



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)**

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

**PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA LA RED DE  
TRANSPORTE ESPAÑOLA**

Autor: Álvaro López-Coira Fernández

Director: Matías J. Sánchez Mingarro

Madrid

Septiembre 2018



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### **1°. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

El autor D. Álvaro López-Coira Fernández

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

“Proyecto de Ejecución de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte española”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2°. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3°. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4°. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5°. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 17 de Septiembre de 2018

**ACEPTA**

Fdo.  .....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Proyecto Técnico Administrativo de una subestación eléctrica  
de alta tensión para la red de transporte española  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2017-2018... 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.: Fecha: 08 / 09 / 18



Autorizada la entrega del proyecto  
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Fecha: 10/09/2018





# PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA LA RED DE TRANSPORTE ESPAÑOLA

Autor: Álvaro López-Coira Fernández

Director: Matías J. Sánchez Mingarro

## Resumen proyecto

El proyecto consiste en el diseño de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte española. Los objetivos son conseguir la tramitación oficial para llevar a cabo el proyecto y mallar la red de transporte.

La subestación se encontrará ubicada al sur de la localidad de Ocaña (Toledo). Se trata de una zona con condiciones climatológicas aptas para la construcción de la instalación. El terreno total que ocupará la subestación es de 150 hectáreas.

La subestación constará de un parque de 400kV, al que le llegan 5 líneas de alta tensión, con tres posiciones de reserva, y un parque de 220kV, al que le llegan 6 líneas de alta tensión, con dos posiciones de reserva. La disposición será de interruptor y medio en ambos parques, lo que garantizará la seguridad, fiabilidad, flexibilidad y regularidad de la subestación, aunque incrementará los costes.

Se elige la tecnología AIS (Air Insulated Substation), debido a que el amplio terreno disponible permite el uso de esta tecnología que es más barata.

Se tendrá una tensión nominal de 400kV en el parque de 400kV (tensión más elevada del material 420kV) y una tensión nominal de 220kV en el parque de 220kV (tensión más elevada del material 245kV). La intensidad de cortocircuito monofásica en el parque de 400kV es 38kA y en el parque de 220kV es 32kA; mientras que la intensidad de cortocircuito trifásica es de 41kA en el parque de 400kV y 33kA en el parque de 220kV. Por lo tanto, la corriente admisible de corta duración es de 50kA y su valor de cresta es 125kA. La duración de

cortocircuito será de 0,5 s y la línea de fuga específica nominal mínima es de 20mm/kV.

Para el proyecto se ha elegido la aparamenta necesaria, que está compuesta por:

- 42 juegos trifásicos de seccionadores de columnas giratorias de doble apertura lateral de los modelos SG3CT-420/4000 y SG3C-420/4000 de la empresa MESA.
- 40 juegos trifásicos de seccionadores de columnas giratorias de doble apertura lateral de los modelos SG3C-245/2000 y SG3CT-245/2000 de la empresa MESA.
- 10 juegos trifásicos de seccionadores pantógrafos de los modelos SPD-420/4000 de la empresa MESA.
- 10 juegos trifásicos de seccionadores pantógrafos de los modelos SPD-245/4000 de la empresa MESA.
- 22 transformadores de intensidad del modelo CA-420 de la empresa Artech.
- 20 transformadores de intensidad del modelo CA-245 de la empresa Artech.
- 12 transformadores de tensión capacitivos del modelo DFK-420 de la empresa Artech.
- 12 transformadores de tensión capacitivos del modelo DFK-245 de la empresa Artech.
- 16 interruptores de potencia trifásicos del modelo 3AT2/3 (420kV) de la empresa Siemens.
- 15 interruptores de potencia trifásicos del modelo 3AT2/3 (245kV) de la empresa Siemens.
- 16 autoválvulas del modelo EXLIM P 420 descargador de óxido de cinc de la empresa ABB.
- 16 autoválvulas del modelo EXLIM Q-E 245 descargador de óxido de cinc de la empresa ABB.

-6 transformadores de potencia monofásicos 400/220kV 600MVA de la empresa ABB.

En cuanto a los embarrados, se elige una aleación AlMgSiO, 5 F22, con diámetro 250/228 mm para el embarrado principal de 400kV y una aleación AlMgSiO, 5 F22, con diámetro 150/134 mm para el de 220kV. Para el embarrado secundario se elige una aleación AlMgSiO, 5 F22, con diámetro 150/134 mm para el parque de 400kV y una aleación AlMgSiO, 5 F22, con diámetro 100/88 mm para el parque de 220kV. El tendido está formado por un cable FALCON dúplex para el parque de 400kV y un cable RAIL dúplex para el parque de 220kV.

La red de tierras está compuesta por una malla de tierra, sin picas de 7 x 7 metros, con cable de cobre de sección 120mm<sup>2</sup>, enterrada a 0,8 metros de profundidad. El terreno se trata de una caliza blanda de 300 Ωm de resistividad, mejorada a 80 Ωm en el interior de la subestación. Además, el terreno está recubierto por una capa de grava de 10cm con resistividad 3000 Ωm.

Para los aisladores de apoyo, se tienen aisladores C16-1550 de POINSA para el embarrado principal y C8-1425 de POINSA para el secundario de 400kV y se tienen aisladores C8-1050 de POINSA para el principal y aisladores C6-1050 de POINSA para el secundario de 220kV.

Se debe construir una valla metálica de 2,3 metros de alto alrededor de la subestación, con señales de advertencia de peligro por alta tensión, además se construirán los accesos necesarios. Se construirá un edificio de control de 20 x 35 metros y se adquirirán 11 casetas de relés prefabricadas de 4 x 10 metros.

Se elegirán las protecciones necesarias, que son protección diferencial de línea (16 unidades), protección de distancia (16 unidades), protección de interruptor (31 unidades), protección diferencial de transformador (4 unidades) y protección diferencial de barras (4 unidades).

Respecto a los servicios auxiliares, se dividen en servicios auxiliares de corriente continua y servicios auxiliares de corriente alterna. Constarán del transformador de servicios auxiliares, baterías y rectificadores y un grupo electrógeno de 200kVA.

Se tendrá un sistema anti incendios formado por extintores de eficacia mínima 89B a menos de 15 metros de distancia de la instalación, una alarma anti incendios y sensores de calor y ópticos para detectar el incendio antes de que se extienda.

Se contará con un sistema de alarma anti intrusos y un sistema de videovigilancia. Solo tendrán permitida la entrada a la instalación el personal autorizado.

Los cálculos para garantizar el correcto funcionamiento y el diseño de la instalación son los siguientes:

- Cálculo mecánico de embarrados rígidos.
- Cálculo de distancias mínimas en embarrados tendidos.
- Red de tierras.
- Selección de autoválvulas.
- Cálculo del efecto corona.

El presupuesto del proyecto ascendió a 17.160.685 €. Se realizó el estudio de rentabilidad y se obtuvieron resultados positivos, con un margen de beneficio de 4.769.840€ y una rentabilidad del 27,80% del dinero invertido.

### Abstract

The project consists on the design of an electrical substation of high voltage for the spanish transport network, getting an improvement of it. The target of this project is obtaining de official processing to conclude the project and improving the electrical network.

The substation is been located south of the city of Ocaña (Toledo). The area has ideal climatological conditions to build the installation. The total area will take 15 hectares of land.

The substation will have one 400kV switchyard, where 5 lines of high voltage arrive, with 3 spare positions, and one 220kV switchyard, where 6 lines of high voltage arrive, with 2 spare positions. The disposition will be a disposition of a breaker and a half in both parks, this guarantees the security, flexibility, reliability and regularity of the substation, but costs will be increased.

The AIS (Air Insulated Substation) technology is chosen because of the fact there are too many yards of terrain available and this technology is the cheapest one.

It will be a nominal voltage of 400kV in the 400kV switchyard (the highest voltage for the material is 420kV) and a nominal voltage of 220kV in the 220kV switchyard (the highest voltage for the material is 420kV). The monophasic short-circuit current is 38kA in the 400kV switchyard and 32kA in the 220kV switchyard, meanwhile the three-phase short circuit current is 41kA in the 400kV switchyard and 33kA in the 220kV switchyard. The allowable short circuit current is 50kA and its peak value is 125kA. The short circuit duration is 0,5 seconds and the specific nominal leakage line is 20mm/kV.

The gadgets of this project are:

-42 sets of three-phase disconnectors with three columns, models SG3CT-420/4000 y SG3C-420/4000 from MESA.

-40 sets of three-phase disconnectors with three columns, models SG3C-245/2000 y SG3CT-245/2000 from MESA.

-10 sets of three-phase pantograph disconnectors, models SPD-420/4000 from MESA.

-10 sets of three-phase pantograph disconnectors, models SPD-245/4000 from MESA.

-22 current transformers, model CA-420 from Artech.

-20 current transformers, model CA-245 from Artech.

-12 capacitive voltage transformers, model DFK-420 from Artech.

-12 capacitive voltage transformers, model DFK-245 from Artech.

- 16 three-phase power circuit breakers, model 3AT2/3 (420kV) from Siemens.
- 15 three-phase power circuit breakers, model 3AT2/3 (245kV) from Siemens.
- 16 autovalves, model EXLIM P 420 from ABB.
- 16 autovalves, model EXLIM Q-E 245 from ABB.
- 6 mono-phase power transformers 400/220kV 600MVA from ABB.

Referred to the busbars, it will be chosen an AlMgSiO, 5 F22 alloy, with a diameter of 250/228 in main busbars of 400kV and an AlMgSiO, 5 F22 alloy, with a diameter of 150/134 in main busbars of 220kV. It will be chosen an AlMgSiO, 5 F22 alloy, with a diameter of 150/134 in secondary busbars of 400kV and an AlMgSiO, 5 F22 alloy, with a diameter of 100/88 in secondary busbars of 220kV. The cable is FALCON duplex in the 400kV park and RAIL duplex in the 220kV park.

The grounding network is formed by a ground mesh of 7 x 7 meters, with copper cable of 120mm<sup>2</sup> section, buried 0.8 meters under the floor. The floor is formed by limestone with a 300 Ωm resistivity. Inside the substation, the resistivity is 80 Ωm. Also, the ground is covered by a 10cm gravel layer with a 3000 Ωm resistivity.

For the support insulators it has installed C16-1550 POINSA insulators in main busbars and C8-1425 POINSA insulators in secondary busbars in 400kV switchyard and C8-1050 POINSA insulators in main busbars and C6-1050 POINSA insulators in secondary busbars in 220kV switchyard.

A 2.3 meters high fence must be built around the substation, and it must be indicated that it is a dangerous area, because of the high voltage. Also the main access will be built. The main building will have proportions of 20 x 35 meters and 11 relay's stall 4 x 10 meters will be bought.

The protections will be chosen. These protections are a differential protection (16 units), a distance protection (16 units), a breaker protection (31 units), a transformer differential protection (4 units) and a busbar differential protection (4 units).

Respect the assistant services, they will be divided in DC assistant services and AC assistant services. They will be formed by an assistant services transformer, batteries and an electrogen group of 200kVA.

It will be a system to avoid fires formed by some extinguisher type 89B closer than 15 meters from the installation, an alarm and some heat and optical sensors to prevent the fires.

There will be an alarm to detect strange people and a video system to guarantee the vigilance of the installation. Only official staff is allowed.

The calculations to guarantee the right functioning of the substation and the design of the installation are:

- Mechanical calculation of the busbars.
- Calculation of the minimum distances for the cables.
- The grounding network.
- The choice of the autovalves.
- Calculation of the crown effect.

The budget of the installation is 17.160.685€. The study of the rentability was calculated and it will be obtained 4.769.840€ of benefits, the 27,80% of the money invested.



## **DOCUMENTO N°1, MEMORIA**

- 1.1 Memoria descriptiva:      pág.19
- 1.2 Cálculos:                    pág.59
- 1.3 Estudio económico:        pág.124
- 1.4 Anexos:                      pág.128

## **DOCUMENTO N°2, PLANOS**

- 2.1 Lista de planos:            pág.152
- 2.2 Planos:                      pág.153

## **DOCUMENTO N°3, PLIEGO DE CONDICIONES**

- 3.1 Generales y económicas:  pág.171
- 3.2 Técnicas y particulares:  pág.204

## **DOCUMENTO N°4, PRESUPUESTO**

- 4.1 Mediciones:                pág.216
- 4.2 Precios unitarios:         pág.218
- 4.3 Sumas parciales:         pág.220
- 4.4 Presupuesto general:     pág.222

## **DOCUMENTO N°5, BIBLIOGRAFÍA**

- 5.1 Bibliografía:                pág.224



## **DOCUMENTO Nº1, MEMORIA**

## **DOCUMENTO N°1, MEMORIA**

### ÍNDICE

Memoria descriptiva:	pág.19
Cálculos:	pág.59
Estudio económico:	pág.124
Anexos:	pág.128

## **MEMORIA DESCRIPTIVA**

## ÍNDICE

1. Objeto del proyecto:	pág.21
2. Alcance del proyecto:	pág.21
3. Antecedentes:	pág.22
4. Normas y referencias:	pág.22
5. Localización de la subestación:	pág.23
6. Condiciones climatológicas y ambientales:	pág.23
7. Integración en el entorno:	pág.24
8. Impacto ambiental:	pág.25
9. Disposición de la subestación:	pág.27
10. Tecnología a utilizar:	pág.30
11. Necesidades eléctricas:	pág.30
12. Aparamenta:	pág.32
13. Integración en el entorno:	pág.44
14. Embarrados:	pág.45
15. Red de tierras:	pág.49
16. Aisladores de apoyo:	pág.50
17. Estructuras metálicas:	pág.52
18. Obra civil:	pág.52
19. Sistemas de protecciones:	pág.55
20. Servicios auxiliares:	pág.56
21. Sistemas antiincendios:	pág.58
22. Sistemas anti intrusos:	pág.58

## 1. Objeto del proyecto

El objetivo principal del proyecto es la instalación de una subestación con el fin de ampliar la red de transporte española de alta tensión y mejorar el mallado de la misma, mejorando así la disponibilidad de la red. Las líneas que conectará la subestación serán de 220KV y 400KV, respectivamente.

Se tendrá como objetivo la tramitación oficial, obteniendo las autorizaciones administrativas necesarias para legalizar la construcción, cumpliendo con la planificación de la red de transporte publicada por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, y cumpliendo con el Reglamento de Alta Tensión (RAT).

El diseño completo tendrá en cuenta las necesidades eléctricas y los requisitos del sistema, eligiendo la configuración y la disposición adecuadas.

Se realizará el estudio económico que garantice la viabilidad del proyecto.

## 2. Alcance del proyecto

Para el diseño de la subestación se elegirá la disposición de la misma, la tecnología y la aparamenta a utilizar. Se buscará un terreno apropiado para el emplazamiento de la subestación, y se realizarán los cálculos y los planos necesarios para la implantación de la subestación.

También será necesario especificar la obra civil, con sus accesos y edificaciones, definir las protecciones del sistema, los servicios auxiliares y las comunicaciones.

Por último, se elaborará el presupuesto general de la instalación y el estudio de rentabilidad de la obra.

### 3. Antecedentes

Se realizará el diseño de una subestación de transporte pura que constará de un parque de 400kV en el que desembocarán 5 líneas de 400kV (denominadas líneas 1, 2, 3, 4 y 5) y otro parque de 220kV en el que terminarán otras 6 líneas de 220kV (denominadas líneas 6, 7, 8, 9, 10 y 11, respectivamente).

La principal función de la subestación es la de conectar un conjunto de líneas de dos niveles de tensión distintos (400kV y 220kV), a través de un transformador 400/220 kV y 600MVA, para ampliar la red de transporte de alta tensión y permitir un mejor mallado de la red. Con esto se pretende mejorar la calidad del servicio de la red eléctrica española.

El nombre de la subestación será el de Subestación de Ocaña, debido a su situación geográfica al sur de esta localidad y sus coordenadas serán latitud 39°55'11.09"N y longitud 3°29'51.92"O. La ubicación consta de una gran extensión de terreno disponible y facilidad del acceso al tratarse de un terreno muy bien comunicado.

### 4. Normas y referencias

En el diseño de la subestación eléctrica se deberá tener en cuenta la normativa actual reflejada en el Reglamento de Alta Tensión (RAT), que ha sido expuesta en el Boletín Oficial del Estado (BOE) en el Real Decreto 337/2014, publicado el 9 de mayo. En este decreto se aprueban tanto el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión, como sus Instrucciones Técnicas Complementarias, concretamente ITC-RAT 01 hasta ITC-RAT 23. También se utilizarán las siguientes normas:

- Normativa de RED ELÉCTRICA (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).

## 5. Localización de la subestación

La Subestación de Ocaña se encuentra situada a 4,5 km al sur de la ciudad de Ocaña, en la provincia de Toledo (Castilla la Mancha). Las coordenadas de la subestación son latitud 39°55'11.09"N y longitud 3°29'51.92"O.

Respecto del terreno, se dispondrán de 15 hectáreas, de las cuales 8,43 serán ocupadas por la subestación.

En el plano de situación de la zona, que se encuentra en el apartado correspondiente, se puede observar el terreno que ocupa la subestación. Dichos planos se obtuvieron en la página web del Instituto Geográfico Nacional.

## 6. Condiciones climatológicas y ambientales

En condiciones normales de servicio:

- Temperatura máxima del aire ambiente < 40°C.
- Temperatura mínima del aire ambiente > -5°C.
- Altitud sobre el nivel del mar < 1000m.
- Valor medio de la humedad relativa < 95%.

-Vibraciones causadas por causas externas a la apartamenta o a seísmos deben de ser insignificantes.

-Aire ambiente no debe superar los límites fijados a nivel de contaminación II (Tabla I IEC 815).

-Velocidad del viento < 140km/h.

Las temperaturas entran en el rango de condiciones normales de servicio. La altitud de Ocaña es de 730m sobre el nivel del mar y su valor medio de humedad relativa es inferior al 60%. Los valores máximos de velocidad de viento registrados son inferiores a 120km/h y no se trata de una zona con contaminación importante, al estar relativamente alejada de zonas industrializadas y urbanas. Además, no se trata de una zona de actividad sísmica. Tampoco es una zona en la que se registran heladas importantes.

