensaestopos y accesorios disponibles.
- › Amplia variedad de terminales primarios y secundarios.
- › Dispositivos de protección secundaria dentro de la caja de terminales (explosores...).
- › Toma de tensión capacitiva.



TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Serie CA

## GAMA

Esta serie se denomina con las letras CA seguidas de 2 o 3 números que indican la tensión máxima de servicio para la que han sido diseñados.

La tabla de la siguiente página muestra la gama fabricada por ARTECHE. Las características son orientativas; ARTECHE puede fabricar transformadores en conformidad con cualquier norma nacional o internacional.

Ratio: Múltiples combinaciones posibles en un solo dispositivo.

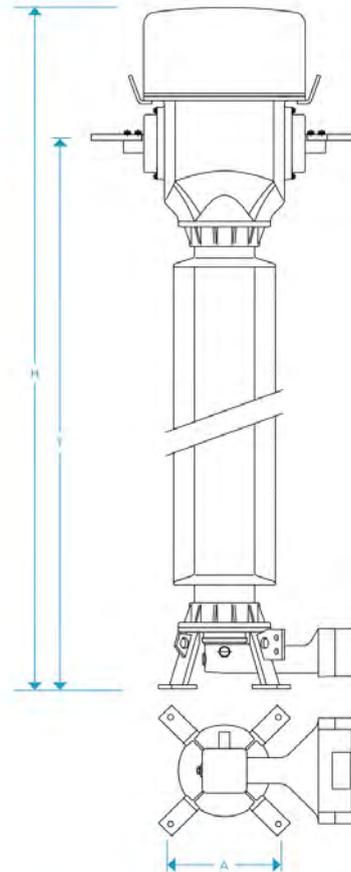
Arrollamientos secundarios para:

- > Protección: todos los tipos posibles, incluyendo núcleos lineales, baja inducción, etc.
- > Medición: clases de precisión para cualquier necesidad de medición o facturación (incluyendo la clase de alta precisión 0,1 / 0,15 con gama extendida en corriente).

Número de arrollamientos secundarios: según las necesidades, puede haber hasta 10 secundarios o más en un solo dispositivo.

Corrientes primarias: de 1 A a 5.000 A.

Corriente de cortocircuito: hasta 120 kA/1s.



Transformadores de Medida | Alta Tensión

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Serie CA



Aislamiento de papel-aceite > Modelo CA									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1350	1750	220
CA-52	52	95	250	-	1300	350	1350	1750	220
CA-72	72.5	140	325	-	1825	350	1350	1750	220
CA-100	100	185	450	-	2500	350	1350	1750	220
CA-123	123	230	550	-	3075	350	1785	2230	265
CA-145	145	275	650	-	3625	350	1785	2230	265
CA-170	170	325	750	-	4250	350	1945	2390	305
CA-245	245	460	1050	-	6125	350	2590	2975	375
CA-300	300	395	950	850	7500	450	3070	3455	600
CA-362	362	510	1175	950	9050	600	4015	4495	1090
CA-420	420	630	1425	1050	10500	600	4015	4495	1090
CA-525	550	575	1300	1175	13125	600	4525	5195	1150
CA-550	550	680	1550	1175	13750	600	5205	5960	1700
CA-765	800	880	1950	1425	15300	600	5720	6650	2250
		975	2100	1550					

Estas dimensiones y pesos son aproximados y se basan en los requisitos estándar. Para obtener valores detallados, por favor consulte con Arteche.

## 4.6 FICHA TÉCNICA TRANSFORMADOR DE TENSIÓN 30KV



---

**Oil Type  
Voltage Transformer**



## 36kV Capacitor Voltage Transformer

**General Description:**

- IEC 61869, ANSI/IEEE C93.1, NEMA
- ISO 9001, KEMA, CESI, CE, TUV, UL, ASTA
- Seismic design, ETGI-1.020, IEEE Std 693, NCh2369
- Structural design, ASTM A325, ANSI/AISC 360, AWS D1.1
- High altitude correction per IEC 61869 & IEEE C93.1, ~ 5000m
- High Quality Paper-Oil Insulation, Mineral oil (No PCB), Hermetically Sealed
- Accuracy classes 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 3.0, 3P, 6P or 0.15, 0.3, 0.6, 1.2 (IEEE)
- Robust and Reliable damping circuit reduces risk of damage
- Operation as coupling capacitor for power line transmission



**Typical Specification:**

36kV Oil Type Capacitor Voltage Transformer

Rated voltage ratio	Rated capacitances	Class combination and Rated secondary burden	Rated insulation level	Frequency	Total weight
kV	pF	VA	kV	Hz	kg
$\frac{33}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}}$	10000	0.5/3P-100/100			480
$\frac{33}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}} / \frac{0.1}{\sqrt{3}}$	10000	0.2/0.5/3P-100/100/100	36/70/170	50/60	500

NINGBO DOWEI ELECTRIC CO., LTD.

608, Jiaoguyin Building No.1, High-tech Zone, Ningbo, Zhejiang, China, 315048  
 Tel: +86-15088801930 | sales@dowei-electric.com | www.dowei-electric.com

## 4.7 FICHA TÉCNICA TRANSFORMADOR DE TENSION 220KV



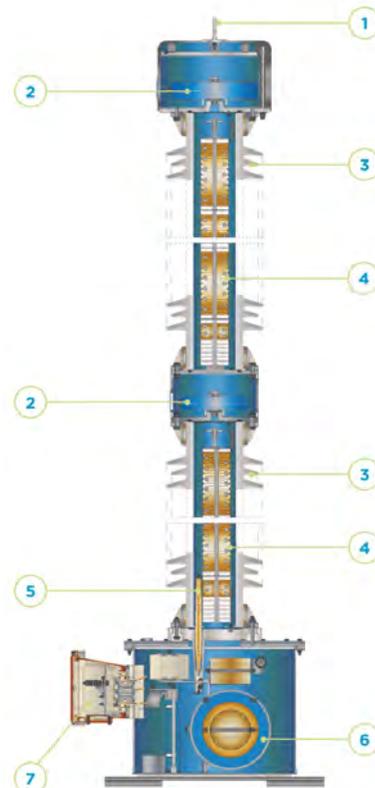
TRANSFORMADORES DE TENSION CAPACITIVOS > Serie DDB/DFK

### SERIE DDB/DFK

Transformador de tensión capacitivo:  
 modelo DDB 72,5 kV a 170 kV;  
 modelo DFK 245 kV a 800 kV.



1. Terminal primario
2. Sistema compensador del volumen de aceite
3. Aislador
4. Condensadores
5. Toma de tensión intermedia.
6. Transformador de tensión inductivo
7. Caja de terminales secundarios



## DISEÑO Y FABRICACIÓN

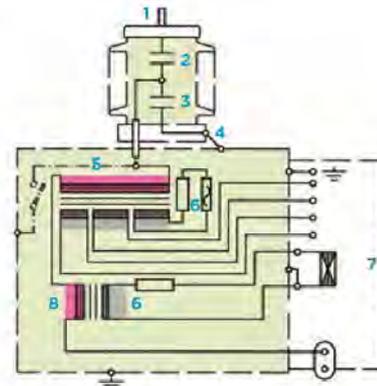
Los transformadores de tensión capacitivos consisten en un número de condensadores conectados en serie en la parte superior de un tanque en el que está alojada la unidad electromagnética (EMU). La EMU incluye un transformador inductivo (5), un reactor en serie (8) y otros elementos auxiliares. Estos condensadores forman un divisor de tensión (2, 3) entre el terminal de alta tensión (1) y el terminal de alta frecuencia (4).

Los condensadores, impregnados en aceite dieléctrico de alto grado, están alojados dentro de uno o más aisladores. Cada uno de ellos forma una unidad independiente herméticamente sellada, con una capacidad muy estable en el tiempo.

El terminal de alta frecuencia (4) para la señal de PLC sale lateralmente a través de una pieza de resina que separa la unidad capacitiva del transformador de tensión inductivo.

El transformador de tensión inductivo de media tensión está inmerso en aceite mineral y alojado dentro de un tanque metálico herméticamente sellado.

Los terminales secundarios se encuentran dentro de la caja de terminales secundarios (7) que permite la conexión; hay suficiente espacio disponible para instalar elementos de protección como fusibles o disyuntores.



1. Terminal primario
2. Condensadores (C1)
3. Condensadores (C2)
4. Terminal de alta frecuencia
5. Transformador de tensión inductivo
6. Circuito de supresión de ferresonancias
7. Caja de terminales secundarios
8. Reactor de compensación

## CARACTERÍSTICAS

- › Gran estabilidad de la capacidad, y por lo tanto de la precisión, invariable a lo largo de la vida del aparato, con la máxima fiabilidad.
- › Hasta 4 arrollamientos secundarios con o sin tomas de medida, con medición, protección o doble función.
- › Sistema de supresión de ferresonancias fiable que no afecta a la respuesta o a la precisión de los transitorios.
- › Gran robustez mecánica.
- › Excelente respuesta en condiciones ambientales extremas: Temperaturas de -60°C a +60°C, grandes altitudes, zonas de peligro sísmico, vientos fuertes, etc.
- › Sin necesidad de mantenimiento durante toda su vida útil de más de 30 años. Sólo se recomienda la monitorización periódica.
- › Válvula de toma de muestras de aceite e indicador del nivel de aceite de la EMU para la monitorización.
- › Sellado hermético que garantiza una absoluta estanqueidad con el mínimo volumen de aceite. Cada unidad se prueba individualmente.
- › Sistema de compensación del nivel de aceite que regula eficazmente los cambios en el volumen de aceite debidos fundamentalmente a la variación de la temperatura.
- › Disponibilidad de laboratorios propios homologados oficialmente.
- › Certificaciones del sistema de gestión de la calidad: ISO9001, ISO14001 y OHSAS 18001.
- › Cada unidad pasa ensayo de rutina siguiendo la normas aplicables.
- › Informes completos de ensayos tipo en conformidad con las normas internacionales.
- › Cumplimiento de todas las normas a nivel internacional y nacional.
- › Respeto al medio ambiente. Los materiales empleados en su construcción son reciclables y resistentes a la intemperie. Su avanzado diseño respeta la normativa medioambiental mediante el uso de aceites aisladores de alta calidad y libres de PCB.
- › Tamaño reducido gracias a un diseño compacto que facilita el transporte, almacenamiento y montaje, y reduce el impacto visual.

### OPCIONES:

- › Accesorios de la onda portadora para la transmisión de la señal de alta frecuencia.
- › Posibilidad de instalar bobinas de bloqueo en la parte superior del transformador de tensión capacitivo.
- › Interruptor de conexión a tierra de la EMU.
- › PQSensor® para la medición de armónicos de alta frecuencia.
- › Aisladores de porcelana o poliméricos.
- › Terminales secundarios precintables.
- › Diferentes prensaestopas y accesorios disponibles.
- › Amplia gama de valores de capacidad disponibles.



## GAMA

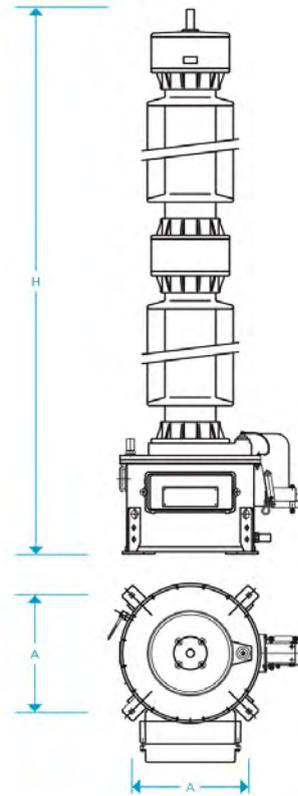
Esta serie se denomina con las letras DDB o DFK seguidas de 2 o 3 números que indican la tensión máxima de servicio para la que han sido diseñados.

La tabla de la siguiente página muestra la gama fabricada actualmente por ARTECHE. Estas características son orientativas. ARTECHE puede fabricar estos transformadores en conformidad con cualquier norma nacional o internacional.

Arrollamientos secundarios para:

- › Protección: todos los tipos posibles.
- › Medición: clases de precisión para cualquier necesidad de medición o facturación (incluyendo la clase de alta precisión 0,1 / 0,15 con gama extendida en corriente).

Número de arrollamientos secundarios: según las necesidades, puede haber hasta 4 secundarios o más en un solo dispositivo.



TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS > Serie DDB/DFK



Transformadores de tensión capacitivos										
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Capacidad estándar (pF)	Alta capacidad (pF)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DDB-72	72,5	140	325	-	10300	25500	1825	450	1510	245
DDB-100	100	185	450	-	5700	14300	2500	450	1600	255
DDB-123	123	230	550	-	5600	14000	3075	450	1830	300
DDB-145	145	275	650	-	3900	19500	3625	450	1920	310
DDB-170	170	325	750	-	7500	16500	4250	450	2065	330
DFK-245	245	460	1050	-	5800	11000	6125	450	2885	450
		395	950	-						
DFK-300	300	460	1050	850	6000	12500	7500	450	3205	480
DFK-362	362	510	1175	950	4500	10100	9050	450	3675	520
		630	1425	1050						
DFK-420	420	575	1300	950	3500	7700	10500	450	4595	670
		680	1550	1175						
DFK-525	(525) 550	800	1800	1175	3000	6200	13125	450	5560	1065
		880	1950	1425						
DFK-765	(765) 800	975	2100	1550	3000	4500	15300	450	7010	1270

Estas dimensiones y pesos son aproximados y se basan en los requisitos estándar.  
 Para obtener valores detallados, por favor consulte con Arteché.  
 Capacidades más altas disponibles a petición.

### 4.8 FICHA TÉCNICA PARARRAYOS 30KV

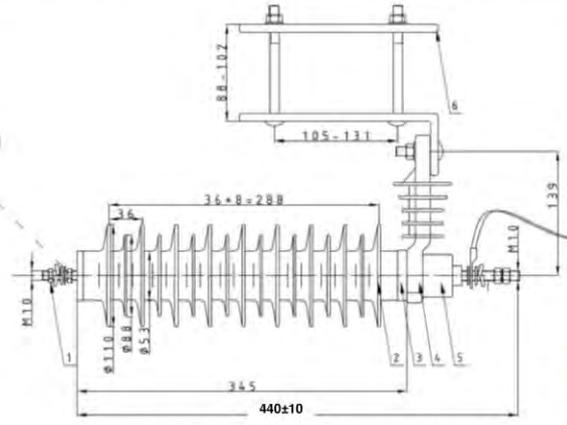



**Pararrayos de Oxidos Metálicos Poliméricos M.T.**

**FICHA TECNICA DEL PARARRAYOS**  
**Mod. : HY10W-36**



**PARARRAYOS MARCA CAON®-KORWI® 36kV 10kA \_ IEC/CEI 60099-4**


*Design and Engineering Control by*  
**EnverTec**  
[www.envertec.eu](http://www.envertec.eu) - SPAIN

Mod.	Tensión	Línea de Fuga	Tensión Max. Serv. Cont.	Corriente Nom. de Descarga	Tensión Res. Maxima Onda	Impulso de Sobretens.	Tensión de Cresta BIL	Tensión bajo Lluvia 50Hz
HY10W-36	Nominal	Mínima	Uc (kV)	kA	8/20 µs (kV)	4/10 µs (kA)	kV	1min (kV)
Peso Aprox.:(kg)	Ur (kV)	mm						
<b>2,78</b>	<b>36</b>	<b>900</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>170</b>	<b>70</b>

**Principales Características :**

- Recubrimiento continuo de Silicona tipo HTV .
- Marcado en Relieve Indeleble: Marca\_Modelo\_Ur\_Uc\_Impulso 4/10\_Fecha\_Lote.
- Centro de producción certificado ISO9001 – ISO14001

- Silicona de Nivel Hidrófugo Hc2. Repele la acumulación de humedades.
- Suministro del Pararrayos ensamblado en Soporte Aislante de Poliester.
- Trenza de conexión a Tierra (16mm<sup>2</sup> x 500mm) , y Manual de Instrucciones incluidos en embalaje.
- Tornillería y Bidas superiores, (D6-D10), suministrados en Acero Inoxidable.