## 7. Integración en el entorno

La Subestación de Ocaña se encuentra en una zona no urbanizable, es decir, un terreno en el que no hay viviendas cercanas y no tiene una especial protección. Por este motivo, no será de especial importancia que la subestación se mimetice con el entorno y la llegada de las líneas de alta tensión a la subestación será aérea.

No serán necesarias medidas para reducir el ruido provocado por la apartamenta de la subestación debido a que la población más cercana se encuentra a más de 4km de distancia.

Según el ITC-RAT-15, la subestación debe estar protegida por una valla de mínimo 2,2m de altura, provista de señales de advertencia de peligro por alta tensión.

El estudio sobre el posible impacto ambiental en la zona se encuentra en el apartado siguiente.

## 8. Impacto ambiental

Se estudiará los posibles efectos que se produzcan en el medio ambiente y en el entorno, tanto en la fase de construcción como en la fase de funcionamiento. También se determinarán medidas que solucionen estos efectos.

### 8.1. Impacto sobre la geología

- Fase de construcción

Se producirán impactos sobre el terreno, provocados por los movimientos de tierras, aunque serán de poca magnitud por el poco desnivel del terreno.

- Fase de funcionamiento

No se pronostican cambios en el terreno durante esta fase.

### 8.2. Impacto sobre la hidrología

- Fase de construcción

Durante esta fase, se produciría un leve impacto sobre las aguas subterráneas, que será previsto y se determinarán las medidas adecuadas.

- Fase de funcionamiento

Se tomarán medidas preventivas para posibles fugas de aceite en el transformador. Estas medidas están expuestas en el Documento 3, Pliego de Condiciones.

### 8.3. Impacto sobre la atmósfera

- Fase de construcción

Las distintas partículas y gases emitidos durante la construcción no tendrán apenas efecto sobre la población más cercana por su distancia y por las escasas lluvias y vientos en la zona.

De la misma manera tampoco influirá el aumento del nivel de ruido en la zona.

- Fase de funcionamiento

El aumento del nivel de ruido no influirá sobre la población más cercana al tratarse de una zona no urbana.

Se tomarán las medidas necesarias para evitar la fuga del gas SF<sub>6</sub>, que quedan expuestas en el Documento 3, Pliego de Condiciones.

### 8.4. Impacto sobre la fauna

- Fase de construcción

El impacto en la fauna se considera nulo por la poca diversidad existente en la zona.

- Fase de funcionamiento

El impacto en la fauna se considera nulo por la poca diversidad existente en la zona.

## 8.5. Impacto sobre la vegetación

- Fase de construcción

Se eliminará la vegetación de la zona durante el movimiento de tierras. Al tratarse de una zona con poca vegetación el impacto no será importante.

- Fase de funcionamiento

No se producirán impactos sobre la vegetación durante el funcionamiento de la subestación.

## 9. Descripción de la subestación

Respecto al diseño de la subestación, se elige la disposición de interruptor y medio. Esta disposición consta de tres interruptores en serie entre ambas barras principales, por lo que a cada circuito le corresponden dos interruptores, de los cuales uno es compartido con otro circuito (de ahí el nombre).

Las razones por las que se elige esta disposición, a pesar de tener un coste elevado, son por su flexibilidad, seguridad y regularidad. Esta disposición ofrece una mayor versatilidad que otras disposiciones más económicas, como la doble barra que tiene una menor garantía de asegurar el servicio, por lo que no conviene utilizarla en una subestación de este tipo.

Por otro lado, también se descarta la disposición doble barra con doble interruptor porque a pesar de que el grado de seguridad del servicio es más elevado que en el caso de interruptor y medio, sus costes son muy elevados. Se considera que el grado de seguridad transmitida por la

disposición de interruptor y medio es suficiente para la subestación que se quiere realizar.

Esta configuración se utilizará tanto en el parque de 400kV como en el parque de 220kV y su esquema unifilar se encuentra representado en el apartado correspondiente a los planos de la subestación.

El parque de 400kV está compuesto por 6 calles y 10 posiciones, siendo 3 de ellas posiciones de reserva, 5 de ellas posiciones de línea y 2 de ellas posiciones del transformador de 400/220kV:

Calle 1:

Posición 11: Línea 1

Posición 21: Línea 4

Calle 2:

Posición 12: Línea 2

Posición 22: Línea 5

Calle 3:

Posición 13: Línea 3

Calle 4:

Posición 14: Reserva 1

Posición 24: Reserva 2

Calle 5:

Posición 15: Reserva 3

Calle 6:

Posición 16: 1<sup>er</sup> transformador 400/220kV

Posición 26: 2<sup>o</sup> transformador 400/220kV

El parque de 220kV está compuesto por 5 calles y 10 posiciones, siendo 2 de ellas posiciones de reserva, 6 de ellas posiciones de línea y 2 de ellas posiciones del transformador de 400/220kV:

Calle 1:

Posición 11: Línea 6

Posición 21: Línea 9

Calle 2:

Posición 12: Línea 7

Posición 22: Línea 10

Calle 3:

Posición 13: Línea 8

Posición 23: Línea 11

Calle 4:

Posición 14: Reserva 4

Posición 24: Reserva 5

Calle 5:

Posición 15: 1<sup>er</sup> transformador 400/220kV

## 10. Tecnología de la subestación

La tecnología elegida en el diseño de la subestación es la tecnología AIS (Air Insulated Substation). Este tipo de subestaciones tiene la característica de que sus principales aislamientos están expuestos a los gases atmosféricos, puesto que son aislamientos externos.

En el caso de la subestación a diseñar, el amplio terreno disponible al encontrarse en un ambiente no urbanizado permite que el aislamiento por aire sea la mejor opción, puesto que su mayor inconveniente es que ocupa mayor extensión que la tecnología GIS o HIS. Tampoco se dan condiciones en el medio ambiente que impidan el uso de esta tecnología (como se observa en el apartado de impacto ambiental), y tiene la ventaja de que su precio requiere una inversión menor que en el caso de las otras tecnologías. Por estas razones, el uso de la tecnología AIS se plantea como la solución más razonable.

La fiabilidad y disponibilidad de esta tecnología se fundamenta en que los aislamientos en aire recuperan la rigidez dieléctrica por sí mismos después de un fallo debido a un campo eléctrico excesivo.

## 11. Características eléctricas

Para el diseño de la subestación:

-La tensión nominal de la subestación es 400kV (parque 400kV) y 220kV (parque 220kV).

-La tensión más elevada del material es 420kV (parque 400kV) y 245kV (parque 220kV).

-La frecuencia nominal de la red es 50Hz.

-La intensidad de cortocircuito monofásica es 38kA para el parque de 400kV y 32kA para el parque de 220kV.

-La intensidad de cortocircuito trifásica es 41kA para el parque de 400kV y 33kA para el parque de 220kV.

-La corriente admisible asignada de corta duración será de 50kA y el valor de cresta de esta corriente será 2,5 veces el valor, es decir, 125kA.

-La duración de cortocircuito asignada será de 0,5s.

-La línea de fuga específica nominal mínima es de 20mm/kV.

Respecto al nivel de aislamiento:

-Para el parque de 220kV, se corresponde un nivel de aislamiento del Grupo B. La tensión más elevada del material es 245kV, lo que corresponde una tensión nominal a frecuencia industrial de 460kV y una tensión a los impulsos tipo rayo de 1050kV.

-Para el parque de 400kV, se corresponde un nivel de aislamiento del Grupo C. La tensión más elevada del material es 420kV, lo que corresponde una tensión nominal a los impulsos tipo rayo de 1425kV y una tensión nominal a los impulsos tipo maniobra de 1050kV.

Respecto a las distancias mínimas de aislamiento:

-Para el parque de 220kV, se corresponde un nivel de aislamiento del Grupo B. La tensión más elevada del material es 245kV, lo que corresponde una distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases de 2100mm.

-Para el parque de 400kV, se corresponde un nivel de aislamiento del Grupo C. La tensión más elevada del material es 420kV, lo que corresponde una distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra de

2600mm Conductor/Estructura y 3400mm Punta/Estructura y una distancia mínima de aislamiento en aire entre fases de 3600mm Conductor/Estructura y 4200mm Punta/Estructura.

## 12. Aparamenta

La aparamenta de la subestación está compuesta de seccionadores de columnas giratorias, seccionadores pantógrafos, transformadores de intensidad, transformadores de tensión capacitivos, interruptores de potencia y autoválvulas.

- Seccionadores de columnas giratorias

Los seccionadores tienen una función de seguridad, ya que permiten aislar tramos de cortocircuito de manera visible. Deben cumplir con la ITC-RAT-06.

-Parque 400kV:

Para el parque de 400kV se eligen 42 seccionadores de columnas giratorias de doble apertura lateral de los modelos SG3CT-420/4000 y SG3C-420/4000 de la empresa MESA.

Características del modelo:

- Peso: 1425kg (SG3C-420/4000) y 1475kg (SG3CT-420/4000).
- Tensión nominal: 420kV.
- Intensidad nominal: 4000A.
- Tensión de ensayo:
  - A tierra y entre polos:
    - A frecuencia industrial bajo lluvia: 520kV.
    - A impulso tipo rayo: 1425kV.
    - A impulso tipo maniobra: 1050kV.

- Sobre la distancia de seccionamiento:

-A frecuencia industrial bajo lluvia: 610kV.

-A impulso tipo rayo: 1665kV.

-A impulso tipo maniobra: 1245kV.

- Intensidad de corta duración: 63kA.
- Valor de cresta de la intensidad: 160kA.
- Tipo de aislador: C8-1550.

-Parque 220kV:

Para el parque de 220kV se eligen 40 seccionadores de columnas giratorias de doble apertura lateral de los modelos SG3C-245/2000 y SG3CT-245/2000 de la empresa MESA.

Características del modelo:

- Peso: 2020kg (SG3C-245/2000) y 2160kg (SG3CT-245/2000).
- Tensión nominal: 245kV.
- Intensidad nominal: 2000A.
- Tensión de ensayo:
  - A tierra y entre polos:
    - A frecuencia industrial bajo lluvia: 460kV.
    - A impulso: 1050kV.
  - Sobre la distancia de seccionamiento:
    - A frecuencia industrial bajo lluvia: 530kV.
    - A impulso: 1200kV.
- Intensidad de corta duración: 50kA.
- Valor de cresta de la intensidad: 125kA.
- Tipo de aislador: C4-1050.

- Seccionadores pantógrafos

Al igual que los seccionadores de columnas giratorias, deben cumplir con la ITC-RAT-06.

-Parque 400kV:

Para el parque de 400kV se eligen 10 seccionadores pantógrafos de los modelos SPD-420/4000 de la empresa MESA.

Características del modelo:

- Peso: 150kg (SPD-420/4000) y 200kg (SPDT-420/4000).
- Tensión nominal: 420kV.
- Intensidad nominal: 4000A.
- Tensión de ensayo:
  - A tierra y entre polos:
    - A frecuencia industrial bajo lluvia: 520kV.
    - A impulso tipo rayo: 1425kV.
    - A impulso tipo maniobra: 1050kV.
  - Sobre la distancia de seccionamiento:
    - A frecuencia industrial bajo lluvia: 610kV.
    - A impulso tipo rayo: 1665kV.
    - A impulso tipo maniobra: 1245kV.
- Intensidad de corta duración: 63kA.
- Valor de cresta de la intensidad: 160kA.
- Tipo de aislador: C8-1425.

-Parque 220kV:

Para el parque de 220kV se eligen 10 seccionadores pantógrafos de los modelos SPD-245/4000 de la empresa MESA.

Características del modelo:

- Peso: 133kg (SPD-420/4000) y 183kg (SPDT-420/4000).
  - Tensión nominal: 245kV.
  - Intensidad nominal: 4000A.
  - Tensión de ensayo:
    - A tierra y entre polos:
      - A frecuencia industrial bajo lluvia: 460kV.
      - A impulso tipo rayo: 1050kV.
    - Sobre la distancia de seccionamiento:
      - A frecuencia industrial bajo lluvia: 530kV.
      - A impulso: 1200kV.
  - Intensidad de corta duración: 63kA.
  - Valor de cresta de la intensidad: 160kA.
  - Tipo de aislador: C8-1050.
- Transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad se utilizan para transformar las intensidades primarias a secundarias adecuadas y normalizadas a los dispositivos de medida y protección y para proporcionar un aislamiento eléctrico entre la alta tensión y los dispositivos de medida y protección. Deben cumplir con lo establecido en la ITC-RAT-08.

-Parque 400kV:

Para el parque de 400kV se eligen 22 transformadores de intensidad del modelo CA-420 de la empresa Artech.

#### Características del modelo:

- Peso: 920kg.
- Tensión máxima de servicio: 420kV.
- Línea de fuga estándar: 10500mm.
- Tipo de aislamiento: papel-aceite.
- Intensidades de cortocircuito: hasta 120kA/s.
- Intensidades primarias: hasta 5000A.
- Intensidades secundarias: 5A.
- Temperaturas mínimas: -55°C.
- Temperaturas máximas: 55°C.
- Altitudes: superiores a 1000m sobre el nivel del mar.
- Respuesta óptima en condiciones extremas: ambientes salinos, contaminados, seísmos...
- Tensiones de ensayo:
  - A frecuencia industrial: 630kV.
  - A impulso tipo rayo: 1425kV.
  - A impulso tipo maniobra: 1050kV.
- Dimensiones:
  - A:600mm.
  - T:3875mm.
  - H:4355mm.

#### -Parque 220kV:

Para el parque de 220kV se eligen 20 transformadores de intensidad del modelo CA-245 de la empresa Arteche.

#### Características del modelo:

- Peso: 560kg.
- Tensión máxima de servicio: 245kV.

- Línea de fuga estándar: 6125mm.
  - Tipo de aislamiento: papel-aceite.
  - Intensidades de cortocircuito: hasta 120kA/s.
  - Intensidades primarias: hasta 5000A.
  - Intensidades secundarias: 5A.
  - Temperaturas mínimas: -55°C.
  - Temperaturas máximas: 55°C.
  - Altitudes: superiores a 1000m sobre el nivel del mar.
  - Respuesta óptima en condiciones extremas: ambientes salinos, contaminados, seísmos...
  - Tensiones de ensayo:
    - A frecuencia industrial: 460kV.
    - A impulso: 1050kV.
  
  - Dimensiones:
    - A:450mm.
    - T:2755mm.
    - H:3055mm.
- Transformadores de tensión capacitivos

Los transformadores de tensión capacitivos se utilizan para para transformar las tensiones primarias a secundarias adecuadas y normalizadas a los dispositivos de medida y protección y para proporcionar un aislamiento eléctrico entre la alta tensión y los dispositivos de medida y protección. Deben cumplir la ITC-RAT-08.

-Parque 400kV:

Para el parque de 400kV se eligen 12 transformadores de tensión capacitivos del modelo DFK-420 de la empresa Arteche.

Características del modelo:

- Peso: 670kg.
- Tensión máxima de servicio: 420kV.
- Línea de fuga estándar: 10500mm.
- Tipo de aislamiento: papel-aceite.
- Capacidad estándar: 3500pF.
- Alta capacidad: hasta 7700pF.
- Clases y potencias de precisión estándar: 250VA Clase 0,5/ 3P.
- Temperaturas mínimas: -55°C.
- Temperaturas máximas: 55°C.
- Altitudes: superiores a 1000m sobre el nivel del mar.
- Respuesta óptima en condiciones extremas: ambientes salinos, contaminados, seísmos...
- Tensiones de ensayo:
  - A frecuencia industrial: 630kV.
  - A impulso tipo rayo: 1425kV.
  - A impulso tipo maniobra: 1050kV.
- Dimensiones:
  - A:450mm.
  - H:4595mm.

-Parque 220kV:

Para el parque de 220kV se eligen 12 transformadores de tensión capacitivos del modelo DFK-245 de la empresa Arteche.

#### Características del modelo:

- Peso: 450kg.
  - Tensión máxima de servicio: 245kV.
  - Línea de fuga estándar: 6125mm.
  - Tipo de aislamiento: papel-aceite.
  - Capacidad estándar: 5800pF.
  - Alta capacidad: hasta 11000pF.
  - Clases y potencias de precisión estándar: 250VA Clase 0,5/ 3P.
  - Temperaturas mínimas: -55°C.
  - Temperaturas máximas: 55°C.
  - Altitudes: superiores a 1000m sobre el nivel del mar.
  - Respuesta óptima en condiciones extremas: ambientes salinos, contaminados, seísmos...
  - Tensiones de ensayo:
    - A frecuencia industrial: 460kV.
    - A impulso: 1050kV.
  - Dimensiones:
    - A:450mm.
    - H:2885mm.
- Interruptores de potencia

Los interruptores de potencia se utilizan para realizar las distintas maniobras de un circuito en condiciones de intensidad nominal, sobreintensidad y cortocircuitos. Deben cumplir con la ITC-RAT-06.

#### -Parque 400kV:

Para el parque de 400kV se eligen 16 interruptores de potencia del modelo 3AT2/3 de la empresa Siemens.

##### Características del modelo:

- Tensión nominal: 420kV.
- Cantidad de cámaras de extinción por polo: 2.
- Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1min: 610kV.
- Tensión de prueba a impulso por rayo: 1425kV.
- Tensión de prueba de impulso de maniobra: 1050kV.
- Corriente nominal: hasta 4000A.
- Corriente nominal de corta duración: hasta 63kA.
- Corriente nominal de cortocircuito: hasta 63kA.
- Temperaturas mínimas: -25°C.
- Temperaturas máximas: 50°C.
- Frecuencia: 50Hz.
- Tiempo de ruptura: 2 ciclos.
- Ciclo nominal de operación: O-0,3s-CO-3min-CO o CO-15s-CO.
- Mantenimiento después de: 25 años.

#### -Parque 220kV:

Para el parque de 220kV se eligen 15 interruptores de potencia del modelo 3AT2/3 de la empresa Siemens.

##### Características del modelo:

- Tensión nominal: 245kV.
- Cantidad de cámaras de extinción por polo: 2.
- Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1min: 460kV.
- Tensión de prueba a impulso por rayo: 1050kV.
- Corriente nominal: hasta 4000A.
- Corriente nominal de corta duración: hasta 80kA.
- Corriente nominal de cortocircuito: hasta 80kA.

- Temperaturas mínimas: -25°C.
  - Temperaturas máximas: 50°C.
  - Frecuencia: 50Hz.
  - Tiempo de ruptura: 2 ciclos.
  - Ciclo nominal de operación: O-0,3s-CO-3min-CO o CO-15s-CO.
  - Mantenimiento después de: 25 años.
- Autoválvulas

Las autoválvulas tienen la función de limitar las distintas sobretensiones a valores controlados para proteger el resto de la aparamenta.

Los cálculos para elegir las autoválvulas necesarias para la subestación se realizan en el apartado correspondiente a los cálculos.

-Parque 400kV:

Para el parque de 400kV se eligen 16 autoválvulas del modelo EXLIM P 420 descargador de óxido de cinc de la empresa ABB.

Características del modelo:

- Tensión máxima de red: 420kV.
- Tensión nominal: 360kV.
- Tensión de trabajo continuo máxima: 267kV.
- Capacidad de sobretensiones temporales:
  - 1s: 417kV.
  - 10s: 396kV.
- Tensión residual máxima con onda de corriente:
  - 30/60  $\mu$ s:
    - 1kA: 702kV.
    - 2kA: 728kV.

-3kA: 746kV.

- 8/20  $\mu$ s:

-5kA: 779kV.

-10kA: 819kV.

-20kA: 897kV.

-40kA: 983kV.

- Corriente de descarga nominal: 20kA.
- Corriente de clasificación: hasta 10/15kA.
- Resistencia de corriente de descarga: 100kA.
- Capacidad de energía: Clase 4.
- Capacidad de cortocircuito: 65kA.
- Frecuencia: 50Hz.
- Temperatura máxima: 45°C.
- Temperatura mínima: -50°C.
- Altura de diseño: máximo 1000m.
- Resistencia mecánica:

-Carga de servicio estática admisible: 7200Nm.

-Carga de servicio dinámica admisible: 18000Nm.

-Parque 220kV:

Para el parque de 220kV se eligen 16 autoválvulas del modelo EXLIM Q-E 245 descargador de óxido de cinc de la empresa ABB.

Características del modelo:

- Tensión máxima de red: 245kV.
- Tensión nominal: 198kV.
- Tensión de trabajo continuo máxima: 156kV.
- Capacidad de sobretensiones temporales:

-1s: 229kV.

-10s: 217kV.

○ Tensión residual máxima con onda de corriente:

▪ 30/60  $\mu$ s:

-0,5kA: 381kV.

-1kA: 393kV.

-2kA: 408kV.

▪ 8/20  $\mu$ s:

-5kA: 443kV.

-10kA: 466kV.

-20kA: 512kV.

-40kA: 573kV.

○ Corriente de descarga nominal: 10kA.

○ Corriente de clasificación: hasta 10kA.

○ Resistencia de corriente de descarga: 100kA.

○ Capacidad de energía: Clase 3.

○ Capacidad de cortocircuito: 65kA.

○ Frecuencia: 50Hz.

○ Temperatura máxima: 45°C.

○ Temperatura mínima: -50°C.

○ Altura de diseño: máximo 1000m.

○ Resistencia mecánica:

-Carga de servicio estática admisible: 3000Nm.

-Carga de servicio dinámica admisible: 7500Nm.

### 13. Transformadores de potencia

Se instalarán transformadores de potencia de la empresa ABB. Se dispondrá de dos bancos de tres transformadores monofásicos 400/220kV y 600MVA. Se construirán según la ITC-RAT-07.

Las características entregadas a ABB son:

-Nº de fases: monofásico

-Frecuencia nominal: 50Hz

-Instalación: Intemperie

-Relación de transformación: 400/220  $\pm$  15% kV

-Potencia nominal:

- Arrollamiento primario: 600MVA
- Arrollamiento secundario: 600MVA
- Arrollamiento terciario: 50MVA

-Tensión nominal:

- Arrollamiento primario: 400kV
- Arrollamiento secundario: 220kV
- Arrollamiento terciario: 33kV

-Intensidad nominal:

- Arrollamiento primario: 2598A
- Arrollamiento secundario: 4724A
- Arrollamiento terciario: 2624A

-Máxima tensión de servicio: 420kV

-Intensidad de cortocircuito:

- En 420kV: 50kA
- En 220kV: 50kA
- En 33kV: 40kA

-Grupo de conexión: YNd11

## 14. Embarrados

Los embarrados son el conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como medio de conexión de los distintos elementos de alta tensión de la subestación.

Se dividen en embarrados principales, embarrados secundarios y embarrados de tendido alto.

- Embarrados principales

Los embarrados principales o embarrados altos son tubos de aluminio que tienen las siguientes características:

- Parque 400kV

- Aleación: AlMgSiO, 5 F22

- Designación: EN AW-6060 T66

- Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>

- Módulo de elasticidad: 70000N/mm<sup>2</sup>

- Resistencia a la tracción: 215N/mm<sup>2</sup>

- Límite elástico: 160N/mm<sup>2</sup>

- Composición:

- Silicio: 0,3%-0,6%

- Hierro: 0,1%-0,3%

- Cobre: 0,1%

- Magnesio: 0,35%

- Manganeso: 0,1%

- Cromo: 0,05%

- Zinc: 0,15%

- Titanio: 0,1%

- Otros elementos: 0,15%

- Aluminio: resto

- Diámetro exterior: 250mm

- Diámetro interior: 228mm
- Sección total conductor: 8259mm<sup>2</sup>
- Intensidad admisible permanente a 85°C: 7824A

- Parque 220kV

- Aleación: AlMgSiO, 5 F22
- Designación: EN AW-6060 T66
- Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad: 70000N/mm<sup>2</sup>
- Resistencia a la tracción: 215N/mm<sup>2</sup>
- Límite elástico: 160N/mm<sup>2</sup>
- Composición:
  - Silicio: 0,3%-0,6%
  - Hierro: 0,1%-0,3%
  - Cobre: 0,1%
  - Magnesio: 0,35%
  - Manganeso: 0,1%
  - Cromo: 0,05%
  - Zinc: 0,15%
  - Titanio: 0,1%
  - Otros elementos: 0,15%
  - Aluminio: resto
- Diámetro exterior: 150mm
- Diámetro interior: 134mm
- Sección total conductor: 3569mm<sup>2</sup>
- Intensidad admisible permanente a 85°C: 4408A

- Embarrados secundarios

Los embarrados secundarios o embarrados bajos son tubos de aluminio que se utilizan para la conexión de la aparamenta y tienen las siguientes características:

- Parque 400kV
  - Aleación: AlMgSiO, 5 F22
  - Designación: EN AW-6060 T66
  - Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>
  - Módulo de elasticidad: 70000N/mm<sup>2</sup>
  - Resistencia a la tracción: 215N/mm<sup>2</sup>
  - Límite elástico: 160N/mm<sup>2</sup>
  - Composición:
    - Silicio: 0,3%-0,6%
    - Hierro: 0,1%-0,3%
    - Cobre: 0,1%
    - Magnesio: 0,35%
    - Manganeso: 0,1%
    - Cromo: 0,05%
    - Zinc: 0,15%
    - Titanio: 0,1%
    - Otros elementos: 0,15%
    - Aluminio: resto
  - Diámetro exterior: 150mm
  - Diámetro interior: 134mm
  - Sección total conductor: 3569mm<sup>2</sup>
  - Intensidad admisible permanente a 85°C: 4408A
  
- Parque 220kV
  - Aleación: AlMgSiO, 5 F22
  - Designación: EN AW-6060 T66
  - Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>
  - Módulo de elasticidad: 70000N/mm<sup>2</sup>
  - Resistencia a la tracción: 215N/mm<sup>2</sup>
  - Límite elástico: 160N/mm<sup>2</sup>
  - Composición:
    - Silicio: 0,3%-0,6%
    - Hierro: 0,1%-0,3%

- Cobre: 0,1%
- Magnesio: 0,35%
- Manganeso: 0,1%
- Cromo: 0,05%
- Zinc: 0,15%
- Titanio: 0,1%
- Otros elementos: 0,15%
- Aluminio: resto
- Diámetro exterior: 100mm
- Diámetro interior: 88mm
- Sección total conductor: 1772mm<sup>2</sup>
- Intensidad admisible permanente a 85°C: 2040A

- Embarrados de tendido alto

Los embarrados de tendido alto están formados por cables de aluminio con alma de acero que se utilizan para tareas de conexión. Las características son las siguientes:

- Parque 400kV

- Tipo de cable: FALCON Dúplex
- Nº alambres alum/acero: 54/19
- Diámetro alambre aluminio: 4,36mm
- Diámetro alambre acero: 2,62mm
- Área aluminio: 805,86mm<sup>2</sup>
- Área acero: 102,12 mm<sup>2</sup>
- Diámetro total: 39,2mm
- Carga rotura: 24780kg
- Resistencia eléctrica DC a 20°C: 0,0353Ω/km
- Peso total: 3045kg/km

- Parque 220kV

- Tipo de cable: RAIL Dúplex
- Nº alambres alum/acero: 45/7
- Diámetro alambre aluminio: 3,70mm
- Diámetro alambre acero: 2,47mm
- Área aluminio: 483,32mm<sup>2</sup>
- Área acero: 33,43 mm<sup>2</sup>
- Diámetro total: 29,59mm
- Carga rotura: 11773kg
- Resistencia eléctrica DC a 20°C: 0,0591Ω/km
- Peso total: 1601kg/km

El amarre de estas conexiones se realizará mediante cadenas de aisladores, de vidrio.

## 15. Red de tierras

- Red de tierras inferiores

El terreno consiste en caliza blanda con una resistividad de aproximadamente 300Ωm, con una resistividad mejorada de 80Ωm en el interior de la subestación. Además, el terreno estará recubierto por una capa de grava de 10cm de espesor con una resistividad de aproximadamente 3000Ωm.

La puesta a tierra tiene como objetivo básico y prioritario la protección de las personas y de las instalaciones a través de la derivación de las corrientes que se puedan generar al terreno debido a las líneas de tierra que conectan los electrodos y los propios electrodos de puesta a tierra. Esto proporcionaría un circuito con una impedancia baja, además de limitar las sobretensiones internas y reducir la diferencia de potencial que se puede producir entre la tierra y toda estructura metálica perteneciente a la instalación.

Se debe cumplir en todo momento con lo establecido en el ITC-RAT-13, de tal manera que nunca se sobrepasen las tensiones de contacto y de paso admisibles.

En la sección de cálculos se han realizado los cálculos correspondientes a la red de tierras inferiores.

La red de tierras está compuesta por una malla de tierra, sin picas de 7x7 metros, con cable de cobre de sección 120mm<sup>2</sup> y enterrada a 0,8 metros de profundidad.

- Red de tierras superiores

La red de tierras superiores está compuesta por pararrayos de punta Franklin para proteger a la subestación de las distintas descargas que provengan de la atmósfera. La red de tierras superiores estará conectada a la red de tierras inferiores.

En la sección de cálculos se han realizado los cálculos correspondientes a la red de tierras superiores.

## 16. Aisladores de apoyo

Los aisladores de apoyo de los embarrados son de las siguientes características:

- Parque 400kV

En los tramos del vano A, correspondientes al embarrado principal de 400kV, se instalan aisladores C16-1550 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 16000N

Carga de rotura a torsión: 6000N

Altura del aislador: 3350mm

Altura de la pieza soporte: 220mm

En los tramos del vano B, correspondientes al embarrado secundario de 400kV, se instalan aisladores C8-1425 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 8000N

Carga de rotura a torsión: 4000N

Altura del aislador: 3150mm

Altura de la pieza soporte: 170mm

- Parque 220kV

En los tramos del vano C, correspondientes al embarrado principal de 220kV, se instalan aisladores C8-1050 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 8000N

Carga de rotura a torsión: 4000N

Altura del aislador: 2300mm

Altura de la pieza soporte: 170mm

En los tramos del vano D, correspondientes al embarrado secundario de 220kV, se instalan aisladores C6-1050 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 6000N

Carga de rotura a torsión: 3000N

Altura del aislador: 2300mm

Altura de la pieza soporte: 140mm

## 17. Estructuras metálicas

En la subestación se instalarán 2 pórticos por posición en ambos parques (ambos parques con configuración de interruptor y medio y 10 posiciones cada uno).

Estas estructuras metálicas se construirán con perfiles de acero galvanizado (recubierto por varias capas de zinc para evitar su oxidación) de alma llena.

Los pórticos tendrán una altura de 25 metros, superior a la mínima exigida por el Reglamento de Líneas de Alta Tensión.

Respecto a los soportes de la aparamenta, deben de tener una altura superior a 5,9m (2,5m de la estructura soporte + 3,4m punta-estructura especificada en el apartado de Características eléctricas) en el parque de 400kV y 4,9m (2,5m de la estructura soporte + 2,4m punta-estructura) en el parque de 220kV. Se cumplirá con lo expuesto en las ITC-RAT-12 y 15.

Se ha elegido una altura de 7,5m para los soportes de la aparamenta del parque de 400kV y 6m para los del parque de 220kV.

## 18. Obra civil

- Movimiento de tierras

Se explanará la plataforma de la subestación, con tamaño suficiente para el parque de 400kV y el parque de 220kV, con 6 y 5 calles respectivamente y para las distintas instalaciones y construcciones adyacentes (edificio de control, aparcamiento, depósito de agua, etc). La vegetación del terreno se eliminará, como se explica en el apartado de Impacto ambiental, y se construirá el camino de acceso a la subestación.

Los movimientos de tierras se harán en función del estudio geotécnico realizado de forma previa al proyecto. En el estudio se decide la pendiente de la plataforma y la correcta evacuación de aguas.

El terreno es adecuado al cumplir las características que se exponen en el Documento 3, Pliego de Condiciones.

- Vallado exterior

Como se ha explicado en apartados anteriores, según el ITC-RAT-15, la subestación debe estar protegida por una valla de mínimo 2,2m de altura, provista de señales de advertencia de peligro por alta tensión. Por lo tanto, se construirá una valla metálica de 2,3 metros de altura provista de las señales de advertencia obligatorias, para avisar a toda persona ajena a la subestación.

- Accesos

La subestación tendrá un acceso para peatones y otro para vehículos, lo suficientemente grande para que puedan entrar al recinto vehículos de grandes dimensiones, que se encuentra situado a la altura del parque de 400kV, como se observa en el plano de la planta general de la subestación. Además, se construirá una carretera para el acceso a la subestación. Todos los accesos estarán perfectamente pavimentados y asfaltados.

- Drenajes y saneamientos

Existirá una red de tubos por todo el recinto para drenar las aguas pluviales de forma rápida y eficaz, evitando acumulaciones.

Las aguas residuales provenientes del edificio principal serán evacuadas a un depósito cercano, mediante un sistema de saneamiento.

Estas aguas serán evacuadas por un camino distinto del de las aguas fluviales descritas anteriormente.

- Cimentaciones

La cimentación es la parte estructural que se encarga de transmitir las cargas al terreno y sustentar las estructuras.

Se utilizarán cimentaciones de hormigón armado para los soportes del edificio principal y cimentaciones superficiales para la aparamenta, además del apoyo de pata de elefante para los pórticos y otras estructuras metálicas, recomendada por el Reglamento de Líneas de Alta Tensión.

El cálculo de las cimentaciones queda fuera del alcance de este proyecto.

- Edificaciones

- Edificio principal

El edificio principal de la subestación se encargará de las funciones de mando y control. Tendrá unas dimensiones adecuadas metros y dispondrá de una única planta.

El edificio dispondrá de una sala de comunicaciones, cuadros de servicios auxiliares, instalaciones de alumbrado y fuerza, de instalaciones anti incendios e instalaciones anti-intrusos. Además, contará con un vestuario y unos aseos para el personal.

Se instalará un sistema de calefacción y aire acondicionado, además de sistemas de ventilación para mantener la edificación con una temperatura adecuada durante todas las estaciones del año.

El plano del edificio se encuentra en la sección planos, donde quedan fijadas las dimensiones del edificio.

Por último, se dispondrá de un depósito de 20m<sup>3</sup> para suministrar de agua al edificio.

- Casetas de relés

Se instalarán 11 casetas de relés prefabricadas de 4 x 10 metros, 6 en el parque de 400kV y 5 en el parque de 220kV. En concreto, una caseta por calle de cada parque.

En las casetas se ubicarán los bastidores de relés, los armarios de comunicaciones y los cuadros de servicios auxiliares.

Las casetas serán de hormigón armado y con cimentaciones también de hormigón.

Se instalará un equipo de aire acondicionado y radiadores eléctricos con un termostato para la calefacción.

## 19. Sistema de protecciones

Los sistemas de protección tienen el objetivo de identificar y localizar las distintas anomalías con el fin de proteger las distintas instalaciones de la subestación, además de actuar lo más rápido posible para regresar a condiciones normales de funcionamiento. Por lo tanto, deben de ser lo suficientemente sensibles, selectivos y rápidos.

Se seguirá el criterio de protecciones de la empresa Red Eléctrica de España, por lo que cada elemento dispondrá de su protección específica. Se trata de un sistema de doble protección y doble comunicación.

- Embarrados

Para los embarrados se dispondrá de relés equipado con la protección 87B, relé de protección diferencial.

Protegerá las barras y se instalará una protección primaria y otra secundaria por barra.

- Interruptores

Para los interruptores se dispondrá de relés equipados con las protecciones 27 (relé de tensión mínima), 50S-62 (fallo de interruptor) y 25 (relé de comprobación de sincronismo).

- Transformador

Para el transformador se dispondrá tanto en el lado de baja como en el lado de alta tensión de una protección 87 (relé de protección diferencial, tanto primaria como secundaria).