HY10W-36

nacrec@envertec.eu

<https://envertec.es>

4

## 4.9 FICHA TÉCNICA PARARRAYOS 220KV

### Descargadores de sobretensiones de alto voltaje

Guía para el Comprador



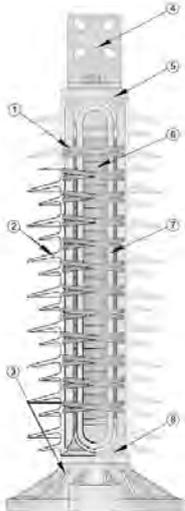
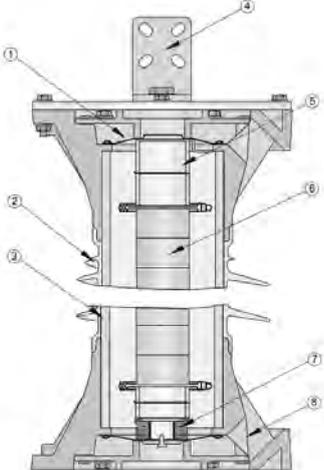
**ABB**

## Características de diseño - Descargadores con revestimiento de polímero PEXLIM

Los descargadores PEXLIM utilizan los mismos bloques de ZnO que los descargadores EXLIM y tienen un rendimiento eléctrico equivalente. La silicona como material aislante se utiliza desde hace más de 30 años con buenos resultados, y ABB ha decidido utilizarlo también para los descargadores. Proporciona ventajas añadidas como un peso bajo, mejores características de contaminación, mayor seguridad del personal y flexibilidad de instalación.

### Dos diseños básicos

La familia PEXLIM de descargadores con revestimiento de silicona ABB viene en dos diseños diferentes:

Diseño PEXLIM moldeado	Diseño del tubo PEXLIM de alta resistencia (HS)																																
																																	
<table border="1"> <tr><td>1</td><td>Devanado protector</td></tr> <tr><td>2</td><td>Aislador de caucho de silicona</td></tr> <tr><td>3</td><td>Base</td></tr> <tr><td>4</td><td>Terminal de línea</td></tr> <tr><td>5</td><td>Horquilla superior</td></tr> <tr><td>6</td><td>Bloques de ZnO</td></tr> <tr><td>7</td><td>Aro de fibra de vidrio</td></tr> <tr><td>8</td><td>Horquilla inferior</td></tr> </table>	1	Devanado protector	2	Aislador de caucho de silicona	3	Base	4	Terminal de línea	5	Horquilla superior	6	Bloques de ZnO	7	Aro de fibra de vidrio	8	Horquilla inferior	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>Tapa sellante</td></tr> <tr><td>2</td><td>Aislador de caucho de silicona</td></tr> <tr><td>3</td><td>Tubo de fibra de vidrio</td></tr> <tr><td>4</td><td>Terminal de línea</td></tr> <tr><td>5</td><td>Distanciadores</td></tr> <tr><td>6</td><td>Bloques de ZnO</td></tr> <tr><td>7</td><td>Resorte</td></tr> <tr><td>8</td><td>Conducto de escape</td></tr> </table>	1	Tapa sellante	2	Aislador de caucho de silicona	3	Tubo de fibra de vidrio	4	Terminal de línea	5	Distanciadores	6	Bloques de ZnO	7	Resorte	8	Conducto de escape
1	Devanado protector																																
2	Aislador de caucho de silicona																																
3	Base																																
4	Terminal de línea																																
5	Horquilla superior																																
6	Bloques de ZnO																																
7	Aro de fibra de vidrio																																
8	Horquilla inferior																																
1	Tapa sellante																																
2	Aislador de caucho de silicona																																
3	Tubo de fibra de vidrio																																
4	Terminal de línea																																
5	Distanciadores																																
6	Bloques de ZnO																																
7	Resorte																																
8	Conducto de escape																																

Descargadores de sobretensiones para líneas de transmisión

### Características de PEXLINK

**Componentes estándar**

La suspensión de los descargadores es sencilla y las abrazaderas estándar y equipos similares normalmente disponibles pueden utilizarse para este propósito. Esto se traduce en una economía global para el usuario.

Tipo de descargador	Clase de línea de descarga según la norma IEC 60099-4	Capacidad de energía (2 impulsos) kJ/kV ( $U_r$ ) <sup>1)</sup>
PEXLIM R	Clase 2	5,1 kJ/kV ( $U_r$ )
PEXLIM Q	Clase 3	7,8 kJ/kV ( $U_r$ )
PEXLIM P	Clase 4	12,0 kJ/kV ( $U_r$ )

<sup>1)</sup>  $U_r$  = Tensión nominal

Ver algunos ejemplos en las figuras para "Algunas alternativas de instalación" en la página siguiente.

El dispositivo de desconexión ha sido elegido especialmente para que funcione sólo en caso de avería del descargador. Por lo general, va colocado en el circuito de tierra del descargador pero, según

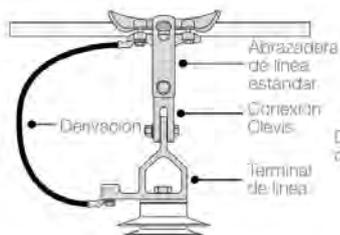
la configuración, se puede colocar en el extremo de alto potencial del descargador. Vea las figuras mencionadas anteriormente.

La separación del desconector es rápida y eficaz, y el método de conexión aconsejado por ABB en cada caso en particular garantiza que ni el cable desconectado ni el descargador averiado provoquen una interferencia con otras piezas energizadas. Por eso, después de una avería, la línea se puede recargar sin necesidad de repararla inmediatamente.

La desconexión es fácilmente visible desde el terreno y, por lo tanto, el personal de mantenimiento puede ubicarla sin problemas.

**Fácil de instalar**

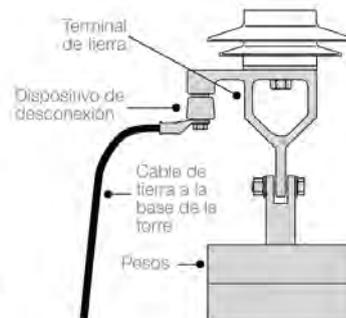
Los descargadores PEXLIM constan de módulos de longitud óptima y, por lo tanto, pueden ser diseñados para el uso con diversas tensiones. Son ligeros y, por lo tanto, fáciles de transportar hasta las torres.



Disposición típica de terminal de línea/abrazadera (y derivación cuando es necesario)



Desconexión del dispositivo conectado al circuito de tierra.



Amortiguación de pesos conectados al terminal de tierra para minimizar el ángulo de giro.

### Datos de protección garantizados

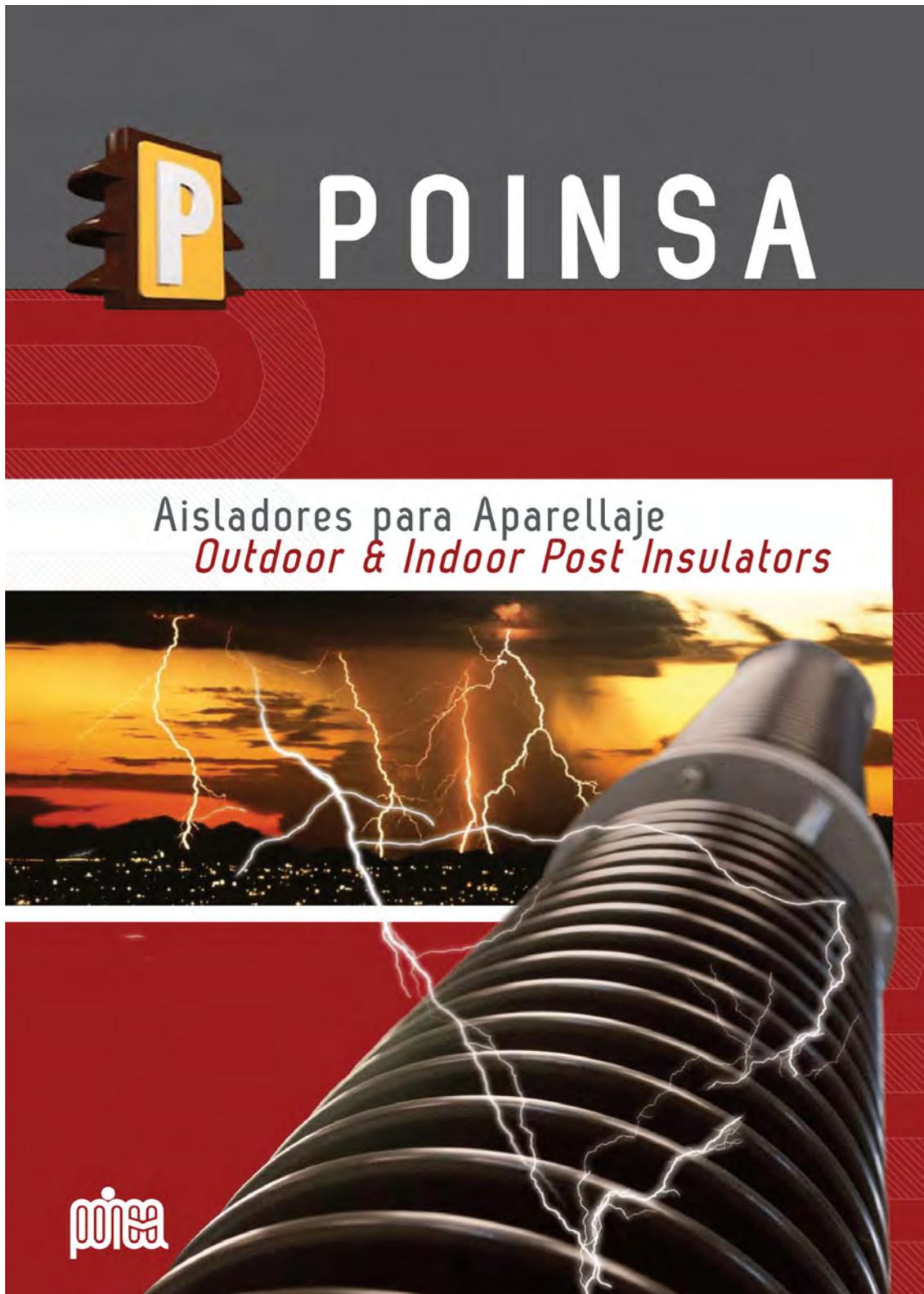
Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente							
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 µs			8/20 µs				
						U <sub>C</sub>	MCOV	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA
U <sub>rn</sub>	U <sub>n</sub>	U <sub>C</sub>	MCOV	1 s	10 s	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 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>1000</sub>	KV <sub>1000</sub>	KV <sub>1000</sub>	KV <sub>1000</sub>	KV <sub>1000</sub>	KV <sub>1000</sub>	KV <sub>1000</sub>	
<b>170</b>	132	106	106	151	145	254	282	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	376	395	435	486	
	192	108	152	220	211	369	381	396	429	452	497	555	
<b>215</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	466	512	573	
	210	156	170	241	231	404	417	433	469	494	543	608	
	216	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>	216	173	175	248	237	415	428	445	483	508	559	625	
	240	191	191	276	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	
	276	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	
	276	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	776	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	

Para información más detallada sobre la capacidad de sobretensiones temporales (TOV) y las características de protección, ver la publicación IHSM 9543 13-01 en.

- 1) Las tensiones de operación continua U<sub>C</sub> (según IEC) y MCOV (según ANSI) sólo se diferencian debido a las desviaciones en los procedimientos de pruebas tipo.  
U<sub>C</sub> sólo debe considerarse cuando la tensión de red real es superior a la indicada.  
Se puede seleccionar cualquier descargador con U<sub>C</sub> superior o igual que la tensión de red real dividida por √3.
- 2) Con servicio anterior igual a la carga energética máxima de impulso simple (4,5 kJ/kV (U<sub>p</sub>)).
- 3) A petición del cliente se pueden suministrar descargadores para tensiones de red de 36 kV o inferiores, cuando el pedido también contiene descargadores para sistemas de alta tensión.

**A petición del cliente se pueden suministrar descargadores con tensiones inferiores o superiores para aplicaciones especiales.**

#### 4.10 FICHA TÉCNICA AISLADORES SOPORTE





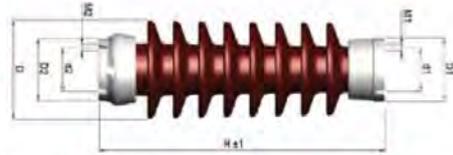
Aisladores para Aparellaje  
Outdoor & Indoor Post Insulators

**4.1.1 AISLADORES DE SOPORTE EXTERIOR CON HERRAJES EXTERNOS**  
**OUTDOOR POST INSULATORS WITH EXTERNAL METAL PARTS**  
**TENSIÓN NOMINAL MÁXIMA DE 28 A 36kV**  
**MAXIMUM NOMINAL VOLTAGE 28 TO 36 kV**

Según CEI 60273. According to IEC 60273.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Vidriado color marrón o gris / <i>Brown or grey glazed</i>
Herrajes: Fundición maleable galvanizada en caliente. / <i>Fittings: Cast iron hot dip galvanized.</i>
Montaje: Hasta 80 °C - cemento Sulfuroso / <i>Cementing: Up to 80 °C Sulphur cement</i> Montaje: Hasta 150 °C - cemento Portland / <i>Cementing: Up to 150 °C Portland cement</i>
Ensayos según CEI 60168 / <i>Tests according to IEC 60168</i>



**DESIGNACION / REFERENCE**

	C4-150	C6-150	C8-150	C10-150	C4-170	C6-170	C8-170	C10-170
Línea de fuga mínima según nivel de polución CEI 60815 (mm.) <i>Minimum creepage distance according to pollution level IEC 60815 (mm.)</i>	I 512	512	512	512	576	576	576	576
	II 640	640	640	640	720	720	720	720
	III 800	800	800	800	900	900	900	900
	IV 992	992	992	992	1116	1116	1116	1116

**DIMENSIONES / DIMENSIONS**

Altura del aislador montado <i>Height of the post insulator once assembled</i>	H mm	355	355	355	355	445	445	445	445
Diámetro máximo parte aislante <i>Maximum diameter of insulating part</i>	D mm	195	195	195	235	205	205	209	245
Diámetro cara de apoyo del herraje <i>Maximal cap diameter</i>	D1 mm	108	108	108	108	108	108	108	108
Diámetro cara de apoyo del herraje <i>Maximal cap diameter</i>	D2 mm	108	108	108	108	108	108	108	108
Diámetro del círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d1 mm	76	76	76	76	76	76	76	76
Diámetro del círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d2 mm	76	76	76	76	76	76	76	76
Diámetro de la rosca <i>Tapped bole</i>	M1 mm	M12							
Diámetro de la rosca <i>Tapped bole</i>	M2 mm	M12							

**DATOS ELECTRICOS / ELECTRICAL VALUES**

Tensión nominal / máxima <i>Nominal voltage / maximum voltage</i>	- kV	28-32	28-32	28-32	28-32	30-36	30-36	30-36	30-36
Tensión soportada al choque <i>Lightning impulse withstand voltage</i>	- kV	150	150	150	150	170	170	170	170
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz <i>Power frequency withstand voltage, wet 50Hz</i>	- kV	50	50	50	50	70	70	70	70

**DATOS MECÁNICOS / MECHANICAL VALUES**

Mínima carga de rotura a Flexión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	4000	6000	8000	10000	4000	6000	8000	10000
Mínima carga de rotura a la Torsión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	1000	1200	1500	1800	1200	1500	2000	2500

Consulte con nuestro Departamento Comercial / *Check with our Sales Department*



# **DOCUMENTO 2: PLANOS**

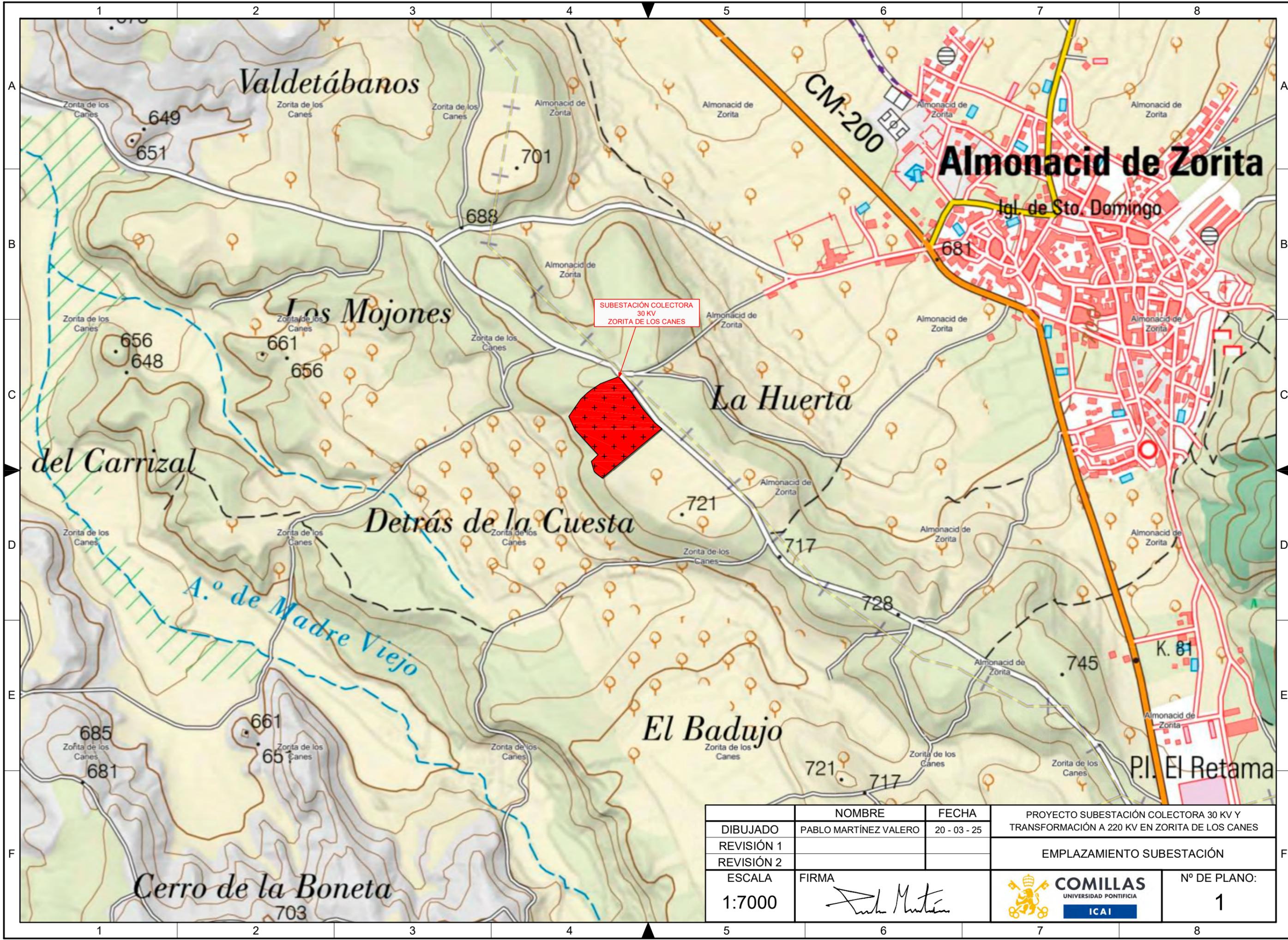
## Índice

<i>CAPÍTULO 1: LISTA DE PLANOS</i> .....	<i>116</i>
<i>CAPÍTULO 2: PLANOS</i> .....	<i>118</i>

# CAPÍTULO 1: LISTA DE PLANOS

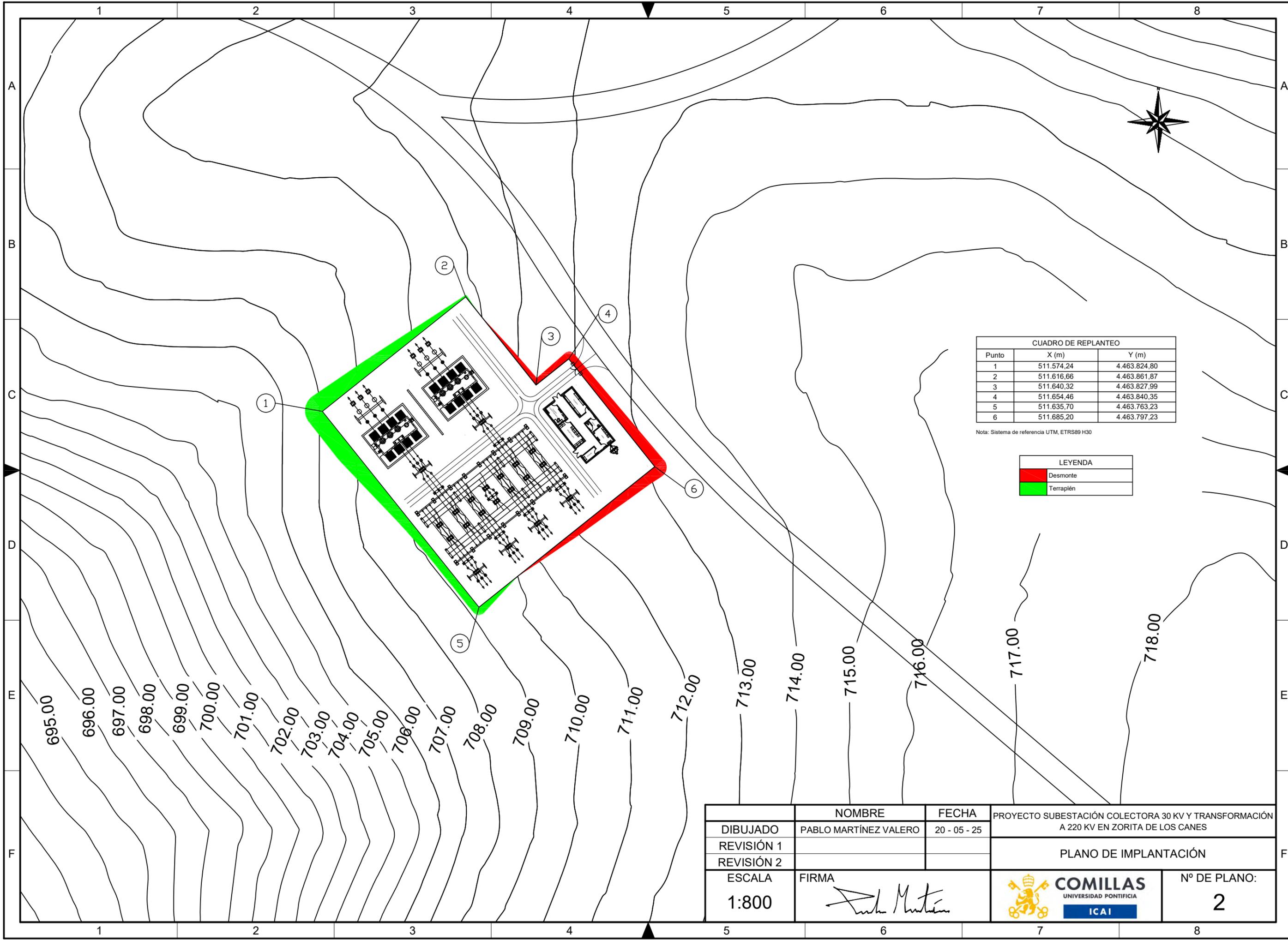
1. Emplazamiento subestación
2. Plano de implantación
3. Esquema unifilar simplificado
4. Planta general
5. Red de tierras
6. Alzado posición de generación
7. Alzado posición de transformación
8. Planta edificio de control

# CAPÍTULO 2: PLANOS



SUBESTACIÓN COLECTORA  
30 KV  
ZORITA DE LOS CANES

	NOMBRE	FECHA	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 03 - 25	
REVISIÓN 1			EMPLAZAMIENTO SUBESTACIÓN
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		 <b>COMILLAS</b> UNIVERSIDAD PONTIFICIA ICAI
1:7000			



CUADRO DE REPLANTEO		
Punto	X (m)	Y (m)
1	511.574,24	4.463.824,80
2	511.616,66	4.463.861,87
3	511.640,32	4.463.827,99
4	511.654,46	4.463.840,35
5	511.635,70	4.463.763,23
6	511.685,20	4.463.797,23

Nota: Sistema de referencia UTM, ETRS89 H30

LEYENDA	
<span style="color: red;">■</span>	Desmonte
<span style="color: green;">■</span>	Terraplén

	NOMBRE	FECHA	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 05 - 25	
REVISIÓN 1			PLANO DE IMPLANTACIÓN
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		
1:800			
			Nº DE PLANO: <b>2</b>

1

2

3

4

5

6

7

8

A

B

C

D

E

F

A

B

C

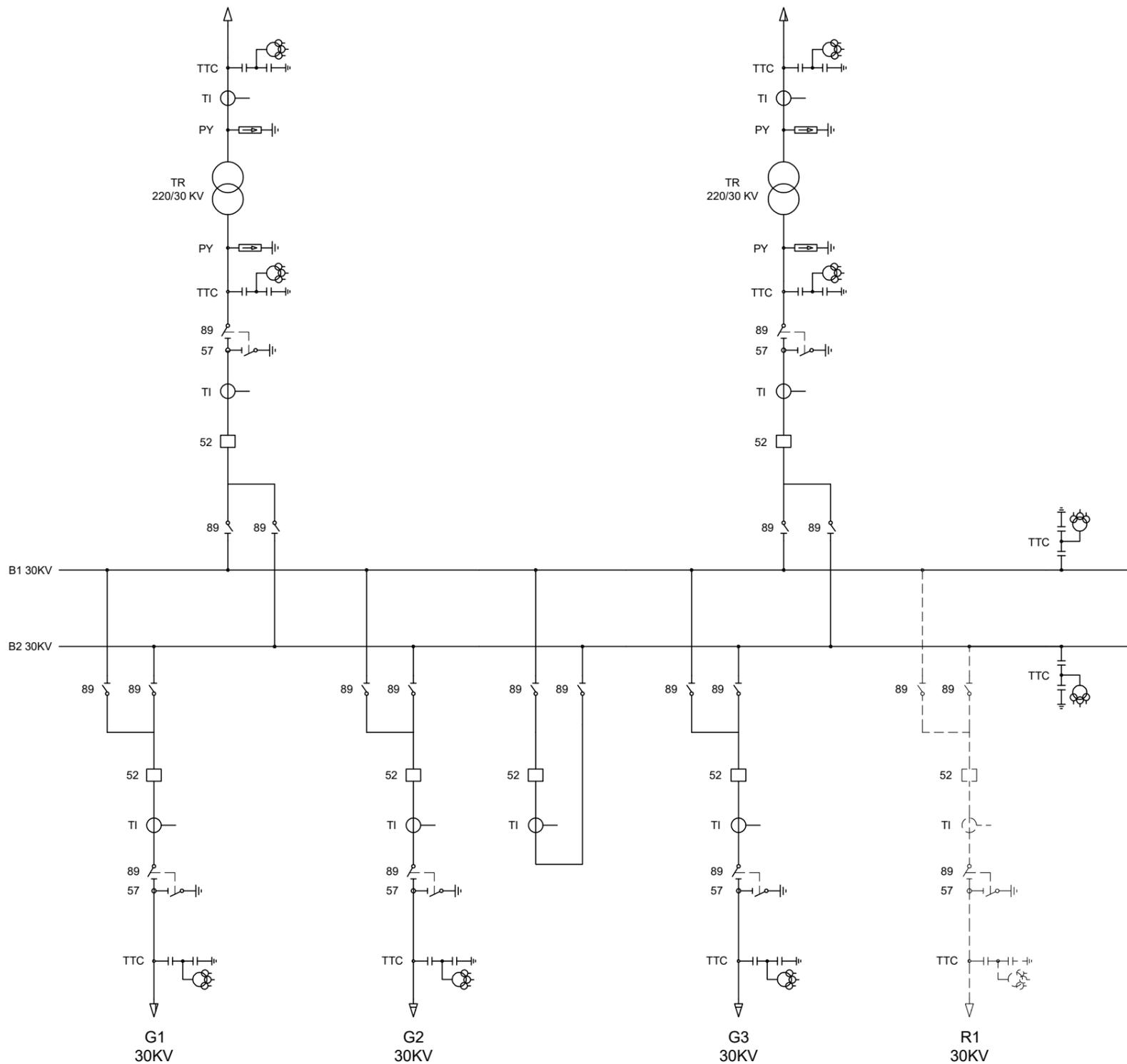
D

E

F

SEC JOSÉ CABRERA 220 KV

SE C.N. JOSÉ CABRERA 220 KV



	NOMBRE	FECHA	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 03 - 25	
REVISIÓN 1			ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		
S/E	<i>Pablo Martínez Valero</i>		
			Nº DE PLANO: 3