- Posiciones de línea

Para las posiciones de línea se contará de relés de protección que dispongan la función 21 (relé de distancia), 59 (relé de tensión máxima), 67 (relé direccional de máxima corriente), 79 (relé de reenganche) y 87 (relé de protección diferencial). Se dispondrá de dos de estos sistemas de protección, tanto primario como secundario.

## 20. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares proporcionan energía eléctrica a todas las cargas que lo requieran, interiores a la subestación.

Se dividen en dos subsistemas, servicios auxiliares en corriente alterna y servicios auxiliares en corriente continua. Los servicios auxiliares en corriente alterna alimentan al alumbrado general y a cargadores de baterías, mientras que los servicios auxiliares en corriente continua alimentan a los sistemas de control y mando, a las

protecciones, al alumbrado de emergencia, a las telecomunicaciones y a las tomas de corriente.

- Servicios auxiliares de corriente alterna

Los servicios auxiliares se alimentarán a través de un transformador de 33/0,4kV. Los 33kV se obtendrán transformando los 400kV del devanado primario a los 33kV del devanado terciario. La conexión de estos transformadores será triángulo / estrella con neutro a tierra a través de una impedancia.

También se dispondrá de una segunda alimentación consistente en un grupo electrógeno de 200kVA, 400/230V, 50Hz. El combustible será diésel y la autonomía de 48 horas.

Los servicios auxiliares de corriente alterna consistirán en:

- Cuadro general de corriente alterna instalada en el edificio de control.

- Cuadro de distribución del edificio de control, que consta de un cuadro de fuerza, un cuadro del alumbrado general y un cuadro de telecomunicaciones.

- Cuadro de distribución en cada caseta de relés.

- Servicios auxiliares de corriente continua

Constan de un sistema de 125V y otro de 48V.

- 125V: este sistema alimentará a las protecciones, al sistema de control y a las distintas tomas de fuerza. Consta de dos equipos cargador(rectificador)-batería. El rectificador es alimentado desde el cuadro de servicios auxiliares corriente alterna y alimenta a las cargas de continua, mientras en paralelo mantiene cargada la batería mediante un sistema de operación denominado flotación. La autonomía de la batería será de al menos 8 horas y la tensión de entrada será 400V (trifásicos).

-48V: este sistema alimentará al sistema de telecomunicaciones. Consta igualmente de dos equipos rectificador-batería. La entrada también será de 400V (trifásicos).

## 21. Sistemas anti incendios

Se seguirá la ITC-RAT-14 para las zonas interiores de la subestación y la ITC-RAT-15 para las zonas exteriores. Se colocará como mínimo un extintor de eficacia mínima 89B, que se colocará a menos de 15 metros de distancia de la instalación.

También se instalará un sistema de alarma anti incendios y sensores de calor (termovelocimétricos) y ópticos que puedan detectar el incendio antes de su propagación.

## 22. Sistemas anti intrusos

En la instalación solo será permitida la entrada al personal autorizado, por lo que se contará con un sistema de alarma anti intrusos y un sistema de videovigilancia. Además, todos los empleados dispondrán de su propia identificación que permitirá su acceso a la instalación.

## CÁLCULOS

## ÍNDICE

1.	Introducción:	pág.61
2.	Cálculo mecánico de embarrados rígidos:	pág.61
3.	Cálculo de distancias mínimas en embarrados tendidos:	pág.95
4.	Red de tierras:	pág.110
5.	Selección de autoválvulas:	pág.117
6.	Cálculo del efecto corona:	pág.120

## 1. Introducción

En este capítulo se tiene el objeto de justificar las distintas soluciones que se han adoptado en la subestación de Ocaña. Los cálculos que se incluyen en el documento son los siguientes:

- Cálculo mecánico de embarrados rígidos.
- Cálculo de distancias mínimas en embarrados tendidos.
- Red de tierras, tanto inferiores como superiores.
- Selección de autoválvulas.
- Cálculo del efecto corona.

En cada apartado está contenida la normativa necesaria, además de las distintas hipótesis aplicadas, los cálculos y las conclusiones.

## 2. Cálculo mecánico de embarrados rígidos

### 2.1. Hipótesis de diseño

La corriente de cortocircuito trifásica prevista a medio plazo es de 41kA en el parque de 400kV y 33kA en el parque de 220kV. Para evitar que futuras ampliaciones del sistema eléctrico supongan algún impacto en la subestación, se decide adoptar los siguientes valores de diseño:

- $I_{cc3}$  en 400kV (simétrica) = 50kA.
- $I_{cc3}$  en 220kV (simétrica) = 40kA.
- R/X (sistema) = 0,07.
- Duración del cortocircuito: 0,5s.

Conductor rígido:

Las distintas interconexiones se realizarán con los distintos tipos de tubo de aluminio:

- Barras principales en 400kV: Tubo 250/228mm.
- Barras secundarias en 400kV: Tubo 150/134mm.
- Barras principales en 220kV: Tubo 150/134mm.
- Barras secundarias en 220kV: Tubo 100/88mm.

Condiciones del vano:

La geometría y los apoyos de los vanos son los siguientes:

-Vano A; embarrado principal 400kV:

Longitud del vano: 20m

Distancia entre fases: 5m

Apoyos: Fijos

-Vano B; embarrado secundario 400kV:

Longitud del vano: 10m

Distancia entre fases: 5m

Apoyos: Fijos

-Vano C; embarrado principal 220kV:

Longitud del vano: 13,5m

Distancia entre fases: 3,5m

Apoyos: Fijos

-Vano D; embarrado secundario 220kV:

Longitud del vano: 8m

Distancia entre fases: 4m

Apoyos: Fijos

## 2.2. Condiciones de la instalación

La subestación de Ocaña se encuentra a algo más de 700 metros sobre el nivel del mar, por lo que le corresponde una zona B según el RLAT. Las condiciones climatológicas para esa zona son las siguientes:

Hielo

En zona B:  $P_H = 0,18 * \sqrt{d (mm)}$

Entonces, para el tubo de 250mm le corresponden 2,846 daN/m, al tubo de 150mm 2,205 daN/m y al tubo de 100mm 1,8 daN/m.

Viento

Para una presión de viento de 140km/h,  $P_v = 68 * (140/120)^2 = 92,56$  daN/m<sup>2</sup>.

Sismo

No se corresponde a una zona con movimientos sísmicos.

Temperaturas

El rango de temperaturas oscila entre -5°C y 40°C durante todo el año.

Contaminación

Se considera un nivel II de contaminación (nivel medio).

### 2.3. Normativa aplicable

Todos los cálculos realizados cumplen con la normativa española vigente referida a este tipo de instalaciones. Se basan en las siguientes Normas y Reglamentos:

- “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación”. Real Decreto 337/2014 del 9 de mayo.
- “Reglamento técnico sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión e instrucciones técnicas complementarias”. Real Decreto 223/2008 del 15 de febrero.
- “Instrucciones técnicas complementarias”.
- Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte I: Definiciones y métodos de cálculo”.
- Norma CEI 60909, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

En caso de que existan valores diferentes entre las distintas normas o métodos de cálculo, se considerará siempre el valor más restrictivo, por motivos de seguridad.

### 2.4. Características de los materiales y equipos a instalar

Características de los tubos de aluminio:

-Tubo 250/228

Aleación: AlMgSi0,5 F22

Diámetro exterior (D): 250mm

Diámetro interior (d): 228mm

Espesor de la pared (e): 11mm

Peso propio unitario ( $P_{pt}$ ): 22,3 kg/m  
Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>  
Sección (A): 8259mm<sup>2</sup>  
Carga de rotura del material ( $\sigma_R$ ): 215N/ mm<sup>2</sup>  
Momento de inercia (J): 5910cm<sup>4</sup>  
Momento resistente (W): 473cm<sup>3</sup>  
Módulo de Young (E): 70000N/mm<sup>2</sup>  
Límite elástico ( $R_{po2}$ ): 160N/mm<sup>2</sup>  
Coeficiente dilatación lineal ( $\alpha$ ): 0,023mm/m°C  
Intensidad máxima: 5014A

-Tubo 150/134

Aleación: AlMgSi0,5 F22  
Diámetro exterior (D): 150mm  
Diámetro interior (d): 134mm  
Espesor de la pared (e): 8mm  
Peso propio unitario ( $P_{pt}$ ): 9,63 kg/m  
Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>  
Sección (A): 3569mm<sup>2</sup>  
Carga de rotura del material ( $\sigma_R$ ): 215N/ mm<sup>2</sup>  
Momento de inercia (J): 902cm<sup>4</sup>  
Momento resistente (W): 120cm<sup>3</sup>  
Módulo de Young (E): 70000N/mm<sup>2</sup>  
Límite elástico ( $R_{po2}$ ): 160N/mm<sup>2</sup>  
Coeficiente dilatación lineal ( $\alpha$ ): 0,023mm/m°C  
Intensidad máxima: 3250A

-Tubo 100/88

Aleación: AlMgSi0,5 F22  
Diámetro exterior (D): 100mm

Diámetro interior (d): 88mm  
Espesor de la pared (e): 6mm  
Peso propio unitario ( $P_{pt}$ ): 4,78 kg/m  
Densidad: 2,7 g/cm<sup>3</sup>  
Sección (A): 1772mm<sup>2</sup>  
Carga de rotura del material ( $\sigma_R$ ): 215N/ mm<sup>2</sup>  
Momento de inercia (J): 196cm<sup>4</sup>  
Momento resistente (W): 39,3cm<sup>3</sup>  
Módulo de Young (E): 70000N/mm<sup>2</sup>  
Límite elástico ( $R_{p02}$ ): 160N/mm<sup>2</sup>  
Coeficiente dilatación lineal ( $\alpha$ ): 0,023mm/m°C  
Intensidad máxima: 2040A

#### Características de los aisladores soporte

En los tramos del vano A, correspondientes al embarrado principal de 400kV, se instalan aisladores C16-1550 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 16000N  
Carga de rotura a torsión: 6000N  
Altura del aislador: 3350mm  
Altura de la pieza soporte: 220mm

En los tramos del vano B, correspondientes al embarrado secundario de 400kV, se instalan aisladores C8-1425 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 8000N  
Carga de rotura a torsión: 4000N  
Altura del aislador: 3150mm  
Altura de la pieza soporte: 170mm

En los tramos del vano C, correspondientes al embarrado principal de 220kV, se instalan aisladores C8-1050 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 8000N  
Carga de rotura a torsión: 4000N  
Altura del aislador: 2300mm  
Altura de la pieza soporte: 170mm

En los tramos del vano D, correspondientes al embarrado secundario de 220kV, se instalan aisladores C6-1050 de POINSA, con las siguientes características:

Carga de rotura a flexión: 6000N  
Carga de rotura a torsión: 3000N  
Altura del aislador: 2300mm  
Altura de la pieza soporte: 140mm

## 2.5. Cálculo del embarrado principal de 400kV

### 2.5.1. Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásico es de 50kA, a efectos de diseño.

La intensidad de cresta (CEI 60909) se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_p = \chi * \sqrt{2} * I_{cc},$$

$$\text{Con } \chi = 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X}.$$

Para  $R/X=0,07$ ;  $\chi=1,814$ .

Se obtiene que  $I_p=128,296\text{kA}$ .

## 2.5.2. Tensión en el tubo

Esfuerzos por viento:

$$F_v = 925,6 * 250 * 10^{-3} = 231,4\text{N/m}$$

Esfuerzos por hielo:

$$F_H = 28,46\text{N/m}$$

Esfuerzos por peso propio:

$$F_{pp} = 22,3 * 9,8 = 218,5\text{N/m (peso tubo)}$$

Peso cable amortiguador FALCON = 3,045kg/m en los 4/3 del vano =  
 $4/3 * 3,045 * 9,8 = 39,83\text{N/m}$

En total:  $F_{pp} + \text{Peso cable amortiguador} = 258,33\text{N/m}$

Esfuerzos por cortocircuito:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se calcula de la siguiente expresión:

$$F_{m3st} = 0,866 * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

Donde  $I_p$  = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

$a$  = Distancia media entre fases

Operando,

$$F_{m3st} = 570,165\text{N/m}$$

La frecuencia de vibración del tubo permite hallar dos coeficientes necesarios para determinar el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el tubo. Estos dos coeficientes son  $V\sigma$  (que tiene en cuenta el efecto dinámico) y  $Vr$  (que tiene en cuenta el reenganche).

Según la CEI 865, la frecuencia de vibración de un tubo se calcula con la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{EI/m};$$

Donde:  $I$  = inercia de la sección

$m$  = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador

$E$  = Módulo de Young

$l$  = longitud del vano

$\gamma$  = coeficiente del tubo y los apoyos; 1,57.

Operando:  $f_c = 1,587\text{Hz}$

Para hallar los coeficientes  $V\sigma$  y  $Vr$ , se utilizan las siguientes expresiones:

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

$$Vr = 1 - 0,615 * \log\frac{f_c}{f};$$

Operando:

$$V\sigma = 0,251$$

$$Vr = 1,92$$

Para hallar la tensión de trabajo en el tubo provocada por esfuerzo dinámico de cortocircuito se emplea la siguiente fórmula:

$$\sigma_m = V\sigma * Vr * \beta * \frac{Fm_{3st} * l^2}{8 * z};$$

Donde:

$\beta = 1$ , según CEI 865

$z$  = Módulo resistente de la sección.

Entonces,

$$\sigma_m = 28,93\text{N/mm}^2$$

Para hallar la tensión de trabajo total es necesario realizar la suma geométrica de las tensiones que producen los distintos esfuerzos, incluido a la calculada de cortocircuito. La tensión producida por cada esfuerzo se calcula:

$$\sigma_i = \frac{1}{8} * \frac{P * l^2}{z};$$

Donde:

$P$  = carga repartida que produce el esfuerzo.

Por viento ( $P=231,4$ ):  $\sigma_v = 24,46\text{N/mm}^2$

Por peso propio ( $P=258,33$ ):  $\sigma_p = 27,31\text{N/mm}^2$

Por hielo ( $P=28,46$ ):  $\sigma_h = 3\text{N/mm}^2$

La tensión máxima se halla de la siguiente manera:

$$\sigma_t = \sqrt{(27,31 + 3)^2 + (24,46 + 28,93)^2} = 61,39\text{N/mm}^2$$

Por lo tanto, el coeficiente de seguridad respecto al límite elástico se calcula:

$$160/61,39 = 2,6$$

La norma CEI 865 establece que el tubo soporta el esfuerzo en cortocircuito si se cumple:

$$\sigma_t \leq q * R_{p02}$$

Para el tubo 250/228, q tiene valor 1,332.

$$1,332 * 160 = 213\text{N/mm}^2 > \sigma_t$$

### 2.5.3. Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios. Según la Norma CEI 865, este esfuerzo se considera como el doble del producido en el extremo del vano.

Solo se consideran las acciones horizontales. Se producen esfuerzos debido a viento sobre el tubo y a cortocircuito.

Viento sobre tubo:

$$F_v = 925,6 * 250 * 10^{-3} = 231,4\text{N/m}$$

Esfuerzo en cortocircuito:

$$F_{m3d} = 0,866 * V_f * V_r * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

$$\text{Donde } V_f = 0,839 + 3,52 * e^{-1,68*k} + 0,6 * \log \frac{f_c}{f} = 0,178$$

Por lo tanto,  $F_{m3d} = 194,97\text{N/m}$

La suma de esfuerzos sobre el soporte intermedio se halla por superposición, a través de la siguiente ecuación:

$$F_t = \sum_{i=1}^2 (F_v + F_{m3d}) * l_i * \alpha_i;$$

Donde  $\alpha_i = 0,5$ , según CEI 865.

Se obtiene  $F_t = 8527,4 \text{ N}$ , pero este esfuerzo se produce a 220mm por encima de la cabeza del aislador (sobre el eje del tubo). Por tanto:

$$F_t = 8527,4 * \frac{3350 (\text{altura aislador}) + 220}{3350} = 9087,4\text{N}$$

Viento sobre el aislador:

El viento ocasiona un esfuerzo en el aislador (además de en los tubos), cuyo valor es:

$$F_{va} = La * Da * Pv * \alpha ;$$

Donde,

La = longitud del aislador (3,15m)

Da = diámetro medio del aislador (0,35m)

Pv = presión del viento (925,6N/m)

$$\alpha = 0,5$$

Se obtiene  $F_{va} = 510,24N$

La suma de fuerzas:  $F = Ft + F_{va} = 9597,65N$

Por último, el coeficiente de seguridad será de

$$16000/9597,65 = 1,667$$

#### 2.5.4. Flecha en el tubo

Para obtener la flecha máxima para un vano se utiliza la siguiente expresión:

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

Donde:

P = fuerza vertical distribuida (N/m)

l = longitud del vano

E = Módulo de Young

I = inercia de la sección

$$f = 5,4 * 10^{-2}m = 5,4cm$$

### 2.5.5. Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado se dilatará, debido a efectos térmicos. La dilatación sigue esta expresión:

$$\Delta l = l_o * \alpha * \Delta\theta ;$$

Donde:

$l_o$  = longitud inicial del tubo

$\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal del tubo

$\Delta\theta$  = incremento de temperatura entre la de montaje y la de servicio (80°C – 35°C)

Por tanto,  $\Delta l = 20,7 \text{ mm}$

Se asegurará la instalación de piezas que puedan absorber la dilatación del embarrado.

### 2.5.6. Esfuerzo térmico en cortocircuito

Para hallar la intensidad térmica en cortocircuito se utiliza la expresión siguiente dada según la CEI 865:

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

Donde:

$m$  y  $n$  son coeficientes térmicos de disipación, cuyo valor es 0,097 y 0,758, respectivamente.

Se obtiene  $I_{\theta} = 118,63 \text{ kA}$ .

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, que se obtiene de la expresión  $S * \rho$ , donde  $\rho$  = densidad de corriente en

cortocircuito =  $120\text{A}/\text{mm}^2$ . Se obtiene  $S * \rho = 991,08\text{kA}$ , muy superior a la intensidad térmica en cortocircuito de  $118,63\text{kA}$ .