1

2

3

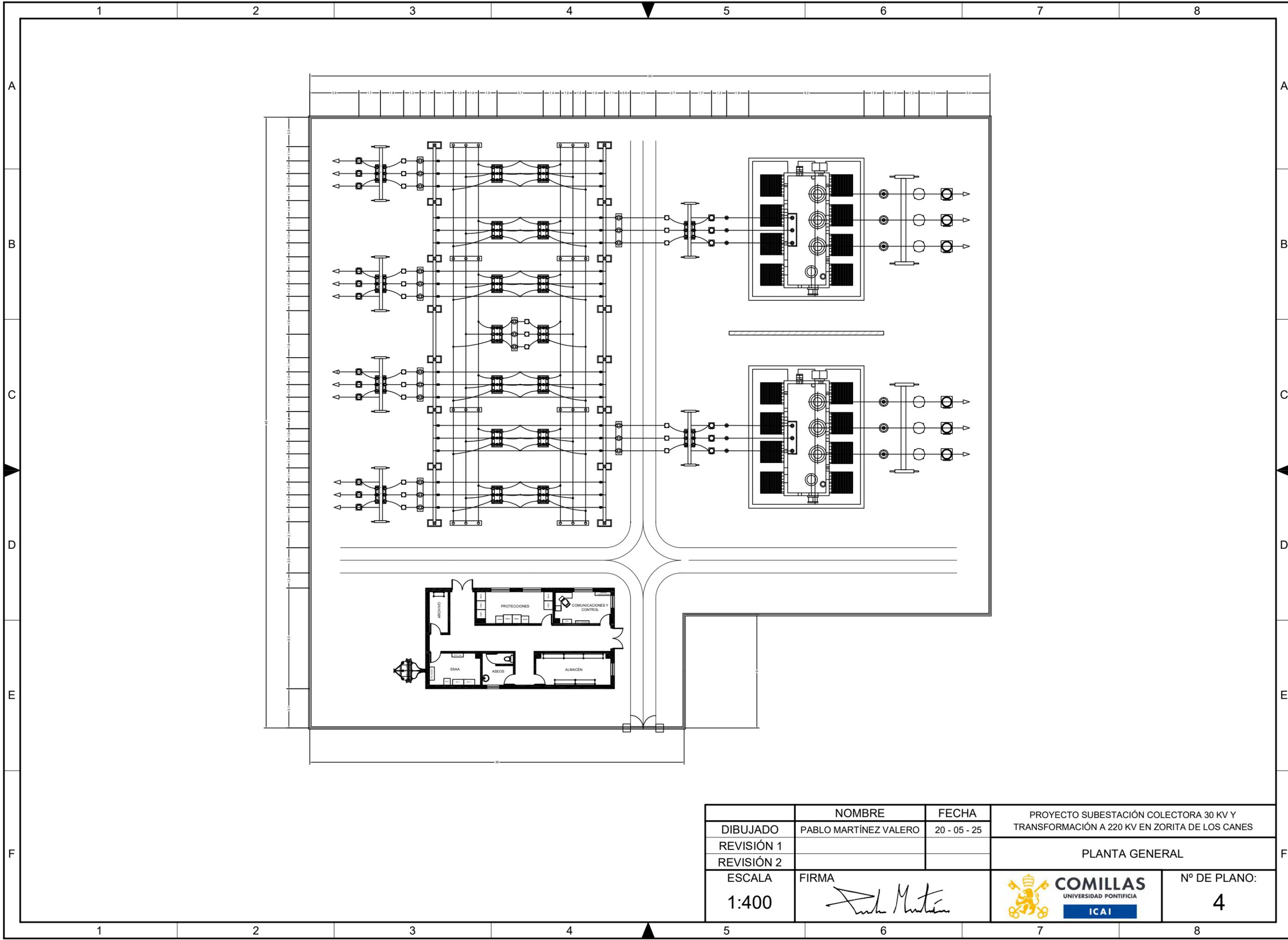
4

5

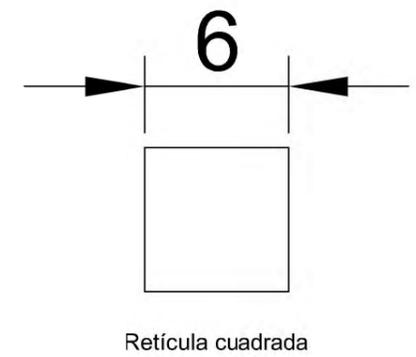
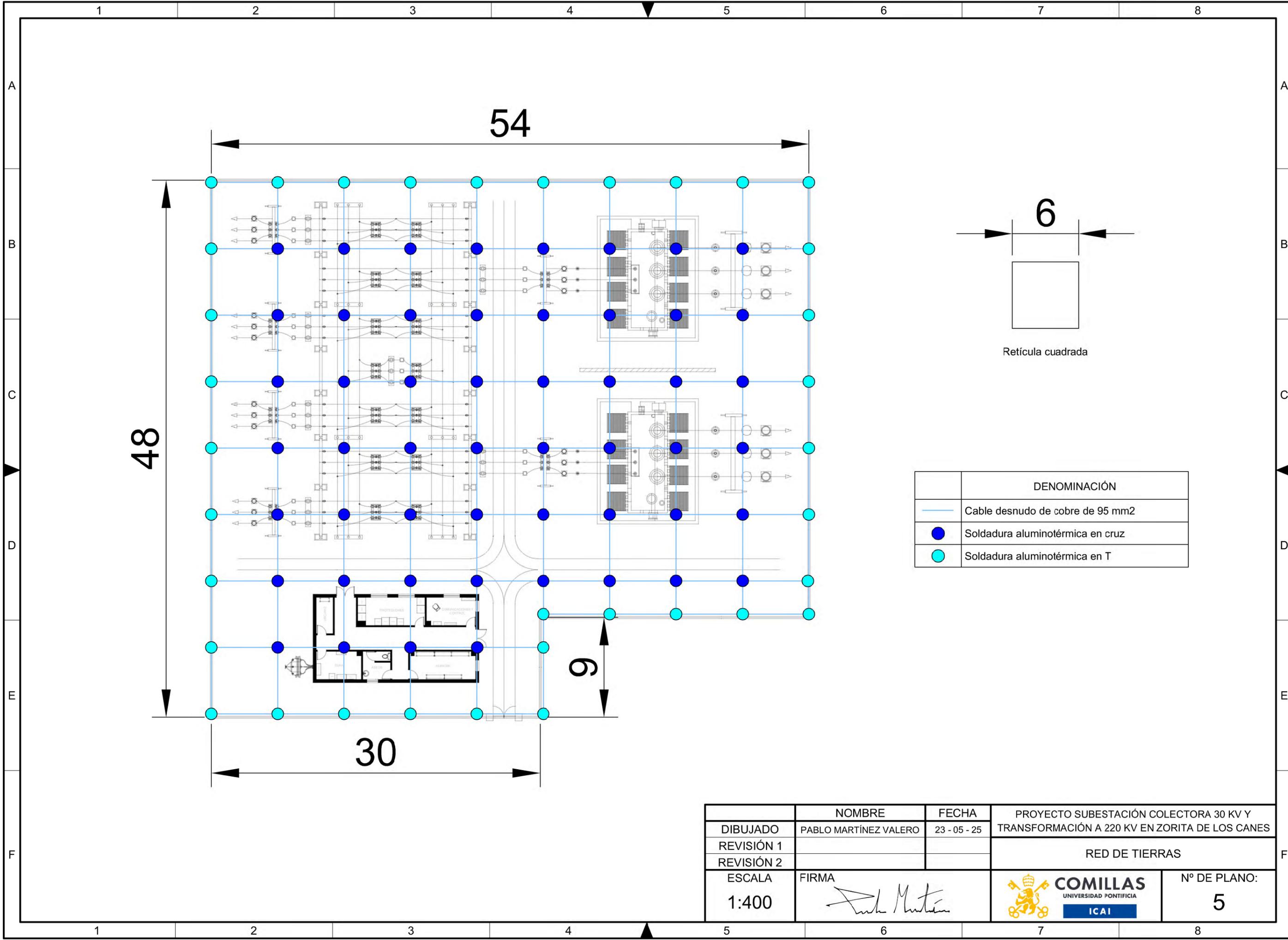
6

7

8

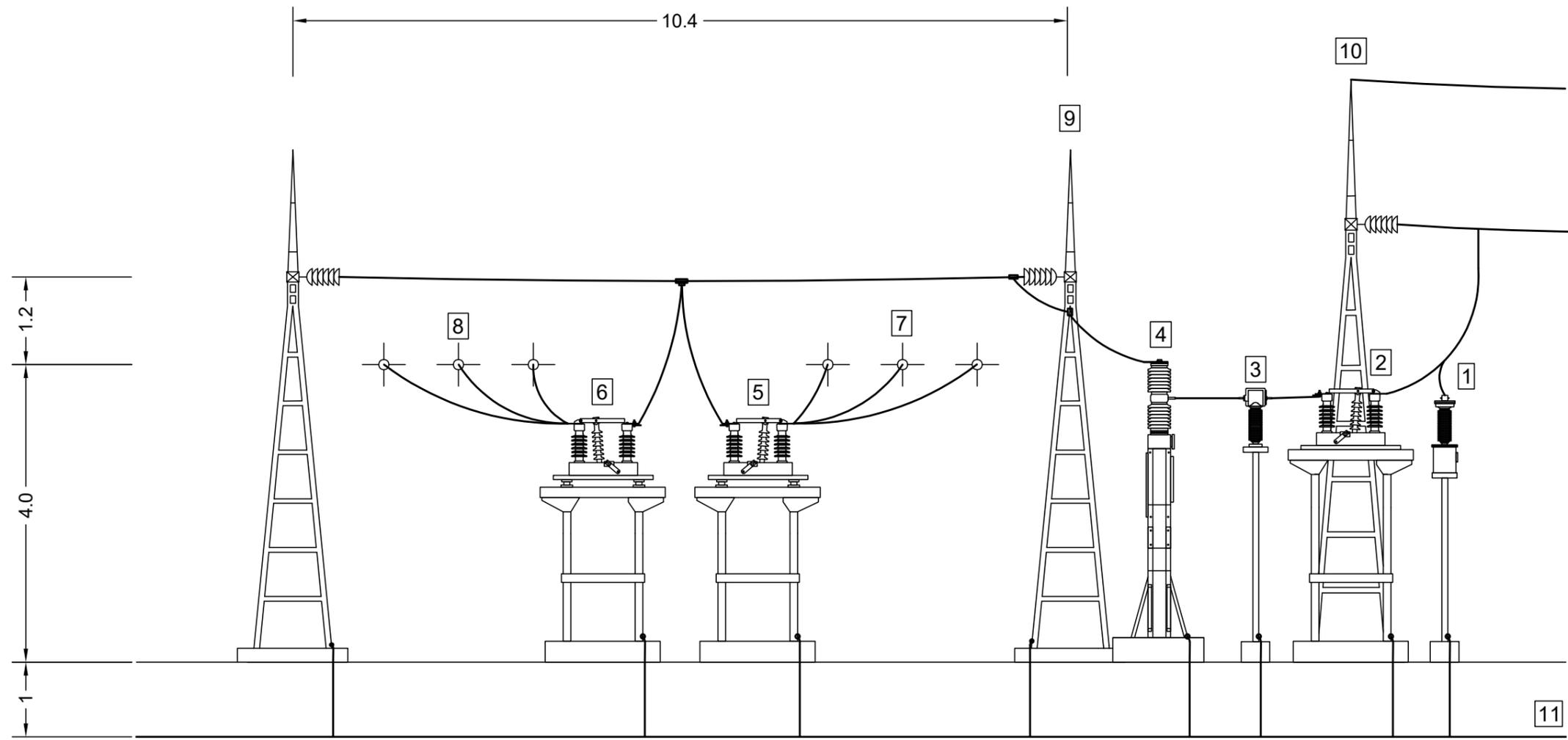


	<b>NOMBRE</b>	<b>FECHA</b>	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 05 - 25	PLANTA GENERAL
REVISIÓN 1			
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		Nº DE PLANO:
1:400	<i>Pablo Martínez</i>		4
			



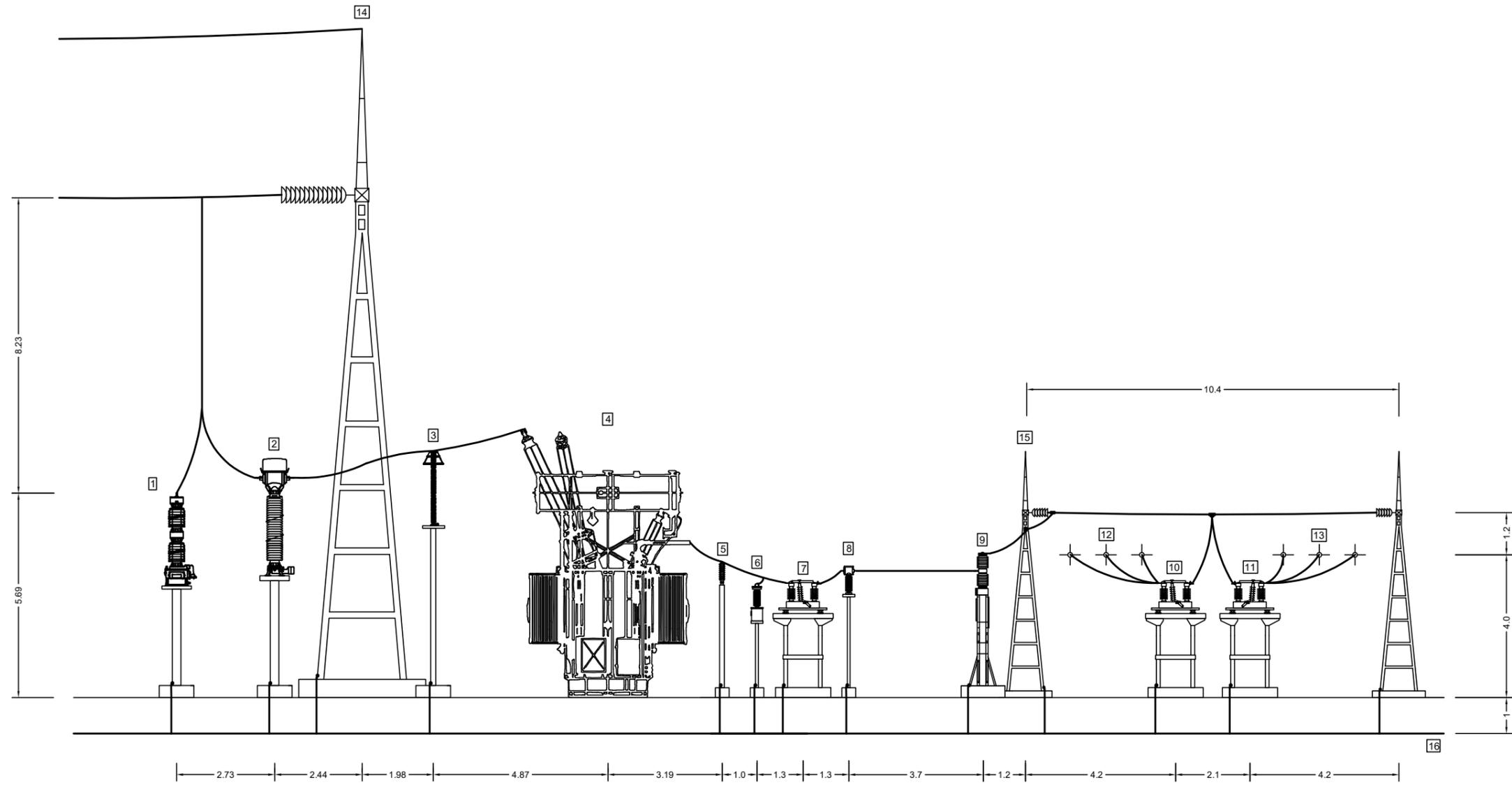
	DENOMINACIÓN
—	Cable desnudo de cobre de 95 mm <sup>2</sup>
●	Soldadura aluminotérmica en cruz
●	Soldadura aluminotérmica en T