### 2.5.7. Intensidad nominal de las barras

Según el fabricante la intensidad nominal teórica es de  $5014\text{A}$  con  $30^\circ\text{C}$  de temperatura ambiente y  $65^\circ\text{C}$  de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, la intensidad debe de ser corregida según los siguientes factores:

$k_1 = 0,925$  por la aleación elegida

$k_2 = 1,25$  para temperatura final de  $80^\circ\text{C}$

$k_3 = 1$  por ser un tubo

$k_4 = 0,98$  al estar la subestación a menos de  $1000$  metros sobre el nivel del mar.

Entonces,  $I_{\text{max}} = I_n * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 = 5681,49\text{A}$  y  $S = \sqrt{3} * U * I = 3936,25$  MVA, una potencia superior a la que se necesita.

## 2.6. Cálculo mecánico del embarrado secundario de $400\text{kV}$

### 2.6.1. Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásico es de  $50\text{kA}$ , a efectos de diseño.

La intensidad de cresta (CEI 60909) se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_p = \chi * \sqrt{2} * I_{cc},$$

$$\text{Con } \chi = 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X}.$$

Para  $R/X=0,07$ ;  $\chi=1,814$ .

Se obtiene que  $I_p=128,296\text{kA}$ .

## 2.6.2. Tensión en el tubo

Esfuerzos por viento:

$$F_v = 925,6 * 150 * 10^{-3} = 138,84\text{N/m}$$

Esfuerzos por hielo:

$$F_H = 22,05\text{N/m}$$

Esfuerzos por peso propio:

$$F_{pp} = 9,63 * 9,8 = 94,37\text{N/m (peso tubo)}$$

Peso cable amortiguador FALCON = 3,045kg/m en los 4/3 del vano =  
 $4/3 * 3,045 * 9,8 = 39,79\text{N/m}$

En total:  $F_{pp} + \text{Peso cable amortiguador} = 134,16\text{N/m}$

Esfuerzos por cortocircuito:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se calcula de la siguiente expresión:

$$F_{m3st} = 0,866 * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

Donde  $I_p$  = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

$a$  = Distancia media entre fases

Operando,

$$F_{m3st} = 570,165\text{N/m}$$

La frecuencia de vibración del tubo permite hallar dos coeficientes necesarios para determinar el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el tubo. Estos dos coeficientes son  $V\sigma$  (que tiene en cuenta el efecto dinámico) y  $Vr$  (que tiene en cuenta el reenganche).

Según la CEI 865, la frecuencia de vibración de un tubo se calcula con la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{EI/m};$$

Donde:  $I$  = inercia de la sección

$m$  = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador

$E$  = Módulo de Young

$l$  = longitud del vano

$\gamma$  = coeficiente del tubo y los apoyos; 1,57.

Operando:  $f_c = 3,655\text{Hz}$

Para hallar los coeficientes  $V\sigma$  y  $Vr$ , se utilizan las siguientes expresiones:

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

$$Vr = 1 - 0,615 * \log\frac{f_c}{f};$$

Operando:

$$V\sigma = 0,448$$

$$Vr = 1,7$$

Para hallar la tensión de trabajo en el tubo provocada por esfuerzo dinámico de cortocircuito se emplea la siguiente fórmula:

$$\sigma_m = V\sigma * Vr * \beta * \frac{Fm_{3st} * l^2}{8 * z};$$

Donde:

$\beta = 1$ , según CEI 865

$z$  = Módulo resistente de la sección.

Entonces,

$$\sigma_m = 45,19\text{N/mm}^2$$

Para hallar la tensión de trabajo total es necesario realizar la suma geométrica de las tensiones que producen los distintos esfuerzos, incluido a la calculada de cortocircuito. La tensión producida por cada esfuerzo se calcula:

$$\sigma_i = \frac{1}{8} * \frac{P * l^2}{z};$$

Donde:

$P$  = carga repartida que produce el esfuerzo.

Por viento ( $P=138,84$ ):  $\sigma_v = 14,46\text{N/mm}^2$

Por peso propio ( $P=134,16$ ):  $\sigma_p = 13,98\text{N/mm}^2$

Por hielo ( $P=22,05$ ):  $\sigma_h = 2,3\text{N/mm}^2$

La tensión máxima se halla de la siguiente manera:

$$\sigma_t = \sqrt{(13,98 + 2,3)^2 + (45,19 + 14,46)^2} = 61,83\text{N/mm}^2$$

Por lo tanto, el coeficiente de seguridad respecto al límite elástico se calcula:

$$160/61,83 = 2,59$$

La norma CEI 865 establece que el tubo soporta el esfuerzo en cortocircuito si se cumple:

$$\sigma_t \leq q * R_{p02}$$

Para el tubo 150/134, q tiene valor 1,344.

$$1,344 * 160 = 215 \text{N/mm}^2 > \sigma_t$$

### 2.6.3. Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios. Según la Norma CEI 865, este esfuerzo se considera como el doble del producido en el extremo del vano.

Solo se consideran las acciones horizontales. Se producen esfuerzos debido a viento sobre el tubo y a cortocircuito.

Viento sobre tubo:

$$F_v = 925,6 * 150 * 10^{-3} = 138,84 \text{N/m}$$

Esfuerzo en cortocircuito:

$$F_{m3d} = 0,866 * V_f * V_r * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

$$\text{Donde } V_f = 0,839 + 3,52 * e^{-1,68 * k} + 0,6 * \log \frac{f_c}{f} = 0,4$$

$$\text{Por lo tanto, } F_{m3d} = 384,3 \text{N/m}$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte intermedio se halla por superposición, a través de la siguiente ecuación:

$$F_t = \sum_{i=1}^2 (F_v + F_{m3d}) * l_i * \alpha_i;$$

Donde  $\alpha_i = 0,5$ , según CEI 865.

Se obtiene  $F_t = 5231,43 \text{ N}$ , pero este esfuerzo se produce a 170mm por encima de la cabeza del aislador (sobre el eje del tubo). Por tanto:

$$F_t = 5231,43 * \frac{3150 (\text{altura aislador}) + 170}{3150} = 5513,76 \text{N}$$

Viento sobre el aislador:

El viento ocasiona un esfuerzo en el aislador (además de en los tubos), cuyo valor es:

$$F_{va} = L_a * D_a * P_v * \alpha ;$$

Donde,

$L_a$  = longitud del aislador (3,15m)

$D_a$  = diámetro medio del aislador (0,35m)

$P_v$  = presión del viento (925,6N/m)

$$\alpha = 0,5$$

Se obtiene  $F_{va} = 510,24N$

La suma de fuerzas:  $F = F_t + F_{va} = 6024N$

Por último, el coeficiente de seguridad será de

$$8000/6024 = 1,33$$

#### 2.6.4. Flecha en el tubo

Para obtener la flecha máxima para un vano se utiliza la siguiente expresión:

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

Donde:

$P$  = fuerza vertical distribuida (N/m)

$l$  = longitud del vano

$E$  = Módulo de Young

$I$  = inercia de la sección

$$f = 1,149 * 10^{-2}m = 1,149cm$$

### 2.6.5. Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado se dilatará, debido a efectos térmicos. La dilatación sigue esta expresión:

$$\Delta l = l_o * \alpha * \Delta \theta ;$$

Donde:

$l_o$  = longitud inicial del tubo

$\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal del tubo

$\Delta \theta$  = incremento de temperatura entre la de montaje y la de servicio (80°C – 35°C)

Por tanto,  $\Delta l = 10,7 \text{ mm}$

Se asegurará la instalación de piezas que puedan absorber la dilatación del embarrado.

### 2.6.6. Esfuerzo térmico en cortocircuito

Para hallar la intensidad térmica en cortocircuito se utiliza la expresión siguiente dada según la CEI 865:

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

Donde:

$m$  y  $n$  son coeficientes térmicos de disipación, cuyo valor es 0,097 y 0,758, respectivamente.

Se obtiene  $I_{\theta} = 118,63 \text{ kA}$ .

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, que se obtiene de la expresión  $S * \rho$ , donde  $\rho$  = densidad de corriente en cortocircuito = 120A/mm<sup>2</sup>. Se obtiene  $S * \rho = 428,28 \text{ kA}$ , muy superior a la intensidad térmica en cortocircuito de 118,63kA.

## 2.6.7. Intensidad nominal de las barras

Según el fabricante la intensidad nominal teórica es de 3250A con 30°C de temperatura ambiente y 65°C de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, la intensidad debe de ser corregida según los siguientes factores:

$k_1 = 0,925$  por la aleación elegida

$k_2 = 1,25$  para temperatura final de 80°C

$k_3 = 1$  por ser un tubo

$k_4 = 0,98$  al estar la subestación a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar.

Entonces,  $I_{max} = I_n * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 = 3682,66A$  y  $S = \sqrt{3} * U * I = 2551,42$  MVA, una potencia superior a la que se necesita.

## 2.7. Cálculo mecánico del embarrado principal de 220kV

### 2.7.1. Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásico es de 40kA, a efectos de diseño.

La intensidad de cresta (CEI 60909) se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_p = \chi * \sqrt{2} * I_{cc},$$

$$\text{Con } \chi = 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X}.$$

Para  $R/X=0,07$ ;  $\chi=1,814$ .

Se obtiene que  $I_p=102,62kA$ .

## 2.7.2. Tensión en el tubo

Esfuerzos por viento:

$$F_v = 925,6 * 150 * 10^{-3} = 138,84\text{N/m}$$

Esfuerzos por hielo:

$$F_H = 22,05\text{N/m}$$

Esfuerzos por peso propio:

$$F_{pp} = 9,63 * 9,8 = 94,37\text{N/m (peso tubo)}$$

Peso cable amortiguador RAIL = 1,6kg/m en los 4/3 del vano =  $\frac{4}{3} * 1,6 * 9,8 = 20,91\text{N/m}$

En total:  $F_{pp} + \text{Peso cable amortiguador} = 115,28\text{N/m}$

Esfuerzos por cortocircuito:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se calcula de la siguiente expresión:

$$F_{m3st} = 0,866 * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

Donde  $I_p$  = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

$a$  = Distancia media entre fases

Operando,

$$F_{m3st} = 521,08\text{N/m}$$

La frecuencia de vibración del tubo permite hallar dos coeficientes necesarios para determinar el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el

tubo. Estos dos coeficientes son  $V\sigma$  (que tiene en cuenta el efecto dinámico) y  $Vr$  (que tiene en cuenta el reenganche).

Según la CEI 865, la frecuencia de vibración de un tubo se calcula con la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{EI/m};$$

Donde:  $I$  = inercia de la sección

$m$  = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador

$E$  = Módulo de Young

$l$  = longitud del vano

$\gamma$  = coeficiente del tubo y los apoyos; 1,57.

Operando:  $f_c = 1,997\text{Hz}$

Para hallar los coeficientes  $V\sigma$  y  $Vr$ , se utilizan las siguientes expresiones:

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

$$Vr = 1 - 0,615 * \log\frac{f_c}{f};$$

Operando:

$$V\sigma = 0,3061$$

$$Vr = 1,86$$

Para hallar la tensión de trabajo en el tubo provocada por esfuerzo dinámico de cortocircuito se emplea la siguiente fórmula:

$$\sigma_m = V\sigma * Vr * \beta * \frac{F_{m3st} * l^2}{8 * z};$$

Donde:

$$\beta = 1, \text{ según CEI 865}$$

$z$  = Módulo resistente de la sección.

Entonces,

$$\sigma_m = 56,33\text{N/mm}^2$$

Para hallar la tensión de trabajo total es necesario realizar la suma geométrica de las tensiones que producen los distintos esfuerzos, incluido a la calculada de cortocircuito. La tensión producida por cada esfuerzo se calcula:

$$\sigma_i = \frac{1}{8} * \frac{P * l^2}{z};$$

Donde:

$P$  = carga repartida que produce el esfuerzo.

Por viento ( $P=138,84$ ):  $\sigma_v = 26,36\text{N/mm}^2$

Por peso propio ( $P=115,28$ ):  $\sigma_p = 21,89\text{N/mm}^2$

Por hielo ( $P=22,05$ ):  $\sigma_h = 4,19\text{N/mm}^2$

La tensión máxima se halla de la siguiente manera:

$$\sigma_t = \sqrt{(21,89 + 4,19)^2 + (56,33 + 26,36)^2} = 86,7\text{N/mm}^2$$

Por lo tanto, el coeficiente de seguridad respecto al límite elástico se calcula:

$$160/86,7 = 1,85$$

La norma CEI 865 establece que el tubo soporta el esfuerzo en cortocircuito si se cumple:

$$\sigma_t \leq q * R_{p02}$$

Para el tubo 150/134, q tiene valor 1,344.

$$1,344 * 160 = 215\text{N/mm}^2 > \sigma_t$$

### 2.7.3. Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios. Según la Norma CEI 865, este esfuerzo se considera como el doble del producido en el extremo del vano.

Solo se consideran las acciones horizontales. Se producen esfuerzos debido a viento sobre el tubo y a cortocircuito.

Viento sobre tubo:

$$F_v = 925,6 * 150 * 10^{-3} = 138,84\text{N/m}$$

Esfuerzo en cortocircuito:

$$F_{m3d} = 0,866 * V_f * V_r * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

$$\text{Donde } V_f = 0,839 + 3,52 * e^{-1,68 * k} + 0,6 * \log \frac{f_c}{f} = 0,239$$

$$\text{Por lo tanto, } F_{m3d} = 231,88\text{N/m}$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte intermedio se halla por superposición, a través de la siguiente ecuación:

$$F_t = \sum_{i=1}^2 (F_v + F_{m3d}) * l_i * \alpha_i;$$

Donde  $\alpha_i = 0,5$ , según CEI 865.

Se obtiene  $F_t = 5004,66 \text{ N}$ , pero este esfuerzo se produce a 170mm por encima de la cabeza del aislador (sobre el eje del tubo). Por tanto:

$$F_t = 5004,66 * \frac{2300 (\text{altura aislador}) + 170}{2300} = 5374,57\text{N}$$

Viento sobre el aislador:

El viento ocasiona un esfuerzo en el aislador (además de en los tubos), cuyo valor es:

$$F_{va} = La * Da * Pv * \alpha ;$$

Donde,

La = longitud del aislador (3,15m)

Da = diámetro medio del aislador (0,35m)

Pv = presión del viento (925,6N/m)

$$\alpha = 0,5$$

Se obtiene  $F_{va} = 510,24N$

La suma de fuerzas:  $F = Ft + F_{va} = 5884,81N$

Por último, el coeficiente de seguridad será de

$$8000/5884,81 = 1,36$$

#### 2.7.4. Flecha en el tubo

Para obtener la flecha máxima para un vano se utiliza la siguiente expresión:

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

Donde:

P = fuerza vertical distribuida (N/m)

l = longitud del vano

E = Módulo de Young

I = inercia de la sección

$$f = 3,28 * 10^{-2}m = 3,28cm$$

### 2.7.5. Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado se dilatará, debido a efectos térmicos. La dilatación sigue esta expresión:

$$\Delta l = l_o * \alpha * \Delta \theta ;$$

Donde:

$l_o$  = longitud inicial del tubo

$\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal del tubo

$\Delta \theta$  = incremento de temperatura entre la de montaje y la de servicio (80°C – 35°C)

Por tanto,  $\Delta l = 13,97 \text{ mm}$

Se asegurará la instalación de piezas que puedan absorber la dilatación del embarrado.

### 2.7.6. Esfuerzo térmico en cortocircuito

Para hallar la intensidad térmica en cortocircuito se utiliza la expresión siguiente dada según la CEI 865:

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

Donde:

$m$  y  $n$  son coeficientes térmicos de disipación, cuyo valor es 0,097 y 0,758, respectivamente.

Se obtiene  $I_{\theta} = 94,88 \text{ kA}$ .

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, que se obtiene de la expresión  $S * \rho$ , donde  $\rho$  = densidad de corriente en cortocircuito = 120A/mm<sup>2</sup>. Se obtiene  $S * \rho = 428,28 \text{ kA}$ , muy superior a la intensidad térmica en cortocircuito de 94,88kA.

### 2.7.7. Intensidad nominal de las barras

Según el fabricante la intensidad nominal teórica es de 3250A con 30°C de temperatura ambiente y 65°C de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, la intensidad debe de ser corregida según los siguientes factores:

$k_1 = 0,925$  por la aleación elegida

$k_2 = 1,25$  para temperatura final de 80°C

$k_3 = 1$  por ser un tubo

$k_4 = 0,98$  al estar la subestación a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar.

Entonces,  $I_{\max} = I_n * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 = 3682,66A$  y  $S = \sqrt{3} * U * I = 1403,28$  MVA, una potencia superior a la que se necesita.

### 2.8. Cálculo mecánico del embarrado secundario de 220kV

#### 2.8.1. Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito trifásico es de 40kA, a efectos de diseño.

La intensidad de cresta (CEI 60909) se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_p = \chi * \sqrt{2} * I_{cc},$$

$$\text{Con } \chi = 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X}.$$

Para  $R/X=0,07$ ;  $\chi=1,814$ .

Se obtiene que  $I_p=102,62kA$ .

## 2.8.2. Tensión en el tubo

Esfuerzos por viento:

$$F_v = 925,6 * 100 * 10^{-3} = 92,56 \text{N/m}$$

Esfuerzos por hielo:

$$F_H = 18 \text{N/m}$$

Esfuerzos por peso propio:

$$F_{pp} = 4,78 * 9,8 = 46,84 \text{N/m (peso tubo)}$$

$$\text{Peso cable amortiguador RAIL} = 1,6 \text{kg/m en los } \frac{4}{3} \text{ del vano} = \frac{4}{3} * 1,6 * 9,8 = 20,91 \text{N/m}$$

$$\text{En total: } F_{pp} + \text{Peso cable amortiguador} = 67,75 \text{N/m}$$

Esfuerzos por cortocircuito:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se calcula de la siguiente expresión:

$$F_{m3st} = 0,866 * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

Donde  $I_p$  = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

$a$  = Distancia media entre fases

Operando,

$$F_{m3st} = 455,99 \text{N/m}$$

La frecuencia de vibración del tubo permite hallar dos coeficientes necesarios para determinar el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el

tubo. Estos dos coeficientes son  $V\sigma$  (que tiene en cuenta el efecto dinámico) y  $Vr$  (que tiene en cuenta el reenganche).

Según la CEI 865, la frecuencia de vibración de un tubo se calcula con la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} * \sqrt{EI/m};$$

Donde:  $I$  = inercia de la sección

$m$  = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador

$E$  = Módulo de Young

$l$  = longitud del vano

$\gamma$  = coeficiente del tubo y los apoyos; 1,57.

Operando:  $f_c = 3,46\text{Hz}$

Para hallar los coeficientes  $V\sigma$  y  $Vr$ , se utilizan las siguientes expresiones:

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

$$Vr = 1 - 0,615 * \log\frac{f_c}{f};$$

Operando:

$$V\sigma = 0,435$$

$$Vr = 1,71$$

Para hallar la tensión de trabajo en el tubo provocada por esfuerzo dinámico de cortocircuito se emplea la siguiente fórmula:

$$\sigma_m = V\sigma * Vr * \beta * \frac{Fm_{3st} * l^2}{8 * z};$$

Donde:

$$\beta = 1, \text{ según CEI 865}$$

$z$  = Módulo resistente de la sección.

Entonces,

$$\sigma_m = 69,17\text{N/mm}^2$$

Para hallar la tensión de trabajo total es necesario realizar la suma geométrica de las tensiones que producen los distintos esfuerzos, incluido a la calculada de cortocircuito. La tensión producida por cada esfuerzo se calcula:

$$\sigma_i = \frac{1}{8} * \frac{P * l^2}{z};$$

Donde:

$P$  = carga repartida que produce el esfuerzo.

Por viento ( $P=92,56$ ):  $\sigma_v = 18,84\text{N/mm}^2$

Por peso propio ( $P=67,75$ ):  $\sigma_p = 13,79\text{N/mm}^2$

Por hielo ( $P=18$ ):  $\sigma_h = \text{N/mm}^2$

La tensión máxima se halla de la siguiente manera:

$$\sigma_t = \sqrt{(13,79 + 3,66)^2 + (69,17 + 18,84)^2} = 89,73\text{N/mm}^2$$

Por lo tanto, el coeficiente de seguridad respecto al límite elástico se calcula:

$$160/89,73 = 1,78$$

La norma CEI 865 establece que el tubo soporta el esfuerzo en cortocircuito si se cumple:

$$\sigma_t \leq q * R_{p02}$$

Para el tubo 100/88, q tiene valor 1,353.

$$1,353 * 160 = 216,48 \text{N/mm}^2 > \sigma_t$$

### 2.8.3. Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios. Según la Norma CEI 865, este esfuerzo se considera como el doble del producido en el extremo del vano.

Solo se consideran las acciones horizontales. Se producen esfuerzos debido a viento sobre el tubo y a cortocircuito.

Viento sobre tubo:

$$F_v = 925,6 * 100 * 10^{-3} = 92,56 \text{N/m}$$

Esfuerzo en cortocircuito:

$$F_{m3d} = 0,866 * V_f * V_r * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a};$$

$$\text{Donde } V_f = 0,839 + 3,52 * e^{-1,68 * k} + 0,6 * \log \frac{f_c}{f} = 0,382$$

$$\text{Por lo tanto, } F_{m3d} = 298,71 \text{N/m}$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte intermedio se halla por superposición, a través de la siguiente ecuación:

$$F_t = \sum_{i=1}^2 (F_v + F_{m3d}) * l_i * \alpha_i;$$

Donde  $\alpha_i = 0,5$ , según CEI 865.

Se obtiene  $F_t = 3130,15 \text{ N}$ , pero este esfuerzo se produce a 170mm por encima de la cabeza del aislador (sobre el eje del tubo). Por tanto:

$$F_t = 3130,15 * \frac{2300 (\text{altura aislador}) + 140}{2300} = 3320,69 \text{N}$$

Viento sobre el aislador:

El viento ocasiona un esfuerzo en el aislador (además de en los tubos), cuyo valor es:

$$F_{va} = L_a * D_a * P_v * \alpha ;$$

Donde,

$L_a$  = longitud del aislador (3,15m)

$D_a$  = diámetro medio del aislador (0,35m)

$P_v$  = presión del viento (925,6N/m)

$$\alpha = 0,5$$

Se obtiene  $F_{va} = 510,24N$

La suma de fuerzas:  $F = F_t + F_{va} = 3830,93N$

Por último, el coeficiente de seguridad será de

$$6000/3830,93 = 1,57$$

#### 2.8.4. Flecha en el tubo

Para obtener la flecha máxima para un vano se utiliza la siguiente expresión:

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

Donde:

$P$  = fuerza vertical distribuida (N/m)

$l$  = longitud del vano

$E$  = Módulo de Young

$I$  = inercia de la sección

$$f = 1,09 * 10^{-2}m = 1,09cm$$

### 2.8.5. Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado se dilatará, debido a efectos térmicos. La dilatación sigue esta expresión:

$$\Delta l = l_o * \alpha * \Delta \theta ;$$

Donde:

$l_o$  = longitud inicial del tubo

$\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal del tubo

$\Delta \theta$  = incremento de temperatura entre la de montaje y la de servicio (80°C – 35°C)

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

Se asegurará la instalación de piezas que puedan absorber la dilatación del embarrado.

### 2.8.6. Esfuerzo térmico en cortocircuito

Para hallar la intensidad térmica en cortocircuito se utiliza la expresión siguiente dada según la CEI 865:

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

Donde:

$m$  y  $n$  son coeficientes térmicos de disipación, cuyo valor es 0,097 y 0,758, respectivamente.

Se obtiene  $I_{\theta} = 94,88 \text{ kA}$ .

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, que se obtiene de la expresión  $S * \rho$ , donde  $\rho$  = densidad de corriente en cortocircuito = 120A/mm<sup>2</sup>. Se obtiene  $S * \rho = 212,64 \text{ kA}$ , muy superior a la intensidad térmica en cortocircuito de 94,88kA.

### 2.8.7. Intensidad nominal de las barras

Según el fabricante la intensidad nominal teórica es de 2040A con 30°C de temperatura ambiente y 65°C de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, la intensidad debe de ser corregida según los siguientes factores:

$k_1 = 0,925$  por la aleación elegida

$k_2 = 1,25$  para temperatura final de 80°C

$k_3 = 1$  por ser un tubo

$k_4 = 0,98$  al estar la subestación a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar.

Entonces,  $I_{\max} = I_n * k_1 * k_2 * k_3 * k_4 = 2311,58A$  y  $S = \sqrt{3} * U * I = 880,83 \text{ MVA}$ , una potencia superior a la que se necesita.

## 3. Cálculo de distancias mínimas en embarrados tendidos

### 3.1. Parque 400kV

#### 3.1.1. Hipótesis de diseño

Las distancias mínimas se establecen para un vano de las siguientes características:

-Longitud del vano:  $L=50m$

-Flecha máxima: 3% (1,5m)

-Tipo de conductor: Dúplex FALCON ( $n=2$ )

-Diámetro del conductor:  $\varnothing = 39,2mm$

- Sección del conductor:  $A_s = 908,6\text{mm}^2$
- Peso propio del conductor:  $m = 3,045\text{kg/m}$
- Módulo de Young:  $E = 70000\text{N/mm}^2$
- Distancia entre fases:  $a = 6\text{m}$
- Longitud media de cadenas:  $4,5\text{m}$
- Separación entre conductores de la misma fase:  $0,4\text{m}$
- Rígidez de los soportes:  $S = 7,5 * 10^4\text{N/m}$
- Tiempo de despeje de defecto:  $T_{k1} = 0,5\text{s}$
- Intensidad de cortocircuito:  $I_{k3} = 50\text{kA}$
- Relación R/X:  $0,07$
- Tensión máxima:  $1200\text{kg a } 50^\circ\text{C (11772N)}$

### 3.1.2. Normativa aplicable

Todos los cálculos realizados cumplen con la normativa española vigente referida a este tipo de instalaciones. Se basan en las siguientes Normas y Reglamentos:

- “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación”. Real Decreto 337/2014 del 9 de mayo.
- “Reglamento técnico sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión e instrucciones técnicas complementarias”. Real Decreto 223/2008 del 15 de febrero.
- “Instrucciones técnicas complementarias”.
- Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte I: Definiciones y métodos de cálculo”.
- Norma CEI 60909, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.

- Norma CEI 865, "Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito".
- Norma CEI 909, "Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica".
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

En caso de que existan valores diferentes entre las distintas normas o métodos de cálculo, se considerará siempre el valor más restrictivo, por motivos de seguridad.

### 3.1.3. Desplazamiento del vano con viento

Según el RLAT, la presión que produce el viento sobre el conductor es de  $68\text{kg/m}^2$ , para vientos de  $140\text{km/h}$ . Por lo tanto, se obtiene:

$$F_v = 68 * 0,0392 = 2,67\text{kg/m (a cada conductor FALCON)}$$

Y el desplazamiento máximo de cada conductor es:

$$d_{\max} = f_{\max} * \text{sen}\theta$$

$$\text{Donde } \theta = \text{arctg}\frac{F_v}{P} = \text{arctg}\frac{2,67}{3,045} = 41,25^\circ$$

$$\text{Por tanto, } d_{\max} = 0,99\text{m}$$

Las probabilidades de la existencia de viento y sobretensión de forma simultánea son muy pequeñas, por lo tanto, la distancia de aislamiento fase-fase para conductores paralelos (establecida en  $3,6\text{m}$ ) se puede reducir un 25%. En este caso, la separación mínima entre conductores en reposo debe ser:

$$D_{\min} = (0,75 * 3,6) + 2 * 0,99 + 0,4 = 5,08\text{m, que es una distancia inferior a los 6 metros, que es la distancia adoptada.}$$

Si se produjera viento y sobretensión simultáneamente, la distancia mínima sería de  $5,98$ ; también inferior a  $6\text{m}$ .

### 3.1.4. Efecto en conductores por corriente de cortocircuito

El esfuerzo debido a defecto bifásico se halla mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} * 0,75 * \frac{(I_{k3})^2}{a} * \frac{l_c}{l};$$

Donde  $l_c$  = longitud del vano sin cadenas

$$F = 51,25 \text{ N/m}$$

Con este esfuerzo se puede hallar la proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito, cuyo valor es:

$$r = \frac{F}{n \cdot m \cdot g} = \frac{51,25}{2 \cdot 3,045 \cdot 9,81} = 0,86$$

La dirección que resulta de la fuerza es la siguiente:

$$\delta_1 = \arctg r = 40,62^\circ$$

Para hallar la flecha estática en el conductor tendido se utiliza la siguiente expresión:

$$b_c = \frac{n \cdot m \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{st}};$$

Donde  $F_{st}$  es la fuerza de tracción estática del conductor para flecha máxima a 50°C (caso más desfavorable).

$$\text{Operando, } b_c = 1,59 \text{ m}$$

El tiempo de oscilación de la flecha estática se halla de la siguiente manera:

$$T = 2 * \pi * \sqrt{0,8 * \frac{b_c}{g}};$$

$$\text{Operando se obtiene } T = 2,26 \text{ s.}$$

Entonces, en caso de cortocircuito el período resultante se obtiene de la siguiente expresión:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2 * \left[1 - \frac{\pi^2}{64} * \left(\frac{\delta_1}{90}\right)^2\right]}};$$

$$\text{Se obtiene, } T_{res} = 2,03 \text{ s.}$$

El módulo de Young real del conductor se halla en función de la carga límite del cable ( $\sigma_{fin}$ ), su valor es el siguiente:

$$E = E * \left[ 0,3 + 0,7 * \sin \left( 90 * \frac{F_{st}}{n * A_s * \sigma_{fin}} \right) \right] \text{ si } \frac{F_{st}}{n * A_s} \leq \sigma_{fin};$$

$$\text{ó } E = E \text{ si } \frac{F_{st}}{n * A_s} > \sigma_{fin};$$

Donde,  $\sigma_{fin} = 5 * 10^7 \text{ N/m}^2$ .

Se cumple que  $\frac{F_{st}}{n * A_s} = 6478098,17 < \sigma_{fin}$ , por tanto,  $E = 3,09 * 10^{10} \text{ N/m}^2$ .

El siguiente paso es el cálculo del factor de carga del conductor, cuyo valor se halla con la siguiente expresión:

$$\xi = \frac{(n * m * g * l)^2}{24 * F_{st}^3 * N};$$

Donde, N es la rigidez del sistema mecánico compuesto, que se halla mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{1}{S * l} + \frac{1}{n * E * A_s};$$

Obtenemos  $N = 2,98 * 10^{-7}$  y  $\xi = 0,76$ .

Para obtener el ángulo de oscilación del vano durante el paso de la corriente de cortocircuito se halla de la siguiente manera:

$$\delta_k = \delta_1 * \left( 1 - \cos \left( 360 * \frac{T_{k1}}{T_{res}} \right) \right) \text{ si } 0 \leq \frac{T_{k1}}{T_{res}} \leq 0,5$$

$$\text{ó } \delta_k = 2 * \delta_1 \text{ si } \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0,5;$$

Se obtiene  $\frac{T_{k1}}{T_{res}} = 0,246 < 0,5$ , por lo tanto  $\delta_k = 39,68^\circ$ .

Para hallar el ángulo máximo de oscilación que se puede producir (se producirá en un tiempo inferior o igual a 0,5s) se utiliza la siguiente expresión:

$$\delta_{max} = 1,25 * \arccos X \text{ si } 0,766 \leq x \leq 1,$$

$$\delta_{\max} = 10^\circ + \arccos X \text{ si } -0,985 \leq x \leq 0,766$$

$$\text{ó } \delta_{\max} = 180^\circ \text{ si } X \leq -0,985$$

con

$$X = 1 - r * \sin \delta_k \text{ si } 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ$$

$$\text{ó } X = 1 - r \text{ si } \delta_k > 90^\circ.$$

Por lo tanto, como  $\delta_k = 39,68^\circ$ ; entonces  $X = 0,45$  y  $\delta_{\max} = 73,2^\circ$ .

El último paso será hallar la fuerza que se produce por las oscilaciones durante el cortocircuito, que según la norma se obtiene de la siguiente fórmula:

$$F_t = 1,1 * F_{st} * (1 + \psi * \varphi);$$

Donde:

$\varphi$  es el parámetro de carga, que depende del esfuerzo producido por el peso y el cortocircuito en función del tiempo de despeje entre el período de oscilación. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\varphi = 3 * (\sqrt{1 + r^2} - 1) \text{ si } T_{k1} \geq \frac{T_{res}}{4}$$

$$\text{ó } \varphi = 3 * (r \sin \delta_k + \cos \delta_k - 1) \text{ si } T_{k1} < \frac{T_{res}}{4};$$

$\psi$  es un parámetro que combina los dos parámetros de carga ( $\varphi$  y  $\zeta$ ) y se obtiene como solución de la siguiente ecuación:

$$\varphi^2 * \psi^3 + \varphi * (2 + \zeta) * \psi^2 + (1 + 2 * \zeta) * \psi - (2 + \varphi) * \zeta = 0$$

Los resultados de las soluciones a esta ecuación están tabulados, en función de  $\varphi$  y  $\zeta$ .

Para el caso actual,  $T_{k1} = 0,5 < \frac{T_{res}}{4} = 0,5075$ , por lo tanto,  $\varphi = 0,96$ .

Con  $\varphi = 0,96$  y  $\zeta = 0,76$ , entonces  $\psi = 0,53$ .

Se obtiene  $F_t = 19537,75\text{N}$ .

### 3.1.5. Aproximación de conductores

Para hallar el máximo valor de desplazamiento por oscilación durante el cortocircuito se utiliza la siguiente expresión:

$$b_h = C_f * C_d * b_c * \sin \delta_1 \text{ si } \delta_{\max} \geq \delta_1$$

$$\text{ó } b_h = C_f * C_d * b_c * \sin \delta_{\max} \text{ si } \delta_{\max} < \delta_1$$

Primero se halla el valor de  $C_f$ , que es un factor experimental de las variaciones de la curva de equilibrio del cable durante el cortocircuito:

$$C_f = 1,05 \text{ si } r \leq 0,8;$$

$$C_f = 0,97 + 0,1 * r \text{ si } 0,8 \leq r \leq 1,8 \text{ ó}$$

$$C_f = 1,15 \text{ si } r \geq 1,8$$

Por lo tanto,  $C_f = 1,056$  ya que  $r = 0,86$ .

Posteriormente, se halla el valor  $C_d$ , que depende de las elongaciones térmica y elástica, de la siguiente manera:

$$C_d = \sqrt{1 + \frac{3}{8} * \left(\frac{l}{b_c}\right)^2 * (\varepsilon_{ela} + \varepsilon_{th})};$$

Para hallar la deformación elástica se utiliza la expresión siguiente:

$$\varepsilon_{ela} = (F_t - F_{st}) * N;$$

Para hallar la deformación térmica se utiliza esta otra expresión:

$$\varepsilon_{th} = c_{th} * \left(\frac{l_{k3}}{n * A_s}\right)^2 * \frac{T_{res}}{4} \text{ si } T_{k1} \geq \frac{T_{res}}{4} \text{ ó}$$

$$\varepsilon_{th} = c_{th} * \left(\frac{l_{k3}}{n * A_s}\right)^2 * T_{k1} \text{ si } T_{k1} < \frac{T_{res}}{4}$$

$c_{th}$  es el factor de dilatación térmica, cuyo valor para el cable Falcon es  $0,27 * 10^{-18} \text{m}^4/\text{A}^2\text{s}$ , debido a que el cociente de la sección del aluminio entre la sección de acero es superior a 6.