	NOMBRE	FECHA	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	23 - 05 - 25	RED DE TIERRAS
REVISIÓN 1			
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		Nº DE PLANO:
1:400	<i>Pablo Martínez</i>		5



Número	Descripción
1	Transformador de tensión
2	Seccionador de línea
3	Transformador de intensidad
4	Interruptor de potencia
5	Seccionador de barras 2
6	Seccionador de barras 1
7	Embarrado principal 2
8	Embarrado principal 1
9	Apoyo de embarrado transversal
10	Pórtico salida de línea
11	Malla de puesta a tierra

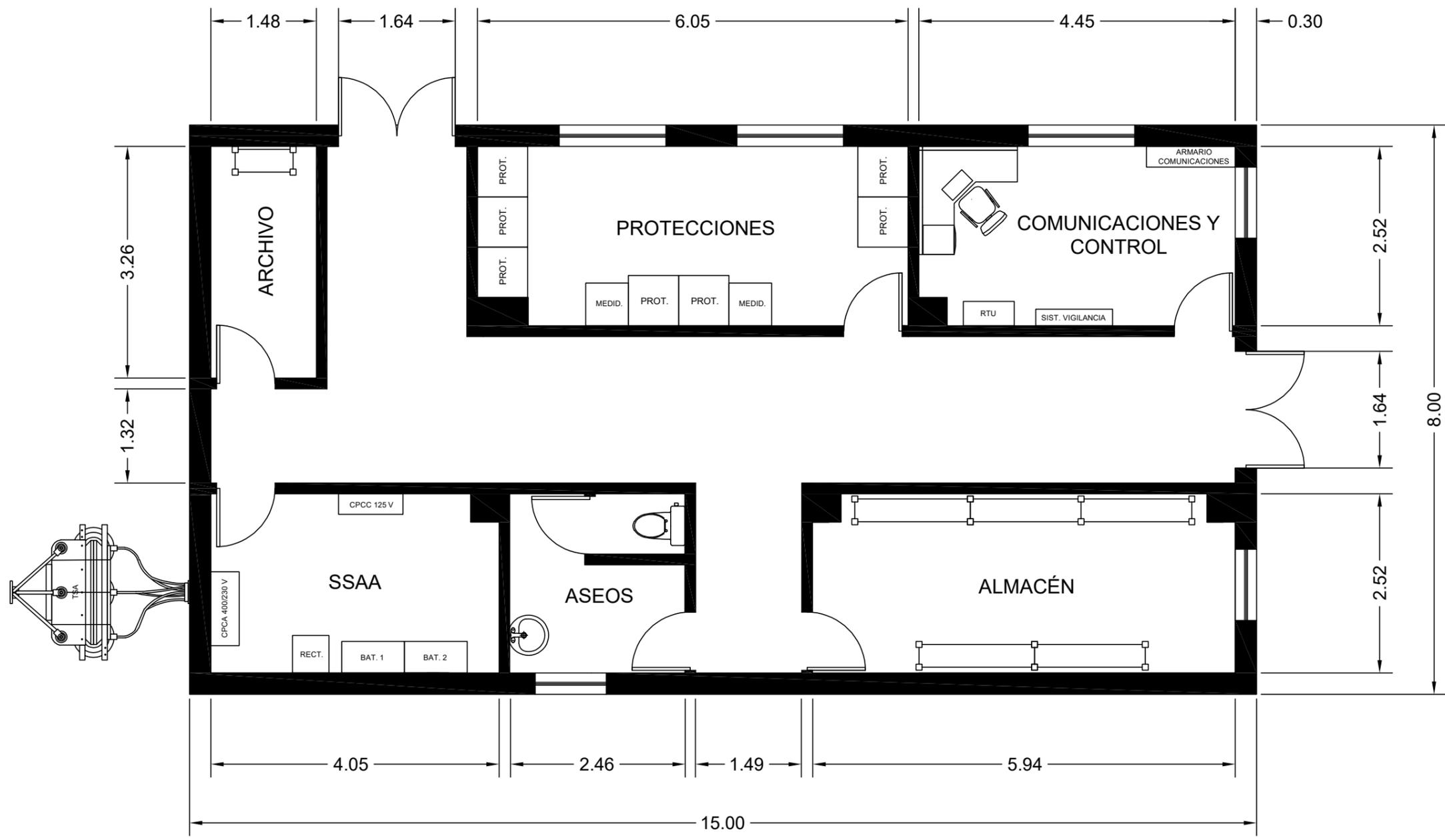
	NOMBRE	FECHA	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 05 - 25	ALZADO POSICIÓN DE GENERACIÓN
REVISIÓN 1			
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		
1:100	<i>Pablo Martínez</i>		



220 kV	
Número	Descripción
1	Transformador de tensión
2	Transformador de corriente
3	Autoválvula
4	Transformador de potencia

30 kV	
Número	Descripción
5	Autoválvula
6	Transformador de tensión
7	Seccionador de línea
8	Transformador de intensidad
9	Interruptor de potencia
10	Seccionador de barras 1
11	Seccionador de barras 2
12	Embarrado principal 1
13	Embarrado principal 2
14	Pórtico salida de línea
15	Apoyo de embarrado transversal
16	Malla de puesta a tierra

	<b>NOMBRE</b>	<b>FECHA</b>	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 05 - 25	ALZADO POSICIÓN DE TRANSFORMACIÓN
REVISIÓN 1			
REVISIÓN 2			
ESCALA	FIRMA		
1:150			
			Nº DE PLANO: <b>7</b>



	<b>NOMBRE</b>	<b>FECHA</b>	PROYECTO SUBESTACIÓN COLECTORA 30 KV Y TRANSFORMACIÓN A 220 KV EN ZORITA DE LOS CANES	
DIBUJADO	PABLO MARTÍNEZ VALERO	20 - 05 - 25	PLANTA EDIFICIO DE CONTROL	
REVISIÓN 1				
REVISIÓN 2				
ESCALA	FIRMA			Nº DE PLANO: <b>8</b>
1:50				

**DOCUMENTO 3: PLIEGO DE  
CONDICIONES**

## Índice

<b><i>CAPÍTULO 1: GENERALES Y ECONÓMICAS</i></b> .....	<b>130</b>
1.1 Objeto.....	131
1.2 Normativa aplicable .....	131
1.2.1 Equipamiento y montaje .....	132
1.2.2 Obra civil.....	133
1.2.2.1 Estructuras.....	133
1.2.2.2 Instalaciones.....	134
1.2.2.3 Protección.....	135
1.2.2.4 Varios.....	136
1.3 Gestión de calidad .....	137
1.4 Gestión medioambiental.....	137
1.5 Seguridad en el trabajo.....	138
1.6 Verificación y validación .....	138
1.7 Estudio de seguridad y salud.....	138
1.7.1 Memoria.....	138
1.7.1.1 Objeto del estudio .....	138
1.7.2 Características de la obra .....	139
1.7.2.1 Situación y descripción de la obra .....	139
1.7.2.2 Control de accesos .....	140
1.7.2.3 Trabajos previos, interferencias y servicios afectados .....	140
1.7.2.4 Unidades constructivas que componen la obra.....	141
1.7.2.5 Identificación de riesgos.....	143
1.7.2.6 Organización de la Seguridad .....	145
1.7.2.7 Disposiciones de emergencia .....	148
1.7.3 Pliego de condiciones.....	151
1.7.3.1 Normativa legal de aplicación.....	151
<b><i>CAPÍTULO 2: TÉCNICAS Y PARTICULARES</i></b> .....	<b>153</b>
2.1 Ámbito de aplicación .....	154
2.2 Requisitos de carácter general.....	154
2.2.1 Condicionados de los Organismos de la Administración.....	154
2.2.2 Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible.....	154
2.2.3 Cambios de aceites y grasas .....	155

2.2.4 Campamento de obra .....	155
2.2.5 Gestión de residuos .....	155
2.2.6 Incidentes con consecuencias ambientales .....	156
2.3 Requisitos específicos para los movimientos de tierras .....	156
2.3.1 Zonificación de los trabajos .....	156
2.3.2 Accesos .....	156
2.3.3 Retirada de la cubierta vegetal .....	157
2.3.4 Patrimonio cultural .....	157
2.3.5 Movimientos de tierra para la explanación .....	157
2.4 Requisitos específicos para la obra civil .....	158
2.5 Requisitos específicos para el montaje electromecánico .....	158
2.5.1 Llenado de equipos con aceite .....	158
2.5.2 Llenado de equipos con SF6 .....	159
2.6 Acondicionamiento final de la obra .....	159

# CAPÍTULO 1: GENERALES Y ECONÓMICAS

## **1.1 OBJETO**

El objetivo del presente pliego de condiciones es establecer las directrices necesarias para fijar los materiales y equipos necesarios, así como su correcto montaje. Para ello, se han considerado las siguientes cuestiones:

1. Normativa: Tanto los equipos como su montaje estará de acuerdo a la normativa vigente.
2. Gestión de calidad: El plan de calidad contiene las características técnicas de los equipos y su montaje. La calidad de la instalación construida estará asegurada por la familia de normas ISO 9000.
3. Gestión medioambiental: Tiene por objeto minimizar los impactos sobre el medio ambiente que puedan causar la construcción y el funcionamiento.
4. Seguridad laboral: Tanto el montaje como los equipos deberán cumplir las medidas de seguridad requeridas.

## **1.2 NORMATIVA APLICABLE**

Lo dispuesto en el presente proyecto se encuentra conforme a la siguiente normativa y reglamentación general:

- Normativa de Red Electrica (DYES, Procedimientos Técnicos y Procedimientos de Dirección)
- Normativa Europea EN
- Normativa CENELEC
- Normativa CEI
- Normativa UNE
- Otras normas y recomendaciones (IEEE, MF, ACI, CIGRE, ANSI, AISC, etc).

En los siguientes apartados se detalla la normativa concreta aplicada en cada uno de los aspectos del proyecto.

### 1.2.1 Equipamiento y montaje

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.

Del “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT” se han considerado particularmente las siguientes instrucciones:

- ITC-RAT-09 PROTECCIONES
- ITC-RAT-12 AISLAMIENTO
- ITC-RAT-13 INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA
- ITC-RAT-15 INSTALACIONES ELECTRICAS DE EXTERIOR

Por otro lado:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. "REBT". DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología B.O.E.: 18-SEPT-2002, e Instrucciones Técnicas Complementarias y sus modificaciones posteriores.
- Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.
- Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D. 1215/97 de 18 de Julio sobre EQUIPOS DE TRABAJO.
- R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación manual de cargas.
- R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ley 32/2006 de 18 de Octubre Reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.

- Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.
- Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. REAL DECRETO 1942/1993, de 5-NOV, del Ministerio de Ind. y Energía B.O.E.: 14-DIC-93, y sus correcciones posteriores. Normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo ORDEN, de 16-ABR, del Ministerio de Industria y Energía B.O.E.: 28-ABR-98
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. REAL DECRETO 786/2001, de 6-JUL, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, B.O.E.: 30-JUL-01, y sus correcciones posteriores.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) R.D. 314/2006 de 17 de marzo del Ministerio de la Vivienda. B.O.E.: 28 de marzo de 2006.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos, como en lo relativo a mediciones.
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

En caso de discrepancia entre alguna de las normas expuestas, se seguirá siempre el criterio más restrictivo.

## 1.2.2 Obra civil

### ***1.2.2.1 Estructuras***

#### Acciones en la edificación:

- Documento Básico de Seguridad Estructural SE-AE “Acciones en la Edificación” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.
- Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación (NCSR-02). REAL DECRETO 997/2002, de 27-Septiembre, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 11-OCT-02.

Acero:

- Documento Básico de Seguridad Estructural SE-A “Acero” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Fábrica de ladrillo:

- Documento Básico de Seguridad Estructural SE-F “Fábrica” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Hormigón:

- Instrucción de Hormigón Estructural "EHE-08". REAL DECRETO 1247/2008 de 18 de julio, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 22-AGO-08.

Forjados:

- Actualización de las fichas de autorización de uso de sistemas de forjados RESOLUCIÓN de 30-ENE-97, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 6-MAR-97.
- Real Decreto 1247/2008 de 5 de julio, por el que se aprueba la " Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)".

**1.2.2.2 Instalaciones**Calefacción, Climatización y Agua caliente sanitaria:

- Documento Básico de Salubridad HS “Salubridad” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para Instalaciones Térmicas de los Edificios. Real Decreto 1027/2007.

- Real Decreto 140/03 de 7 de febrero sobre Criterios Sanitarios de la Calidad del Agua de consumo humano. B.O.E.: 21 de febrero de 2003.

#### Electricidad:

- Reglamento electrotécnico para baja tensión “REBT” e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT01 a BT51.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2-AGOSTO, del Ministerio de Industria y Energía B.O.E.: 18-SEPT-2002.
- Autorización para el empleo de sistemas de instalaciones con conductores aislados bajo canales de cables protectores de material plástico. RESOLUCIÓN de 18-ENE-88, de la Dirección General de Innovación Industrial. B.O.E.: 19-FEB-88.

#### Instalaciones de Protección Contra Incendios:

- Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios. Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E.: 14 de diciembre de 1993. Corrección de errores: 7 de mayo de 1994.
- Normas de Procedimiento y Desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios y se revisa el anexo I y los Apéndices del mismo. Orden de 16 de abril de 1998, del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E.: 28 de abril de 1998.
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. REAL DECRETO 786/2001, de 6-JUL, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, B.O.E.: 30-JUL-01, y sus correcciones posteriores.
- Documento Básico SI “Seguridad en caso de Incendio” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

#### ***1.2.2.3 Protección***

##### Aislamiento Acústico:

- Documento Básico HR “Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación.

- REAL DECRETO 1371/2007 de 19-October, del Ministerio de la Vivienda.

#### Aislamiento Térmico:

- Documento Básico HE “Ahorro de energía” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

#### Protección Contra Incendios:

- Documento Básico SI “Seguridad en caso de incendio” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

#### **1.2.2.4 Varios**

- Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.
- Normas tecnológicas de la edificación. DECRETO del ministerio de la vivienda nº 3655/72, de 23-DIC B.O.E. 15-ENE-73.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.
- Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.
- Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.
- Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D. 1215/97 de 18 de Julio sobre EQUIPOS DE TRABAJO.
- R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación manual de cargas.

- R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ley 32/2006 de 18 de Octubre Reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.
- Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos, como en lo relativo a mediciones.
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

En caso de discrepancia entre alguna de las normas expuestas, se seguirá siempre el criterio más restrictivo.

### **1.3 GESTIÓN DE CALIDAD**

Afecta a los procesos: ingeniería, construcción, calificación de proveedores, compras, transferencia de instalaciones y gestión de proyectos y también a los recursos: cualificación de las personas, equipos de inspección, medida y ensayo y homologación de equipos. Sistema de calidad certificado que cumple con la normativa ISO 9000.

### **1.4 GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL**

La ejecución del proyecto se realizará conforme a un plan de gestión medioambiental que garantice el control de los posibles impactos ambientales generados durante la fase de construcción o de explotación de la subestación. Se adoptarán medidas encaminadas a un uso eficiente de los recursos, la protección del suelo y de las aguas.