Como  $T_{k1} < \frac{T_{res}}{4}$ , entonces:

$$\varepsilon_{ela} = 2,31 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{th} = 1,02 * 10^{-4} \text{ m}$$

Por tanto,  $C_d = 1,38$

Como se produce  $\delta_{\max}(73,2^\circ) > \delta_1(40,62^\circ)$ , finalmente se obtiene el valor de  $b_h = 1,51\text{m}$ .

### 3.1.6. Distancia mínima

Para hallar la distancia mínima que debe existir entre los conductores al producirse un cortocircuito se utiliza la siguiente expresión:

$$D = a - 2 * b_h - 0,4;$$

Se obtiene  $D = 2,54\text{m}$

Por lo tanto, se deduce que tanto la dimensión de 20m de anchura de las calles como la separación de conductores de 6m son adecuadas para cumplir los requisitos de aislamiento (tanto permanente como temporal), puesto que se obtiene una distancia superior de los 1,55m de distancia de aislamiento temporal para 400kV que se recomienda por parte de la CIGRE.

### 3.1.7. Distancias mínimas a adoptar

Basado en los cálculos realizados anteriormente, y reflejándose en lo expuesto en la ITC-RAT-12, se deciden tomar las siguientes distancias mínimas que deben de ser respetadas a la hora de construir la subestación de Ocaña:

Distancias fase-tierra:

Conductor-Estructura: 2,6m

Punta-Estructura: 3,4m

Distancias fase-fase:

Conductores paralelos: 3,6m

Punta-Conductor: 4,2m

### 3.2. Parque 220kV

#### 3.2.1. Hipótesis de diseño

Las distancias mínimas se establecen para un vano de las siguientes características:

- Longitud del vano:  $L=42\text{m}$
- Flecha máxima: 3% (1,26m)
- Tipo de conductor: Dúplex RAIL ( $n=2$ )
- Diámetro del conductor:  $\varnothing = 29,59\text{mm}$
- Sección del conductor:  $A_s = 516,4\text{mm}^2$
- Peso propio del conductor:  $m = 1,6\text{kg/m}$
- Módulo de Young:  $E = 61000\text{N/mm}^2$
- Distancia entre fases:  $a = 4\text{m}$
- Longitud media de cadenas: 4,5m
- Separación entre conductores de la misma fase: 0,4m
- Rígidez de los soportes:  $S = 7,5 * 10^4\text{N/m}$
- Tiempo de despeje de defecto:  $T_{k1} = 0,5\text{s}$
- Intensidad de cortocircuito:  $I_{k3} = 40\text{kA}$
- Relación R/X: 0,07
- Tensión máxima: 706kg a 50°C (6926N)

### 3.2.2. Normativa aplicable

Todos los cálculos realizados cumplen con la normativa española vigente referida a este tipo de instalaciones. Se basan en las siguientes Normas y Reglamentos:

- “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación”. Real Decreto 337/2014 del 9 de mayo.
- “Reglamento técnico sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión e instrucciones técnicas complementarias”. Real Decreto 223/2008 del 15 de febrero.
- “Instrucciones técnicas complementarias”.
- Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte I: Definiciones y métodos de cálculo”.
- Norma CEI 60909, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma CEI 865, “Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito”.
- Norma CEI 909, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

En caso de que existan valores diferentes entre las distintas normas o métodos de cálculo, se considerará siempre el valor más restrictivo, por motivos de seguridad.

### 3.2.3. Desplazamiento del vano con viento

Según el RLAT, la presión que produce el viento sobre el conductor es de  $68\text{kg/m}^2$ , para vientos de  $140\text{km/h}$ . Por lo tanto, se obtiene:

$$F_v = 68 * 0,02959 = 2,012\text{kg/m (a cada conductor RAIL)}$$

Y el desplazamiento máximo de cada conductor es:

$$d_{\max} = f_{\max} * \text{sen}\theta$$

$$\text{Donde } \theta = \text{arctg}\frac{F_v}{P} = \text{arctg}\frac{2,012}{1,6} = 51,51^\circ$$

$$\text{Por tanto, } d_{\max} = 0,986\text{m}$$

Las probabilidades de la existencia de viento y sobretensión de forma simultánea son muy pequeñas, por lo tanto, la distancia de aislamiento fase-fase para conductores paralelos (establecida en 2,1m) se puede reducir un 25%. En este caso, la separación mínima entre conductores en reposo debe ser:

$$D_{\min} = (0,75 * 2,1) + 2 * 0,986 + 0,2 = 3,75\text{m, que es una distancia inferior a los 4 metros, que es la distancia adoptada.}$$

### 3.2.4. Efecto en conductores por corriente de cortocircuito

El esfuerzo debido a defecto bifásico se halla mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\mu_0}{2 * \pi} * 0,75 * \frac{(I_{k3})^2}{a} * \frac{l_c}{l};$$

Donde  $l_c$  = longitud del vano sin cadenas

$$F = 47,14\text{N/m}$$

Con este esfuerzo se puede hallar la proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito, cuyo valor es:

$$r = \frac{F}{n * m * g} = \frac{47,14}{2 * 1,6 * 9,81} = 1,5$$

La dirección que resulta de la fuerza es la siguiente:

$$\delta_1 = \text{arctg } r = 56,34^\circ$$

Para hallar la flecha estática en el conductor tendido se utiliza la siguiente expresión:

$$b_c = \frac{n \cdot m \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{St}};$$

Donde  $F_{St}$  es la fuerza de tracción estática del conductor para flecha máxima a 50°C (caso más desfavorable).

Operando,  $b_c = 1\text{m}$

El tiempo de oscilación de la flecha estática se halla de la siguiente manera:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{b_c}{g}};$$

Operando se obtiene  $T = 1,79\text{s}$ .

Entonces, en caso de cortocircuito el período resultante se obtiene de la siguiente expresión:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2} \cdot \left[1 - \frac{\pi^2}{64} \cdot \left(\frac{\delta_1}{90}\right)^2\right]};$$

Se obtiene,  $T_{res} = 1,42\text{s}$ .

El módulo de Young real del conductor se halla en función de la carga límite del cable ( $\sigma_{fin}$ ), su valor es el siguiente:

$$E = E \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \sin\left(90 \cdot \frac{F_{St}}{n \cdot A_s \cdot \sigma_{fin}}\right)\right] \text{ si } \frac{F_{St}}{n \cdot A_s} \leq \sigma_{fin};$$

$$\text{ó } E = E \text{ si } \frac{F_{St}}{n \cdot A_s} > \sigma_{fin};$$

Donde,  $\sigma_{fin} = 5 \cdot 10^7 \text{N/m}^2$ .

Se cumple que  $\frac{F_{St}}{n \cdot A_s} = 6700851,39 < \sigma_{fin}$ , por tanto,  $E = 2,72 \cdot 10^{10} \text{N/m}^2$ .

El siguiente paso es el cálculo del factor de carga del conductor, cuyo valor se halla con la siguiente expresión:

$$\xi = \frac{(n \cdot m \cdot g \cdot l)^2}{24 \cdot F_{St}^3 \cdot N};$$

Donde,  $N$  es la rigidez del sistema mecánico compuesto, que se halla mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{1}{S \cdot l} + \frac{1}{n \cdot E \cdot A_s};$$

Obtenemos  $N = 3,57 \cdot 10^{-7}$  y  $\xi = 0,6$ .

Para obtener el ángulo de oscilación del vano durante el paso de la corriente de cortocircuito se halla de la siguiente manera:

$$\delta_k = \delta_1 * \left(1 - \cos\left(360 * \frac{T_{k1}}{T_{res}}\right)\right) \text{ si } 0 \leq \frac{T_{k1}}{T_{res}} \leq 0,5$$

$$\text{ó } \delta_k = 2 * \delta_1 \text{ si } \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0,5;$$

Se obtiene  $\frac{T_{k1}}{T_{res}} = 0,35 < 0,5$ , por lo tanto  $\delta_k = 90^\circ$ .

Para hallar el ángulo máximo de oscilación que se puede producir (se producirá en un tiempo inferior o igual a 0,5s) se utiliza la siguiente expresión:

$$\delta_{\max} = 1,25 * \arccos X \text{ si } 0,766 \leq x \leq 1,$$

$$\delta_{\max} = 10^\circ + \arccos X \text{ si } -0,985 \leq x \leq 0,766$$

$$\text{ó } \delta_{\max} = 180^\circ \text{ si } X \leq -0,985$$

con

$$X = 1 - r * \sin \delta_k \text{ si } 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ$$

$$\text{ó } X = 1 - r \text{ si } \delta_k > 90^\circ.$$

Por lo tanto, como  $\delta_k = 39,68^\circ$ ; entonces  $X = -0,5$  y  $\delta_{\max} = 130^\circ$ .

El último paso será hallar la fuerza que se produce por las oscilaciones durante el cortocircuito, que según la norma se obtiene de la siguiente fórmula:

$$F_t = 1,1 * F_{st} * (1 + \psi * \varphi);$$

Donde:

$\varphi$  es el parámetro de carga, que depende del esfuerzo producido por el peso y el cortocircuito en función del tiempo de despeje entre el período de oscilación. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\varphi = 3 * (\sqrt{1 + r^2} - 1) \text{ si } T_{k1} \geq \frac{T_{res}}{4}$$

$$\text{ó } \varphi = 3 * (r \sin \delta_k + \cos \delta_k - 1) \text{ si } T_{k1} < \frac{T_{res}}{4};$$

$\psi$  es un parámetro que combina los dos parámetros de carga ( $\varphi$  y  $\zeta$ ) y se obtiene como solución de la siguiente ecuación:

$$\varphi^2 * \psi^3 + \varphi * (2 + \zeta) * \psi^2 + (1 + 2 * \zeta) * \psi - (2 + \varphi) * \zeta = 0$$

Los resultados de las soluciones a esta ecuación están tabulados, en función de  $\varphi$  y  $\zeta$ .

Para el caso actual,  $T_{k1} = 0,5 > \frac{T_{res}}{4} = 0,355$ , por lo tanto,  $\varphi = 2,4$ .

Con  $\varphi = 2,4$  y  $\zeta = 0,6$ , entonces  $\psi = 0,437$ .

Se obtiene  $F_t = 15608,99\text{N}$ .

### 3.2.5. Aproximación de conductores

Para hallar el máximo valor de desplazamiento por oscilación durante el cortocircuito se utiliza la siguiente expresión:

$$b_h = C_f * C_d * b_c * \sin \delta_1 \text{ si } \delta_{max} \geq \delta_1$$

$$\text{ó } b_h = C_f * C_d * b_c * \sin \delta_{max} \text{ si } \delta_{max} < \delta_1$$

Primero se halla el valor de  $C_f$ , que es un factor experimental de las variaciones de la curva de equilibrio del cable durante el cortocircuito:

$$C_f = 1,05 \text{ si } r \leq 0,8;$$

$$C_f = 0,97 + 0,1 * r \text{ si } 0,8 \leq r \leq 1,8 \text{ ó}$$

$$C_f = 1,15 \text{ si } r \geq 1,8$$

Por lo tanto,  $C_f = 1,12$  ya que  $r = 1,5$ .

Posteriormente, se halla el valor  $C_d$ , que depende de las elongaciones térmica y elástica, de la siguiente manera:

$$C_d = \sqrt{1 + \frac{3}{8} * \left(\frac{l}{b_c}\right)^2 * (\varepsilon_{ela} + \varepsilon_{th})};$$

Para hallar la deformación elástica se utiliza la expresión siguiente:

$$\varepsilon_{ela} = (F_t - F_{st}) * N;$$

Para hallar la deformación térmica se utiliza esta otra expresión:

$$\varepsilon_{th} = c_{th} * \left(\frac{Ik_3}{n * A_s}\right)^2 * \frac{T_{res}}{4} \text{ si } T_{k1} \geq \frac{T_{res}}{4} \text{ ó}$$

$$\varepsilon_{th} = c_{th} * \left(\frac{Ik_3}{n * A_s}\right)^2 * T_{k1} \text{ si } T_{k1} < \frac{T_{res}}{4}$$

$c_{th}$  es el factor de dilatación térmica, cuyo valor para el cable Rail es  $0,27 * 10^{-18} m^4/A^2s$ , debido a que el cociente de la sección del aluminio entre la sección de acero es superior a 6.

Como  $T_{k1} > \frac{T_{res}}{4}$ , entonces:

$$\varepsilon_{ela} = 3,1 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{th} = 1,44 * 10^{-4} \text{ m}$$

Por tanto,  $C_d = 1,11$

Como se produce  $\delta_{max}(130^\circ) > \delta_1(56,34^\circ)$ , finalmente se obtiene el valor de  $b_h = 1,03m$ .

### 3.2.6. Distancia mínima

Para hallar la distancia mínima que debe existir entre los conductores al producirse un cortocircuito se utiliza la siguiente expresión:

$$D = a - 2 * b_h - 0,4;$$

Se obtiene  $D = 1,53m$

Por lo tanto, se deduce que tanto la dimensión de 13,5m de anchura de las calles como la separación de conductores de 4m son adecuadas para cumplir los requisitos de aislamiento (tanto permanente como temporal),

puesto que se obtiene una distancia superior de los 1,1m de distancia de aislamiento temporal para 220kV que se recomienda por parte de la CIGRE.

### 3.2.7. Distancias mínimas a adoptar

Basado en los cálculos realizados anteriormente, y reflejándose en lo expuesto en la ITC-RAT-12, se deciden tomar las siguientes distancias mínimas que deben de ser respetadas a la hora de construir la subestación de Ocaña:

Distancias fase-tierra: 2,1m

Distancias fase-fase: 2,1m

## 4. Red de tierras

### 4.1. Red de tierras inferiores

Para el cálculo de la puesta a tierra, se tendrá en cuenta la ITC-RAT 13, que establece los valores máximos de las tensiones de paso y contacto que no deben de superarse.

El tipo de terreno está formado por calizas blandas, cuya resistividad ( $\rho$ ) varía entre los 100 y los 300  $\Omega\text{m}$ . Se aproxima, por lo tanto, a un valor de 300  $\Omega\text{m}$ .

Para el cálculo de la puesta a tierra se toman los siguientes datos:

Resistividad del terreno mejorada en el interior de la subestación: 80  $\Omega\text{m}$ .

Intensidad de cortocircuito monofásica a tierra: 38 kA (parque 400kV, la más elevada).

Duración de cortocircuito: 0,5 s.

Profundidad a la que se encuentra enterrada la malla de tierra: 0,8 m.

El primer paso es obtener las tensiones de paso y de contacto aplicadas máximas admisibles:

$U_{ca} = 204 \text{ V}$ , para un tiempo de 0,5 s.

$U_{pa} = 10 * U_{ca} = 2040 \text{ V}$ .

El siguiente paso es el cálculo de las resistividades superficiales aparentes:

$$\rho_{aparente} = \rho_s * C_s;$$

Donde,

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

$\rho$  = resistividad del terreno natural

$\rho^*$  = resistividad de la capa superficial

$h_s$  = espesor de la capa superficial.

En el interior de la subestación (capa de grava de 10 cm):

$$\rho_{aparente} = 3000 * \left[ 1 - 0,106 * \left( \frac{1 - \frac{80}{3000}}{2 * 0,1 + 0,106} \right) \right] = 1989 \Omega m$$

En el perímetro de la subestación sin acera:

$$\rho_{aparente} = 300 \Omega m.$$

El tercer paso es el cálculo de las tensiones de paso y de contacto máximas admisibles:

$$U_c = U_{ca} * \left(1 + \frac{1000 + 1,5 * \rho_s}{1000}\right);$$

$$U_p = U_{pa} * \left(1 + \frac{4000 + 6 * \rho_s}{1000}\right);$$

En el interior de la subestación (capa de grava de 10 cm):

$$U_c = 1017V$$

$$U_p = 34539V$$

En el perímetro de la subestación sin acera:

$$U_c = 499,8V$$

$$U_p = 13872V$$

Como electrodo de tierra se empleará una malla de tierra, sin picas. Esta malla de tierra está formada por retículas de 7 \* 7 metros cada una.

Para hallar la sección mínima del conductor de cobre se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = I * \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c * \alpha_r * \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}};$$

Donde:

A = sección mínima del conductor

I = mitad de la intensidad monofásica de cortocircuito = 19 kA

TCAP = capacidad térmica del conductor = 3,42 J/cm<sup>30C</sup>

t<sub>c</sub> = duración de cortocircuito = 0,5 s

α<sub>r</sub> = coeficiente térmico de resistividad a 20°C = 0,00381 1/°C

ρ<sub>r</sub> = resistividad del conductor a 20°C = 1,78 μΩcm

K<sub>0</sub> = inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0°C = 242

$T_m$  = temperatura máxima que puede alcanzar el conductor = 1084°C

$T_a$  = temperatura ambiente = 40°C

Operando se obtiene  $A = 48,09 \text{ mm}^2$ .

Se elige, por tanto, una sección de 120 mm<sup>2</sup> de cable de cobre (valor habitual).

El siguiente paso es el cálculo de tensiones de paso y contacto  $U'c$  y  $U'p$ .