Se seguirá toda la normativa ambiental vigente, además de obtener todas las autorizaciones necesarias con el objetivo de asegurar la sostenibilidad y la integración de la subestación en el entorno.

## **1.5 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.

## **1.6 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN**

De acuerdo con los sistemas de gestión certificados, se garantiza el correcto montaje verificado y validando la instalación y equipos mediante:

### Pruebas en vacío:

Una vez finalizados los trabajos de obra civil y montaje electromecánico se procederá a la realización de las Pruebas en Vacío de la Instalación de acuerdo con las instrucciones técnicas correspondientes recogida en la normativa interna.

### Pruebas en tensión:

Las Pruebas en Tensión tendrán por objeto comprobar la adecuación al uso de la instalación conforme a los criterios funcionales establecidos en el Proyecto.

Los protocolos de las pruebas a realizar, así como los criterios para su ejecución serán redactados conforme a lo especificado en la documentación técnica aplicable.

## **1.7 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

### 1.7.1 Memoria

#### ***1.7.1.1 Objeto del estudio***

Este Estudio de Seguridad y Salud establece las medidas de Seguridad que deben adoptarse en los trabajos de explanación, obra civil y montaje electromecánico a realizar en la nueva

Subestación de Zorita de los Canes. Facilitando la aplicación que la Dirección Facultativa debe realizar de tales medidas, conforme establece el R.D. 1627/97 por el que se establecen disposiciones mínimas de Seguridad en las Obras de Construcción.

El presente Estudio de Seguridad y Salud Laboral tiene carácter obligatorio y contractual para todas las empresas que participan en el desarrollo de la Obra.

Este Estudio se incluye como anexo a todos los contratos firmados entre Red Eléctrica de España, S. A. y las Empresas Contratistas que intervengan en la Obra.

La Empresa Contratista quedará obligada a elaborar un Plan de Seguridad y Salud en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen, en función de su propio sistema de ejecución de la Obra, las previsiones contenidas en este Estudio.

RED ELÉCTRICA se reserva el derecho de la interpretación última del Plan de Seguridad que se apruebe.

## 1.7.2 Características de la obra

### ***1.7.2.1 Situación y descripción de la obra***

La Subestación de Zorita de los Canes está situada en la provincia de Guadalajara, aproximadamente a 2 km hacia el sureste del terreno perteneciente a la antigua Central Nuclear José Cabrera.

Las condiciones climáticas y geotécnicas del punto de instalación son:

Altura del terreno	710 m
Tipo de Zona	B
Temperaturas extremas	-4,4°C / 39,9°C
Velocidad máxima del viento	75,96 km/h
Contaminación ambiental	Ligero

Nivel de niebla	Bajo
Pluviometría	Media

La obra consiste en:

La construcción de un parque de intemperie de 30 kV en configuración de doble barra. La subestación tendrá 6 posiciones en total. Dos posiciones serán de transformación a 220 kV, 3 posiciones provendrán de generadores fotovoltaicos y una posición de reserva sin equipar.

Se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Limpieza del terreno y movimiento de tierras.
- Cimentación del terreno e instalación de malla de red de tierra.
- Montaje de estructuras metálicas y aparamenta.
- Construcción del edificio de control.
- Instalación de servicios auxiliares, protecciones, alumbrado, control y mando.
- Instalación del cerramiento perimetral de la parcela.

### ***1.7.2.2 Control de accesos***

La subestación se encuentra ubicada en entorno rural donde el paso de personas ajenas a la obra es altamente improbable. Con el fin de evitar posibles accidentes, se procederá al vallado de la zona lo antes posible.

Se dispondrán las correspondientes señales de advertencia de riesgo debidamente distribuidas a lo largo del perímetro.

### ***1.7.2.3 Trabajos previos, interferencias y servicios afectados***

Los trabajos de Explanación y Movimiento de tierras no estarán interferidos por ningún otro. Los trabajos de obra civil tampoco tendrán interferencia con ningún otro excepto en la fase final de la construcción, donde es posible que coincidan con los trabajos de montaje de la aparamenta.

#### ***1.7.2.4 Unidades constructivas que componen la obra***

##### **Movimiento de tierras:**

Consiste en preparar el terreno a fin de disponerlo en condiciones para ubicar los elementos componentes de la subestación.

Previo al movimiento de tierras se procederá al limpiado y desbroce de la parcela para eliminar vegetación y posibles residuos que dificulten los trabajos posteriores.

Abarcará la plataforma donde estará ubicada la aparamenta, la zona del edificio de control y la zona correspondiente a los accesos. Se emplearán retroexcavadoras hidráulicas y martillos rompedores para llevarlo a cabo.

##### Acopio:

Los materiales y equipos a instalar, provenientes de los suministradores se descargarán con medios mecánicos.

Se almacenarán en la campa situada en la propia subestación, en ubicación estable, apartado de las posiciones en construcción y donde no interfiera en el desarrollo posterior de los trabajos.

##### Drenajes y saneamientos:

La red de drenajes cubrirá todo el parque para evitar posibles inundaciones. Se realizará con tubo drenante en distribución que no produzca un efluente masivo. La zanja principal alcanzará en su punto más bajo una profundidad que se estima en 1,5 m.

La cimentación se inclinará muy levemente para dirigir el agua hacia las entradas pertinentes.

##### **Obra civil:**

Consiste en la construcción del edificio de control, las cimentaciones, los viales y zonas de maniobra y la realización de las canalizaciones para cables y drenajes.

Se dispondrá de una campa de almacenaje de materiales de construcción en zona que no interfiera a los restantes trabajos y a las vías de circulación de vehículos. La preparación de armaduras de encofrados se ubicará fuera las zonas de paso.

### **Montaje de estructuras y equipos:**

Se instalarán todas las estructuras necesarias para soportar los equipos de la subestación. Esto incluye los apoyos de los embarrados primarios, secundarios y tendidos además de los apoyos metálicos para soportar aparamenta.

Se planificarán las actividades de montaje de forma que no interfieran entre sí y especialmente se cuidará que no afecten a las de Obra Civil que aún persistan.

Las estructuras metálicas y soportes de la aparamenta se construirán con perfiles normalizados de alma llena.

### Trabajos de cableado y trabajos en b.t:

El tendido de cables de fuerza y control desde los equipos del parque al edificio de control se realizará manualmente siguiendo el trazado marcado por los canales.

El montaje de los equipos de Control, Protecciones, Comunicaciones y Medidas se realizará simultáneamente a los trabajos de cableado.

### Puesta en servicio:

Se prevé que la puesta en servicio se realice por fases terminadas conectando eléctricamente la nueva instalación a la red eléctrica.

Las calles y equipos puestos en servicio se delimitarán y se aislarán, de forma que permitan la ejecución de las posteriores fases de trabajo.

### 1.7.2.5 Identificación de riesgos

Las empresas adjudicatarias de las obras han de considerar que la evaluación de los riesgos asociados a cada una de las actividades de construcción de la subestación supone el análisis previo de:

- Las condiciones generales del trabajo, a las máquinas y equipos que se manejen, a las instalaciones próximas existentes y a los agentes físicos, químicos y biológicos que puedan existir.
- Las características de organización y control del trabajo que cada empresa tiene establecidas, lo que influye en la magnitud de los riesgos.
- La inadecuación de los puestos de trabajo a las características de los trabajadores especialmente sensibles a ciertos riesgos.

Por ello las empresas contratistas adjudicatarias de los trabajos deben disponer de una Evaluación de Riesgos genérica concerniente a sus trabajos.

No obstante, se prevé que los riesgos que se pueden presentar son:

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Caídas de personas al mismo nivel	Caída por deficiencias en el suelo, por pisar o tropezar con objetos, por existencia de vertidos o líquidos, por superficies en mal estado por condiciones atmosféricas (heladas, nieve, agua, etc.).
Caídas de personas a distinto nivel	Caída desde escaleras portátiles, desde andamios y plataformas temporales, desniveles, huecos, zanjas, taludes, desde estructuras pórticos.
Caídas de objetos	Caída por manipulación manual de objetos y herramientas o de elementos manipulados con aparatos elevadores.

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Desprendimientos desplomes y derrumbes	Desprendimientos de elementos de montaje fijos, desplome de muros o hundimiento de zanjas o galerías
Choques y golpes	Choques contra objetos fijos, contra objetos móviles, golpes por herramientas manuales y eléctricas.
Maquinaria automotriz y vehículos	Atropello a peatones, choques y golpes entre vehículos, vuelco de vehículos y caída de cargas
Atrapamientos por mecanismos en movimiento	Atrapamientos por herramientas manuales, portátiles eléctricas. Atrapamientos por mecanismos en movimiento.
Cortes	Cortes por herramientas portátiles eléctricas o manuales y cortes por objetos superficiales o punzantes.
Proyecciones	Impacto por fragmentos, partículas sólidas o líquidas
Contactos térmicos	Contactos con fluidos o sustancias calientes / fríos. Contacto con proyecciones.
Contactos químicos	Contacto con sustancias corrosivas, irritantes/ alergizantes u otras.
Contactos eléctricos	Contactos directos, indirectos o descargas eléctricas.
Arcos eléctricos	Calor, proyecciones o radiaciones no ionizantes.
Sobreesfuerzos	Esfuerzos al empujar, tirar de objetos. Esfuerzos al levantar, sostener o manipular cargas

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Explosiones	Máquinas, equipos y botellas de gases.
Incendios	Acumulación de material combustible. Almacenamiento y trasvase de productos inflamables. Focos de ignición, proyecciones de chispas o partículas calientes.
Confinamiento	Golpes, choques, cortes o atrapamientos por espacio reducido. Dificultades para rescate.
Tráfico	Choques entre vehículos o contra objetos fijos. Atropello de peatones o en situaciones de trabajo. Vuelco de vehículos por accidente de tráfico.
Agresión de animales	Picadura de insectos, ataque de perros o agresión por otros animales.
Estrés térmico	Exposición prolongada al calor o al frío Cambios bruscos de temperatura.
Radiaciones no ionizantes	Exposición a radiación ultravioleta, infrarroja o visible.
Carga física	Movimientos repetitivos. Carga estática o postural (espacios de trabajo) o dinámica (actividad física). Condiciones climáticas exteriores.
Carga mental	Distribución de tiempos. Horario de trabajo.

### ***1.7.2.6 Organización de la Seguridad***

Coordinador en Materia de Seguridad y Salud:

Las tareas de Obra Civil y Montaje Electromecánico si bien estarán programadas en su mayor parte en periodos distintos, pueden que en algún momento interfieran entre sí, por lo que si así fuera sobre la base del Art. 3 del R.D. 1627, RED ELÉCTRICA en su calidad de Promotor procederá a nombrar Coordinador en Materia de Seguridad.

#### Jefes de Trabajo de las Empresas Contratistas:

Las personas que ejerzan in situ las funciones de jefes dirigiendo y planificando las actividades de los operarios garantizarán que los trabajadores conocen los principios de acción preventiva y velarán por su aplicación.

#### Vigilante de Seguridad de la Empresa Contratista:

La Empresa Contratista reflejará en el Plan de Seguridad el nombre de una persona de su organización que actuará como su Vigilante de Seguridad para los trabajos, bien a tiempo total o compartido, con formación en temas de Seguridad (cursillo, prueba, etc.) o con suficiente experiencia para desarrollar este cometido.

Quien actúe como Jefe de Obra organizará la labor del Vigilante y pondrá a su disposición los medios precisos para que pueda desarrollar las funciones preventivas.

#### Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra:

De conformidad con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, los principios de la acción preventiva que se recogen en su artículo 15 se aplicarán durante la ejecución de la obra y en particular:

- a) Garantizar que solo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada pueden acceder a las zonas de riesgo grave o específico.
- b) Dar las debidas instrucciones a los empleados.
- c) El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- d) La manipulación de los distintos materiales y la utilización de los medios auxiliares.

- e) El mantenimiento de los medios y dispositivos necesarios para la ejecución de la obra.
- f) La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de trabajo.
- g) La recogida de los materiales peligrosos utilizados.
- h) La adaptación, en función de la evolución de obra, del periodo de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- i) La cooperación entre RED ELÉCTRICA y el Contratista.

#### Formación:

El personal de la Empresa Contratista que sea habitual en estos trabajos debe estar instruido en Seguridad. No obstante, en las fechas inmediatas a la incorporación recibirá información específica acorde al trabajo que va a realizar.

La empresa Contratista garantizará que el personal de sus empresas subcontratadas será informado del contenido del Plan de Seguridad.

Los operarios que realicen trabajos con riesgo eléctrico tendrán la categoría de “personal autorizado o cualificado” para las funciones que le asigna el R.D. 614/2001.

#### Medicina preventiva:

La Empresa Contratista queda obligada a aportar a la obra trabajadores con reconocimiento médico realizado. Si como consecuencia de este reconocimiento fuera aconsejable el cambio de puesto de trabajo, la Empresa Contratista queda obligada a realizarlo.

En cualquier momento RED ELÉCTRICA podrá solicitar certificados de estos reconocimientos.

#### Medios de protección:

Antes del inicio de los trabajos todo el material de seguridad estará disponible en la obra, tanto el de asignación personal como el de utilización colectiva.

Así mismo, todos los equipos de protección individual se ajustarán a lo indicado en el R.D. 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

#### Locales de descanso y servicios higiénicos:

A tenor de lo establecido en el R.D. 486/1997 sobre Disposiciones Mínima de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo y particularmente en su Anexo V, el Contratista dispondrá de los locales y servicios higiénicos necesarios.

Si se utilizasen instalaciones permanentes existentes en la instalación, no será preciso dotar a la Obra de instalaciones temporales. Esta circunstancia será reflejada en el Plan de Seguridad.

#### ***1.7.2.7 Disposiciones de emergencia***

##### Vías de evacuación:

Dadas las características de la obra, trabajos en exterior, casetas y edificios de pequeñas dimensiones no es necesario la definición de vías o salidas de emergencia para una posible evacuación.

Si en la construcción del edificio de control estima la presencia de más de 20 trabajadores, se realizará un plano con las distintas vías de evacuación que serán definidas teniendo en cuenta el número de los posibles usuarios, que deberá instalarse en un lugar visible a la entrada del edificio. Además, se instalará señalización indicando las diferentes vías de emergencia con la mayor prontitud posible.

Cuando sea necesario, la decisión de la evacuación del lugar trabajo será tomada por el Coordinador de Seguridad, y en el caso de que no esté presente, del supervisor de REE. Siendo el punto de reunión la puerta principal de entrada a la subestación.

Dado el limitado número de personas que se prevén van a coincidir en la Obra y la no existencia de recintos cerrados no se considera necesario establecer Equipos de Evacuación ni realizar simulacros al respecto.

#### Iluminación:

Al tratarse de trabajos que se realizarán a la intemperie y en horario diurno, no será necesaria la instalación de alumbrado temporal.

En el caso, que se realicen trabajos en horario nocturno, se instalará un sistema de alumbrado adecuado al trabajo que se va a realizar y que incluirá las vías de acceso los puntos de trabajo. Complementando al sistema de alumbrado se dispondrá de una alternativa de emergencia de suficiente intensidad (linternas o cualquier otro sistema portátil o fijo).

#### Instalaciones de suministro y reparto de energía:

Se instalará un grupo electrógeno para el suministro de la energía eléctrica.

El suministro eléctrico se tomará de la red existente.

Las instalaciones de suministro y reparto de energía en la obra deberán instalarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

Cuando se trate de instalaciones eléctricas, el acceso a las partes activas de las mismas quedará limitado a trabajadores autorizados o cualificados.

#### Ventilación:

No se prevé la necesidad de realizar controles de ventilación dado el tipo de obra.

En los trabajos en galerías, centros subterráneos, etc. Previo al acceso al recinto y durante su permanencia en el mismo, se procederá a las determinaciones higiénicas oportunas de la atmósfera confinada que posibiliten conocer si los valores de oxígeno son suficientes o si los

niveles de contaminantes tóxicos o inflamables están por encima de los niveles máximos permitidos.

Los trabajos a realizar en este tipo de recintos deberán en todo momento tener vigilancia desde el exterior, con una comunicación continua entre los trabajadores que permanezcan en el interior y exterior del recinto confinado. Tomándose todas las debidas precauciones para que se le pueda prestar auxilio eficaz e inmediato.

Dado que será necesario utilizar herramientas o máquinas que producen gases o vapores que reducen de forma peligrosa la concentración de oxígeno (<18%), y no está asegurada una buena renovación del aire existente en el lugar de trabajo, se instalará un sistema de ventilación de aire limpio.

Al preverse la existencia de contaminantes inflamables, las herramientas a utilizar serán compatibles con el riesgo detectado (herramientas antideflagrantes).

#### Ambientes nocivos y factores atmosféricos:

Dado que se trata de un trabajo a la intemperie, la planificación de tareas que requieran un consumo metabólico alto se planificarán para que no coincidan con los periodos de temperatura extremos.

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

Los trabajadores no deberán estar expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (gases, vapores, polvo,...), sin la protección adecuada.

#### Detección y lucha contra incendios:

No se prevé en la obra la existencia de carga térmica elevada, para facilitararlo se mantendrán adecuadas condiciones de orden y limpieza.

La obra dispondrá de extintores la cantidad suficiente. Los extintores deberán situarse en lugares de fácil acceso.

No existirán B.I.E. Al no disponer el recinto de acometida de aguas.

El sistema de detección de incendios en casetas y edificio se instalará en cuanto el avance de la obra lo permita.

#### Primeros auxilios:

Todo el personal debe conocer que el número de solicitud de ayuda de primeros auxilios es el 112. La Administración dispondrá ayuda técnica o sanitaria que se solicite en dicho número.

La Empresa Contratista dispondrá de un botiquín de obra para prestar primeros auxilios. Se podrá hacer uso de los medios de primeros auxilios (camilla, elementos de cura, etc.) que exista en la Subestación. Asimismo, deberá estar disponible en la obra un vehículo, para evacuar a un posible accidentado.

El Contratista expondrá, para conocimiento de todos sus trabajadores la dirección de los Centros de Asistencia más próximos.

#### Plan de seguridad:

El Plan de Seguridad que elabore la Empresa adjudicataria de los trabajos debe establecer su forma particular de ejecutarlos, debe ser un documento ajustado a las situaciones de riesgos previsibles en la Obra.

El Plan de Seguridad una vez aprobado debe ser el documento aplicable en Obra, para lo cual debe permanecer en poder del Jefe de Trabajo y del Coordinador de Seguridad.

### 1.7.3 Pliego de condiciones

#### ***1.7.3.1 Normativa legal de aplicación***

La ejecución de la obra, objeto del Estudio de Seguridad, estará regulada por la normativa que a continuación se cita, siendo de obligado cumplimiento para las partes implicadas.

- Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.

- Ley 54/03 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 1627/97 de 24 de Octubre sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.
- RD 171/04 de 30 Enero, por el que desarrolla el Art. 24 de la Ley 31/95, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- R.D. 614/2001 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores frente al Riesgo Eléctrico.
- R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación Manual de Cargas.
- R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de Equipos de Protección Individual.
- O.M. de 18 de Octubre de 1994. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

#### Normativa interna de Red Eléctrica:

La ejecución de la Obra queda igualmente condicionada por la normativa de RED ELÉCTRICA que se referencia, a efectos de aspectos más generales que aplican a la Obra.

- TM-001 Organización de la Seguridad en los Trabajos en instalaciones de A.T.
- IM-002 Medidas de Seguridad en instalaciones de A.T. para trabajos sin tensión.
- IM-013 Medidas de seguridad en trabajos en instalaciones de BT.
- AM-004 Aplicación de la línea de seguridad para trabajos en alturas.
- AM-005 Trabajos de manutención manual y mecánica.
- IC-003 Subcontratación por proveedores de Red Eléctrica a terceros.

# CAPÍTULO 2: TÉCNICAS Y PARTICULARES

## **2.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN**

Este documento tiene por objeto establecer los requisitos de carácter ambiental que se deben cumplir en los trabajos de obra civil y montaje electromecánico que se van a realizar para la construcción de la subestación de 30 kV de Zorita de los Canes, para minimizar los posibles impactos ambientales que puede conllevar el desarrollo de los trabajos de construcción.

El alcance de esta especificación comprende todos los trabajos de obra civil y montaje electromecánico de la subestación.

## **2.2 REQUISITOS DE CARÁCTER GENERAL**

Se contemplará un estricto cumplimiento de los requisitos medioambientales legales que en cada momento establecidos en los distintos ámbitos: europeo, estatal, autonómico y municipal. Las Especificaciones Ambientales de Construcción de Subestaciones que regirán la ejecución de la obra indicarán todos los requisitos a cumplir en relación con los trabajos.

### **2.2.1 Condicionados de los Organismos de la Administración**

Durante el proceso de Autorización Administrativa los organismos públicos y entidades que puedan ser afectadas por el desarrollo del proyecto emitirán los condicionados correspondientes que serán aplicados en el desarrollo de la ejecución de la obra.

### **2.2.2 Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible**

Para evitar que las zonas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible se dispongan sobre suelo desnudo o sin mecanismos de retención de posibles derrames, se contará con una bandeja metálica sobre la que se colocaran los recipientes que contengan combustible.

La bandeja será estanca, con un bordillo mínimo de 10 cm y con capacidad igual o mayor que la del mayor de los recipientes que se ubiquen en ella. Será necesario disponer de una lona para tapar la bandeja con el fin de evitar que en caso de lluvia se llene de agua, a no ser que el almacenamiento se realice bajo cubierta.

En el caso de que sea necesario disponer de grupos electrógenos, su tanque de almacenamiento principal deberá tener doble pared y todas las tuberías irán encamisadas. Si no es así se colocarán sobre bandeja estanca de las características anteriormente descritas.

### 2.2.3 Cambios de aceites y grasas

No se verterán aceites y grasas al suelo, por lo que se tomarán todas las medidas preventivas necesarias.

El cambio de aceites de la maquinaria se realizará en un taller autorizado. Si ello no fuera posible se efectuará sobre el terreno utilizando siempre los accesorios necesarios (recipiente de recogida de aceite y superficie impermeable) para evitar posibles vertidos al suelo.

### 2.2.4 Campamento de obra

El campamento de obra dispondrá de los contenedores necesarios para los residuos sólidos urbanos que generen las personas que trabajan en la obra.

No serán utilizadas fosas sépticas/pozos filtrantes en la instalación sin autorización de la Confederación Hidrográfica correspondiente. Preferentemente se usarán depósitos estancos de acumulación o de wáter químico, que serán desmontados una vez hayan finalizados los trabajos. El mantenimiento de estos sistemas será el adecuado para evitar olores y molestias en el entorno de los trabajos.

### 2.2.5 Gestión de residuos

La gestión de los residuos se realizará conforme a la legislación específica vigente. Será según lo establecido en los siguientes documentos:

- Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición.
- Plan de gestión de residuos de construcción y demolición: Entregado por el contratista, aprobado por la dirección facultativa y aceptado por el Departamento de Medio Ambiente de REE.

### 2.2.6 Incidentes con consecuencias ambientales

Se consideran incidencias medioambientales aquellas situaciones que por su posible afección al medio requieren actuaciones de emergencia.

Los principales incidentes que pueden tener lugar son incendios y fugas/derrames de material contaminante.

El riesgo de incendios viene asociado principalmente al almacenamiento y manipulación de productos inflamables. Se establecerán todas las medidas de prevención de incendios y se prestará especial atención para que los productos inflamables no entren en contacto con fuentes de calor: trabajo de soldaduras, recalentamiento de máquinas, cigarrillos etc. En el lugar de trabajo se contará con los extintores adecuados.

Además de las medidas de prevención de fugas y derrames (descritas en apartados anteriores) se contará en obra con los materiales necesarios para la actuación frente a derrames de sustancias potencialmente contaminantes.

## **2.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS**

### 2.3.1 Zonificación de los trabajos

Antes de comenzar los trabajos se realizará una zonificación para ordenar el tránsito de la maquinaria y delimitar las zonas afectadas por las obras.

Las zonas definidas se deben señalar de forma temporal mediante estacas o cintas de plástico de colores vistosos.

### 2.3.2 Accesos

Sólo se utilizará el acceso definido, minimizando la afección a los terrenos colindantes.

El tratamiento superficial de los accesos auxiliares será mínimo, evitando realizar explanaciones de ningún tipo y usando maquinaria ligera, de forma que se posibilite una fácil regeneración natural o artificial.

Para reducir al mínimo las posibles alteraciones de la red de drenaje y con el fin de evitar la interrupción de las aguas de escorrentía, se procederá a entubar los drenajes afectados.

### 2.3.3 Retirada de la cubierta vegetal

Se respetarán todos los ejemplares arbóreos que no sean incompatibles con el desarrollo del proyecto de la subestación. Para todas las labores de obra que afecten a arbolado se obtendrán los permisos pertinentes, de los órganos ambientales competentes, atendiendo en todo momento a las instrucciones que dicten estos organismos.

### 2.3.4 Patrimonio cultural

Si durante la ejecución de las obras apareciesen restos arqueológicos y/o paleontológicos, se informará a las autoridades competentes y se pararán los trabajos hasta la adopción de las medidas oportunas.

### 2.3.5 Movimientos de tierra para la explanación

Al inicio de los trabajos se procederá a la retirada de la tierra vegetal, para su posterior reutilización, de forma que ésta no se mezcle con sustratos profundos o que quede sepultada por acumular sobre ella tierra de menor calidad.

La tierra vegetal se acumulará en zonas no afectadas por los movimientos de tierra hasta que se proceda a su disposición definitiva y se realizará de tal modo que no pierda sus características (altura máxima de los acopios de 2 metros).

Se evitará que en los movimientos de tierras se produzcan acumulaciones de materiales en los cauces y zonas de policía de estos, facilitando la continuidad de las aguas.

Se señalará adecuadamente la salida de camiones de las obras, procurando que se mantenga la limpieza de polvo y barro de las vías y carreteras aledañas para la seguridad de los usuarios.

Durante la realización de la explanación del parque, se evitará en lo posible la compactación de los suelos no afectados por ésta, limitando al máximo las zonas en las que vaya a entrar maquinaria pesada.

En los casos en que sea preciso el aporte de materiales de excavación ajenos a la zona de la subestación, se procurará evitar los vertidos de éstos sobre los suelos circundantes de la explanación.

## **2.4 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LA OBRA CIVIL**

### Limpieza de cubas de hormigonado:

Se delimitará y señalizará de forma clara una zona para la limpieza de las cubas de hormigonado para evitar vertidos de este tipo en las proximidades de la subestación. La zona será regenerada una vez finalizada la obra, llevándose los residuos a vertedero controlado y devolviéndola a su estado y forma inicial.

## **2.5 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO**

### 2.5.1 Llenado de equipos con aceite

Cuando se llenan de aceite las máquinas de potencia se tomarán las máximas precauciones para evitar posibles accidentes con consecuencias medioambientales.

No se comenzará el llenado de equipos hasta que no estén operativos los fosos de recogida de aceite.

Como complemento y para evitar un accidente, debajo de todos los empalmes de tubos utilizados en la maniobra se deberán situar recipientes preparados para la recogida de posibles pérdidas, con el tamaño suficiente para evitar vertidos al suelo.

### 2.5.2 Llenado de equipos con SF<sub>6</sub>

El llenado de equipos con SF<sub>6</sub> se llevará a cabo por personal especializado, evitándose así fugas de gas a la atmósfera. Las botellas de SF<sub>6</sub> (vacías y con SF<sub>6</sub> que no se ha utilizado en el llenado) serán retiradas por el proveedor para garantizar la adecuada gestión de estas.

## 2.6 ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA

Una vez finalizados todos los trabajos se realizará una revisión del estado de limpieza y conservación del entorno de la subestación, con el fin de proceder a la recogida de restos de todo tipo que pudieran haber quedado acumulados y gestionarlos adecuadamente.

Se procederá a la rehabilitación de todos los daños ocasionados sobre las propiedades derivados de la ejecución de los trabajos.

Se revisará la situación de todas las servidumbres previamente existentes y el cumplimiento de los acuerdos adoptados con particulares y administración, acometiendo las medidas correctoras que fueran precisas si se detectan carencias o incumplimientos.

Donde sea viable, se restituirá la forma y aspecto originales del terreno.

De forma inmediata a la finalización de la obra y en el caso que sea necesario, se revegetarán las superficies desprovistas de vegetación que pudieran estar expuestas a procesos erosivos y si así se ha definido, se realizarán los trabajos de integración paisajística de la instalación.

# **DOCUMENTO 4: PRESUPUESTO**

## Índice

<i>CAPÍTULO 1: MEDICIONES</i> .....	162
<i>CAPÍTULO 2: PRECIOS UNITARIOS</i> .....	165
<i>CAPÍTULO 3: SUMAS PARCIALES</i> .....	168
<i>CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO GENERAL</i> .....	171

# CAPÍTULO 1: MEDICIONES

<b>OBRA CIVIL</b>	Medición	Unidad
Terreno	23.751	m <sup>2</sup>
Movimiento de tierras	1994	m <sup>3</sup>
Cimentación	220	m <sup>3</sup>
Drenajes y saneamiento	1	Uds
Vallado	204	m
Accesos	1	Uds
Edificación - Estructura	1	Uds
Edificación - Servicios	1	Uds

<b>RED DE TIERRAS</b>	Medición	Unidad
Conductor desnudo de cobre de 95mm <sup>2</sup>	906	m
Puntas Franklin	6	Uds
Transporte	1	Uds
Montaje	1	Uds

<b>APARAMENTA Y MATERIALES</b>	Medición	Unidad
Interruptor de potencia trifásico 30kV	6	Uds
Seccionador de cuchillas giratorias trifásico 30 kV	17	Uds
Transformador de potencia 220/30 kV 200 MVA	2	Uds
Transformador de tensión de medida monofásico 30kV	21	Uds
Transformador de corriente de medida monofásico 30kV	18	Uds
Pararrayos 30kV	6	Uds
Tubo 120/100 de aluminio 6101 T6	6	Uds
Tubo 80/64 de aluminio 6101 T6	6	Uds
Cableado	400	m
Aislador de soporte de barras exterior POINSA C8-170	24	Uds
Aislador de soporte de barras exterior POINSA C6-170	18	Uds
Pararrayos 220kV	6	Uds
Transformador de tensión de medida monofásico 220kV	6	Uds
Transformador de corriente de medida monofásico 220kV	6	Uds
Transporte de aparamenta	142	Uds
Montaje de aparamenta	142	Uds

<b>ESTRUCTURAS</b>	Medición	Unidad
Soporte metálico de aparamenta	28	Uds
Pórtico salida de líneas	6	Uds
Transporte	34	Uds
Montaje	34	Uds

<b>SISTEMAS AUXILIARES</b>	Medición	Unidad
Transformador de servicios auxiliares	1	Uds
Baterías Ni-Cd + Rectificador	2	Uds
Cuadro principal de corriente alterna	1	Uds
Cuadro principal de corriente continua	1	Uds
Montaje sistemas auxiliares	1	Uds

<b>SISTEMA DE TELECONTROL, PROTECCIONES Y COMUNICACIONES</b>	Medición	Unidad
Armario de comunicaciones	1	Uds
Relés de protección	11	Uds
Unidad remota de telecontrol (RTU)	1	Uds
Instalación	13	Uds

<b>ALUMBRADO</b>	Medición	Unidad
Alumbrado exterior	1	Uds
Alumbrado interior	1	Uds
Alumbrado de emergencia	1	Uds
Instalación	1	Uds

<b>OTROS</b>	Medición	Unidad
Pruebas de puesta en servicio	1	Uds
Sistema anti intrusismo	1	Uds
Sistema contra incendios	1	Uds
Adecuación medioambiental	1	Uds
Tasas municipales	1	Uds
Seguridad y salud laboral	1	Uds

# CAPÍTULO 2: PRECIOS UNITARIOS

<b>OBRA CIVIL</b>	Precio	Unidad
Terreno	1,50	€/m <sup>2</sup>
Movimiento de tierras	50	€/m <sup>3</sup>
Cimentación	68	€/m <sup>3</sup>
Drenajes y saneamiento	17.000	€/ud
Vallado	75	€/m
Accesos	9.700	€/ud
Edificación - Estructura	122.000	€/ud
Edificación - Servicios	9.660	€/ud

<b>RED DE TIERRAS</b>	Precio	Unidad
Conductor desnudo de cobre de 95mm <sup>2</sup>	14,75	€/m
Puntas Franklin	225	€/ud
Transporte	3250	€/ud
Montaje	10000	€/ud

<b>APARAMENTA Y MATERIALES</b>	Precio	Unidad
Interruptor de potencia trifásico	13500	€/ud
Seccionador de cuchillas giratorias trifásico	5500	€/ud
Transformador de potencia	734756	€/ud
Transformador de tensión de medida monofásico	1150	€/ud
Transformador de corriente de medida monofásico	1400	€/ud
Pararrayos	950	€/ud
Tubo 120/100 de aluminio 6101 T6	850	€/ud
Tubo 80/64 de aluminio 6101 T6	425	€/ud
Cableado	25	€/m
Aislador de soporte de barras exterior POINSA C8-170	110	€/ud
Aislador de soporte de barras exterior POINSA C6-170	63	€/ud
Pararrayos 220kV	937	€/ud
Transformador de tensión de medida monofásico 220kV	1280	€/ud
Transformador de corriente de medida monofásico 220kV	1680	€/ud
Transporte de aparamenta	500	€/ud
Montaje de aparamenta	2500	€/ud

<b>ESTRUCTURAS</b>	Precio	Unidad
Soporte metálico de aparamenta	1335	€/ud
Pórtico salida de líneas	4000	€/ud
Transporte	320	€/ud
Montaje	250	€/ud

<b>SISTEMAS AUXILIARES</b>	Precio	Unidad
Transformador de servicios auxiliares	3500	€/ud
Baterías Ni-Cd + Rectificador	6950	€/ud
Cuadro principal de corriente alterna	4560	€/ud
Cuadro principal de corriente continua	3675	€/ud
Montaje sistemas auxiliares	110000	€/ud

<b>SISTEMA DE TELECONTROL, PROTECCIONES Y COMUNICACIONES</b>	Precio	Unidad
Armario de comunicaciones	10000	€/ud
Relés de protección	2909	€/ud
Unidad remota de telecontrol (RTU)	7750	€/ud
Instalación	2000	€/ud

<b>ALUMBRADO</b>	Precio	Unidad
Alumbrado exterior	1300	€/ud
Alumbrado interior	875	€/ud
Alumbrado de emergencia	254	€/ud
Instalación	1247	€/ud

<b>OTROS</b>	Precio	Unidad
Pruebas de puesta en servicio	15000	€/ud
Sistema anti intrusismo	18486	€/ud
Sistema contra incendios	7000	€/ud
Adecuación medioambiental	120000	€/ud
Tasas municipales	255000	€/ud
Seguridad y salud laboral	31500	€/ud

# CAPÍTULO 3: SUMAS PARCIALES

<b>OBRA CIVIL</b>	Sumas Parciales	Unidad
Terreno	35626,5	€
Movimiento de tierras	99700	€
Cimentación	14960	€
Drenajes y saneamiento	17000	€
Vallado	15300	€
Accesos	9700	€
Edificación - Estructura	122000	€
Edificación - Servicios	9660	€

<b>RED DE TIERRAS</b>	Sumas Parciales	Unidad
Conductor desnudo de cobre de 95mm <sup>2</sup>	13363,5	€
Puntas Franklin	1350	€
Transporte	3250	€
Montaje	10000	€

<b>APARAMENTA Y MATERIALES</b>	Sumas Parciales	Unidad
Interruptor de potencia trifásico	81000	€
Seccionador de cuchillas giratorias trifásico	93500	€
Transformador de potencia	1469512	€
Transformador de tensión de medida monofásico	24150	€
Transformador de corriente de medida monofásico	25200	€
Pararrayos	5700	€
Tubo 120/100 de aluminio 6101 T6	5100	€
Tubo 80/64 de aluminio 6101 T6	2550	€
Cableado	10000	€
Aislador de soporte de barras exterior POINSA C8-170	2640	€
Aislador de soporte de barras exterior POINSA C6-170	1134	€
Pararrayos 220kV	5622	€
Transformador de tensión de medida monofásico 220kV	7680	€
Transformador de corriente de medida monofásico 220kV	10080	€
Transporte de aparamenta	71000	€
Montaje de aparamenta	355000	€

<b>ESTRUCTURAS</b>	Sumas Parciales	Unidad
Soporte metálico de aparamenta	37380	€
Pórtico salida de líneas	24000	€
Transporte	10880	€
Montaje	8500	€

<b>SISTEMAS AUXILIARES</b>	Sumas Parciales	Unidad
Transformador de servicios auxiliares	3500	€
Baterías Ni-Cd + Rectificador	13900	€
Cuadro principal de corriente alterna	4560	€
Cuadro principal de corriente continua	3675	€
Montaje sistemas auxiliares	110000	€

<b>SISTEMA DE TELECONTROL, PROTECCIONES Y COMUNICACIONES</b>	Sumas Parciales	Unidad
Armario de comunicaciones	10000	€
Relés de protección	31999	€
Unidad remota de telecontrol (RTU)	7750	€
Instalación	26000	€

<b>ALUMBRADO</b>	Sumas Parciales	Unidad
Alumbrado exterior	1300	€
Alumbrado interior	875	€
Alumbrado de emergencia	254	€
Instalación	1247	€

<b>OTROS</b>	Sumas Parciales	Unidad
Pruebas de puesta en servicio	15000	€
Sistema anti intrusismo	18486	€
Sistema contra incendios	7000	€
Adecuación medioambiental	120000	€
Tasas municipales	255000	€
Seguridad y salud laboral	31500	€

# CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO GENERAL

<b>SECCIÓN</b>	<b>Suma</b>	<b>Unidad</b>
Obra civil	323.946,50	€
Red de tierras	27.963,50	€
Aparamenta y materiales	2.169.868,00	€
Estructuras	80.760,00	€
Sistemas Auxiliares	135.635,00	€
Sistema de telecontrol, protecciones y comunicaciones	75.749,00	€
Alumbrado	3.676,00	€
Otros	446.986,00	€
Total Presupuesto Sin IVA	3.264.584,00	€
I.V.A	685.562,64	€
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>3.950.146,64</b>	<b>€</b>

El presupuesto total del proyecto (I.V.A incluido) asciende a la cantidad de **TRES MILLONES NOVECIENTOS CINCUENTA MIL CIENTO CUARENTA Y SEIS EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.**

# **DOCUMENTO 5: BIBLIOGRAFÍA**

- [1] «Naturgy inicia la construcción de tres nuevas plantas fotovoltaicas en Castilla-La Mancha con capacidad para abastecer a 86.000 hogares - Naturgy». Accedido: 20 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.naturgy.com/notas-de-prensa/naturgy-inicia-la-construccion-de-tres-nuevas-plantas-fotovoltaicas-en-castilla-la-mancha-con-capacidad-para-abastecer-a-86-000-hogares/>
- [2] E. Estratégica, «ABO Energy España coloca la primera piedra del Parque Fotovoltaico Valdezorita - Energía Estratégica España - Noticias sobre energías renovables del mercado ibérico». Accedido: 20 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://energiaestrategica.es/abo-energy-espana-coloca-la-primera-piedra-del-parque-fotovoltaico-valdezorita/>
- [3] «Construyen dos plantas solares en Castilla-La Mancha capaces de abastecer a casi 38.000 hogares», El Español. Accedido: 20 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.elespanol.com/eldigitalcastillalalamancha/economia/empresas/20240814/construyen-plantas-solares-castilla-la-mancha-capaces-abastecer-hogares/878162339\\_0.html](https://www.elespanol.com/eldigitalcastillalalamancha/economia/empresas/20240814/construyen-plantas-solares-castilla-la-mancha-capaces-abastecer-hogares/878162339_0.html)
- [4] «Subestación Eléctrica», SMARTGRIDSINFO. Accedido: 2 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.smartgridsinfo.es/subestaciones-electricas>
- [5] «El Gobierno aprueba la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que marca la senda para alcanzar la neutralidad climática a 2050 | Idae». Accedido: 25 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.idae.es/noticias/el-gobierno-aprueba-la-estrategia-de-descarbonizacion-largo-plazo-que-marca-la-senda-para>
- [6] Redeia, «Potencia instalada», Red Eléctrica. Accedido: 25 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada>
- [7] «Base de datos Meteorológica. Red principal Estaciones meteorológicas de AEMET». Accedido: 3 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://datosclima.es/index.htm>
- [8] «Alternativas a la prohibición del gas SF6 en aparataje de Media Tensión», Grupo Elektra. Accedido: 2 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupoelektra.es/en/blog/articulo-tecnico-prohibicion-gas-sf6>
- [9] «MMagna0584.pdf». Accedido: 23 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna0584.pdf>
- [10] «Espacios Naturales Protegidos (ENP)», Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Accedido: 24 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/enp.html>
- [11] «Tubo de aluminio - Bronmetal | Soluciones en metales no férricos», Bronmetal. Accedido: 21 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bronmetal.com/aluminio/tubo-de-aluminio/>
- [12] «Aluminum 6101-T6». Accedido: 20 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=4303c5b908ff4cbd91a02fed7d4e8202&ckck=1>
- [13] «Catalogo Sonepar Media Tensión». Accedido: 16 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sonepar.es/catalogoonline-mediatiension/offline/download.pdf>
- [14] «Medium Voltage Outdoor Disconnectors type ON III and ON I - catalogue». Accedido: 16 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en:

- <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106713A4991&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [15] «Envertec\_Catalogo\_Aparamenta.pdf». Accedido: 16 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.envertec.es/wp-content/uploads/2024/04/Envertec\\_Catalogo\\_Aparamenta.pdf](https://www.envertec.es/wp-content/uploads/2024/04/Envertec_Catalogo_Aparamenta.pdf)
- [16] «0102conceptos\_generales\_instalaciones\_mt.pdf». Accedido: 18 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://politecnicodesantiago.es/sites/default/files/docs-xerais-centro/0102conceptos\\_generales\\_instalaciones\\_mt.pdf](https://politecnicodesantiago.es/sites/default/files/docs-xerais-centro/0102conceptos_generales_instalaciones_mt.pdf)
- [17] coordinates-converter.com, «Altímetro: Ubicación o altitud actual», Online-Umrechner in alle gängigen Koordinatensysteme wie UTM, WGS, WGS84 und CH1903, Gauss-Krueger mit grosser Karte. Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://coordinates-converter.com/es/altimetro>
- [18] «UNE-En - 60865-1 1997 Corrientes de CC Calculo de Efectos PDF | PDF | Corriente eléctrica | Oscilación», Scribd. Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/217971197/UNE-En-60865-1-1997-Corrientes-de-Cc-Calculo-de-Efectos-pdf>
- [19] J. A. Arriagada, «NORMA INTERNACIONAL CEI IEC 60909-0», Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/26441328/NORMA\\_INTERNACIONAL\\_CEI\\_IEC\\_60909\\_0](https://www.academia.edu/26441328/NORMA_INTERNACIONAL_CEI_IEC_60909_0)
- [20] «DIN 43670:1975-12 | Normas AENOR». Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-din-43670-1975-12-591944>
- [21] «Aisladores de apoyo de exterior e interior», Poinsa. Accedido: 19 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://poinsa.com/aisladores-de-apoyo-de-exterior-e-interior/>
- [22] «Distancia Media Geometrica PDF | PDF | Inductancia | Objetos matemáticos», Scribd. Accedido: 21 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/458894020/distancia-media-geometrica-pdf>
- [23] «IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations», *IEEE Std 998-1996*, pp. 1-176, feb. 1996, doi: 10.1109/IEEESTD.1996.81546.
- [24] «Ministerio de Industria y Turismo - Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión (2014)». Accedido: 24 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-alta-tension/Paginas/reglamento-seguridad-instalaciones-alta-tension.aspx>
- [25] «IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding», *IEEE Std 80-2000*, pp. 1-192, ago. 2000, doi: 10.1109/IEEESTD.2000.91902.
- [26] «IEEE 80-2000». Accedido: 18 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://iiee.org.ph:89/uploads/files/836.pdf>
- [27] «Fotovoltaica – Página 9», Energía de Castilla-La Mancha. Accedido: 8 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://energiacastillalamancha.net/category/fotovoltaica/>
- [28] Viaintermedia.com, «El Sol de España produce la electricidad más barata de toda Europa», Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. Accedido: 8 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/el-sol-de-espa-a-produce-la-20250513>

- [29] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 24 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [30] U. P. Comillas, «Subestación de 132 kV y ampliación del parque de 400 kV adyacente para alimentación a la nueva interconexión Península-Ceuta», 2018. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/23562>
- [31] U. P. Comillas, «Subestación de 66 kV en la red insular española de transporte ubicada en entorno protegido», 2018. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/23561>
- [32] U. P. Comillas, «Subestación de transporte de 220 kV en entorno rural para evacuación de generación en régimen especial», 2018. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/23559>
- [33] C. B. Jorge, «Ingeniería básica de subestación eléctrica 220kV», 1 de mayo de 2014. <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/b4145df4-a6ef-4d6f-bfec-8586438dca8a>
- [34] S. M. Matías Juan, «Apuntes de la asignatura de Centrales y Subestaciones Eléctricas».