Primero hallamos el número de conductores en paralelo y los factores  $K_h$  y  $K_{ii}$ , mediante las siguientes expresiones:

$$n = \frac{2 * L_c}{L_p} * \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}} * \left[ \frac{L_x * L_y}{A} \right]^{\frac{0,7 * A}{L_x * L_y}} * \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 * L_y^2}}$$

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

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

Donde:

$L_c$  = longitud total del cable enterrado = 25102 m

$L_p$  = longitud del perímetro = 1276 m

$A$  = área de la malla de tierra = 84328 m<sup>2</sup>

$L_x$  = máxima longitud de la malla en dirección x = 382 m

$L_y$  = máxima longitud de la malla en dirección y = 256 m

$D_m$  = máxima distancia entre dos puntos de malla = 459,85 m

$h$  = profundidad de la malla de tierra = 0,8 m

Operando, se obtiene:

$n = 45,09$

$K_h = 1,3416$

$$K_{ii} = 0,819$$

Con esto, se obtiene  $K_m$  (factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de contacto) a través de la siguiente expresión:

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

Donde:

D = separación media entre conductores de la red de tierras = 7 m

d = diámetro del cable de tierra = 0,014 m

Sustituyendo:

$$K_m = 0,588$$

También se obtiene  $K_s$  (factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de paso) mediante la siguiente expresión:

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

Sustituyendo:

$$K_s = 0,285$$

Por último, se calcula el factor  $K_i$  (factor de corrección por efecto de mayor densidad de corriente en los extremos de la malla de tierra),  $L_m$  (longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de contacto) y  $L_s$  (longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de paso) mediante el uso de las siguientes fórmulas:

$$K_i = 0,644 + 0,148 * n$$

$$L_m = L_c$$

$$L_s = 0,75 * L_c$$

Operando:

$$K_i = 7,32$$

$$L_m = 25102 \text{ m}$$

$$L_s = 18826,5 \text{ m}$$

Entonces hallamos las tensiones de paso y de contacto:

$$U'c = \frac{\rho * K_m * K_t * I_g}{L_m}$$

$$U'p = \frac{\rho * K_s * K_t * I_g}{L_s}$$

Donde:

$I_g$  = intensidad que circula por la red de tierra de la subestación

Se calcula:

$$I_g = 50 * 0,7 = 35 \text{ kA}$$

Se realiza una reducción del 70% al tener el neutro rígidamente a tierra (ITC-RAT-13).

Sustituyendo:

$$U'c = 480,44 \text{ V}$$

$$U'p = 310,52 \text{ V}$$

El diseño es correcto puesto que son valores menores que los máximos admisibles.

El último paso es el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la malla de subestación a través de la siguiente expresión:

$$R = \rho * \left[ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} * \left( 1 + \frac{1}{1+h * \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

Donde:

$\rho$  = resistividad del terreno = 80  $\Omega$ m

L = longitud total del cable enterrado = 25102 m

h = profundidad de la malla de tierra = 0,8 m

$A = \text{área de la malla de tierra} = 84328 \text{ m}^2$

Operando,  $R = 0,126 \Omega$ .

#### 4.2. Red de tierras superiores

Su objetivo es atraer las descargas atmosféricas y dirigir las a la malla enterrada para que sean disipadas a tierra, evitando situaciones que puedan generar peligro tanto para el personal como para los equipos de la instalación.

El sistema elegido consiste en un conjunto de puntas Franklin montados sobre las columnas de los pórticos. Las puntas Franklin se unen a la malla enterrada mediante la estructura metálica que las sujeta.

El modelo electro geométrico de las descargas atmosféricas es el modelo elegido para el diseño del sistema, puesto que es el comúnmente escogido.

Las puntas Franklin deben captar todas las descargas atmosféricas que originen tensiones superiores a las del nivel de aislamiento de la subestación (provocando un apantallamiento total).

- Parque 400kV

Para hallar la zona de captura se utiliza la siguiente expresión:

$$r = 8 * I^{0,65};$$

Siendo  $I = 1,1 * U * \frac{N}{Z}$ , donde:

$U = \text{tensión a impulsos tipo rayo} = 1425\text{kV}$

$N = \text{número de líneas conectadas al parque} = 5$

$Z = \text{impedancia característica de la línea} = 400\Omega$  (valor habitual)

Se obtiene  $I = 19,59\text{kA}$

Por lo tanto, la zona de captura será:

$$r = 55,33\text{m}$$

- Parque 220kV

Para hallar la zona de captura se utiliza la siguiente expresión:

$$r = 8 * I^{0,65};$$

Siendo  $I = 1,1 * U * \frac{N}{Z}$ , donde:

U = tensión a impulsos tipo rayo = 1050kV

N = número de líneas conectadas al parque = 6

Z = impedancia característica de la línea = 400Ω (valor habitual)

Se obtiene  $I = 17,33\text{kA}$

Por lo tanto, la zona de captura será:

$$r = 51,08\text{m}$$

## 5. Selección de autoválvulas

### 5.1. Parque 400kV

Primero hay que calcular el factor de puesta a tierra k, con el fin de verificar que el sistema está puesto a tierra de forma correcta.

$$k = \frac{U_{tov}}{U_{ca}};$$

Donde:

$$U_{ca} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 242,49\text{kV}$$

$$U_{tov} \leq 1,4 * U_{ca} * \left(\frac{T_t}{10}\right)^{0,02} = 419,74\text{kV};$$

Siendo  $T_t = 0,5\text{s}$ .

Por lo tanto,  $k = 1,32 \leq = 1,4$

Se considera un sistema puesto rígidamente a tierra.

Se deben calcular los valores principales de la autoválvula a elegir, para poder realizar la decisión correcta.

Para el cálculo de la tensión de funcionamiento continuo ( $U_c$ ):

$$U_c \geq \frac{420}{\sqrt{3}} = 242,49\text{kV}$$

Para el cálculo de la tensión residual ( $U_p$ ):

$$U_p \leq \frac{U_{BIL}}{1,2} = \frac{1425}{1,2} = 1187,5\text{kV}$$

Para el cálculo de la línea de fuga mínima:

$$L_{fuga} = L_{min} * U_m = 20 * 420 = 8400\text{mm} = 8,4\text{m}$$

Por último, como  $U_n > 380\text{kV}$ , la corriente de descarga debe de ser de 20kA y la clase de la autoválvula de 4 ó 5.

Según todos estos valores, se elige la autoválvula EXLIM P 420 descargador de óxido de cinc de la empresa ABB.

Para el cálculo de la distancia máxima que puede existir entre el punto de protección y la autoválvula:

$$L_{max} = \frac{\frac{U_{BIL}}{1,2} - U_p}{2 * S} * V = 43,58\text{m}$$

Donde:

$V$  = velocidad de propagación de la onda (300m/ $\mu$ s)

$S$  = pendiente de sobretensión (1000kV/  $\mu$ s)

## 5.2. Parque 220kV

Primero hay que calcular el factor de puesta a tierra  $k$ , con el fin de verificar que el sistema está puesto a tierra de forma correcta.

$$k = \frac{U_{tov}}{U_{ca}};$$

Donde:

$$U_{ca} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 141,45kV$$

$$U_{tov} \leq 1,4 * U_{ca} * \left(\frac{T_t}{10}\right)^{0,02} = 186,51kV;$$

Siendo  $T_t = 0,5s$ .

Por lo tanto,  $k = 1,32 \leq = 1,4$

Se considera un sistema puesto rígidamente a tierra.

Se deben calcular los valores principales de la autoválvula a elegir, para poder realizar la decisión correcta.

Para el cálculo de la tensión de funcionamiento continuo ( $U_c$ ):

$$U_c \geq \frac{245}{\sqrt{3}} = 141,45kV$$

Para el cálculo de la tensión residual ( $U_p$ ):

$$U_p \leq \frac{U_{BIL}}{1,2} = \frac{1050}{1,2} = 875 \text{ kV}$$

Para el cálculo de la línea de fuga mínima:

$$L_{fuga} = L_{min} * U_m = 20 * 245 = 4900mm = 4,9m$$

Por último, como  $U_n = 220kV$ , la corriente de descarga debe de ser de 10kA y la clase de la autoválvula de 2 ó 3.

Según todos estos valores, se elige la autoválvula EXLIM Q-E 245 descargador de óxido de cinc de la empresa ABB.

Para el cálculo de la distancia máxima que puede existir entre el punto de protección y la autoválvula:

$$L_{max} = \frac{\frac{U_{BIL}}{1,2} - U_p}{2 * S} * V = 61,35m$$

Donde:

$V$  = velocidad de propagación de la onda (300m/ $\mu s$ )

S = pendiente de sobretensión (1000kV/  $\mu$ s)

## 6. Cálculo del efecto corona

### 6.1. Parque 400kV

Para calcular el efecto corona es necesario hallar la tensión crítica disruptiva ( $U_c$ ), ya que es el valor a partir de la cuál este efecto se manifiesta. Para su cálculo se utilizará la fórmula de Peek:

$$U_c = m_0 * m_t * \delta * E_{0f} * R * \ln\left(\frac{D}{R}\right);$$

Donde:

- $m_0$  = coeficiente de irregularidad del conductor = 1
- $m_t$  = coeficiente meteorológico = 1 para tiempo seco.
- $\delta$  = factor de corrección de la densidad del aire

$$\delta = \frac{3,92 * H}{273 + T} = 0,937$$

H = presión atmosférica mercurio (76cmHg)

T = temperatura del aire (45°C)

- $E_{0f}$  = Valor eficaz del campo eléctrico crítico para que aparezca el efecto corona. El valor máximo de campo:

$$E_0 = 30 * m_0 * \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{R}}\right) \text{ kV/cm}$$

Entonces:

-Embarrado principal (tubo 250mm diámetro) = 32,55kV/cm

-Embarrado secundario (tubo 150mm diámetro) = 33,29kV/cm

El valor de  $E_{0f}$ :

-Embarrado principal =  $\frac{E_0}{\sqrt{2}} = 23,01\text{kV/cm}$

-Embarrado secundario =  $\frac{E_0}{\sqrt{2}} = 23,54\text{kV/cm}$

- R = radio. Para el tubo de 250mm es 12,5cm y para el tubo de 150mm es 7,5cm.
- D = distancia media geométrica entre los conductores.

-Embarrado principal:  $D = \sqrt[3]{500 * 500 * 1000} = 629,96cm$

-Embarrado secundario:  $D = \sqrt[3]{500 * 500 * 1000} = 629,96cm$

Por tanto, la tensión crítica disruptiva:

-Embarrado principal:  $U_c = 1056,42kV$

-Embarrado secundario:  $U_c = 732,76kV$

Para tiempo húmedo, disminuye un 20%:

-Embarrado principal:  $U_c = 845,14kV$

-Embarrado secundario:  $U_c = 586,21kV$

Como se observa los valores son muy superiores a 243kV, que es la tensión eficaz entre fase y tierra de los conductores, por lo que no se espera que se produzca el efecto corona.

## 6.2. Parque 220kV

Para calcular el efecto corona es necesario hallar la tensión crítica disruptiva ( $U_c$ ), ya que es el valor a partir de la cuál este efecto se manifiesta. Para su cálculo se utilizará la fórmula de Peek:

$$U_c = m_0 * m_t * \delta * E_{0f} * R * \ln\left(\frac{D}{R}\right);$$

Donde:

- $m_0$  = coeficiente de irregularidad del conductor = 1
- $m_t$  = coeficiente meteorológico = 1 para tiempo seco.
- $\delta$  = factor de corrección de la densidad del aire

$$\delta = \frac{3,92 * H}{273 + T} = 0,937$$

H = presión atmosférica mercurio (76cmHg)

T = temperatura del aire (45°C)

- $E_{of}$  = Valor eficaz del campo eléctrico crítico para que aparezca el efecto corona. El valor máximo de campo:

$$E_0 = 30 * m_0 * (1 + \frac{0,3}{\sqrt{R}}) \text{ kV/cm}$$

Entonces:

-Embarrado principal (tubo 150mm diámetro) = 33,29kV/cm

-Embarrado secundario (tubo 100mm diámetro) = 34,02kV/cm

El valor de  $E_{of}$ :

-Embarrado principal =  $\frac{E_0}{\sqrt{2}} = 23,54 \text{ kV/cm}$

-Embarrado secundario =  $\frac{E_0}{\sqrt{2}} = 24,06 \text{ kV/cm}$

- R = radio. Para el tubo de 150mm es 7,5cm y para el tubo de 100mm es 5cm.
- D = distancia media geométrica entre los conductores.

-Embarrado principal:  $D = \sqrt[3]{350 * 350 * 700} = 440,97 \text{ cm}$

-Embarrado secundario:  $D = \sqrt[3]{400 * 400 * 800} = 503,97 \text{ cm}$

Por tanto, la tensión crítica disruptiva:

-Embarrado principal:  $U_c = 673,77 \text{ kV}$

-Embarrado secundario:  $U_c = 519,89 \text{ kV}$

Para tiempo húmedo, disminuye un 20%:

-Embarrado principal:  $U_c = 539,02 \text{ kV}$

-Embarrado secundario:  $U_c = 415,92 \text{ kV}$

Como se observa los valores son muy superiores a 141kV, que es la tensión eficaz entre fase y tierra de los conductores, por lo que no se espera que se produzca el efecto corona.



## **ESTUDIO ECONÓMICO**

## ÍNDICE

1. Introducción: pág.126
2. Rentabilidad de la obra: pág.126

## 1. Introducción

El objetivo de este apartado es estudiar si es rentable la realización del proyecto, ya que al tratarse de capital privado la obtención de beneficios resulta indispensable.

## 2. Rentabilidad de la obra

En el documento referido al presupuesto de la instalación se ha obtenido una inversión inicial que asciende a 17.160.685€.

Por otro lado, la empresa recibirá ciertas ayudas económicas procedentes del Estado.

Las subvenciones económicas son las siguientes:

- Transformador de la subestación

Se recibirá una subvención de 7.553€/MVA por la inversión y 203€/MVA por el mantenimiento. Todo ello asciende a 4.653.000€.

- Interruptores

Se recibirá una subvención de 10.422€/ud por la inversión y 57€/ud por el mantenimiento. Todo ello asciende a 324.849€.

- Seccionadores

Se recibirá una subvención de 2.138€/ud por la inversión y 12€/ud por el mantenimiento. Todo ello asciende a 219.300€.

- Parques

- Parque 400kV

Se recibirá una subvención de 1.214.288€/posición, lo que asciende a 9.714.304€.

- Parque 220kV

Se recibirá una subvención de 877.309€/posición, lo que asciende a 7.018.472€.

En total se reciben ayudas por valor de 21.930.525€, por lo que sale rentable la construcción del parque.

Se obtienen 4.769.840€ de beneficio.

La rentabilidad de la instalación sería:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Margen}}{\text{Inversión}} * 100 = 27,80\%$$

## **ANEXOS**

## ÍNDICE

1. Catálogos: pág.130

# 1. Catálogos

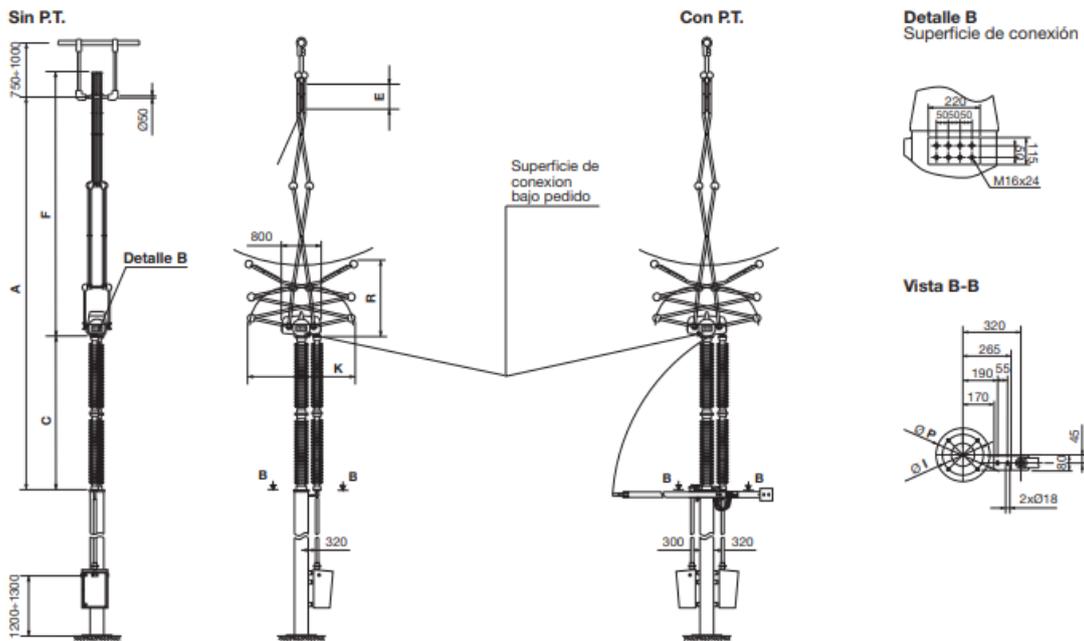
- Seccionadores
  - Pantógrafos

## Características técnicas

Montaje	Referencia	Fig.	Peso (7) (kg)	Referencia (con PAT)	Peso (7) (kg)	Tensión nominal (kV)	Intensidad nominal (A)	Tensión de ensayo					Intensidad de corta duración (valor eficaz) (kA)	Valor cresta de la intensidad (kA)	Tipo de aislador (17)	
								A tierra y entre polos			Sobre la distancia de seccionamiento					
								A frecuencia industrial bajo lluvia (kV)	A impulso tipo rayo (kV)	A impulso tipo maniobra (kV)	A frecuencia industrial bajo lluvia (kV)	A impulso (kV)				
9	SP-170/4000	2	103	SPT-170/4000	153	170	4000	325	750	-	375	860	-	50	125	C6-750
10	SP-245/4000	2	112	SPT-245/4000	162	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	50	125	C6-1050
11	SP-245/4000	2	112	SPT-245/4000	162	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	63	160	C8-1050
12	SPD-245/4000	3	133	SPDT-245/4000	183	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	50	125	C6-1050
13	SPD-245/4000	3	133	SPDT-245/4000	183	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	63	160	C8-1050
14	SPD-420/4000	3	150	SPDT-420/4000	200	420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	50	125	C6-1425
15	SPD-420/4000	3	150	SPDT-420/4000	200	420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	63	160	C8-1425

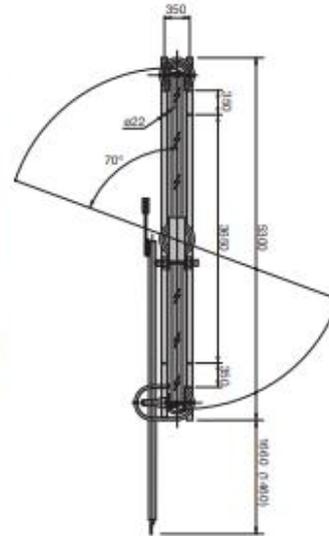
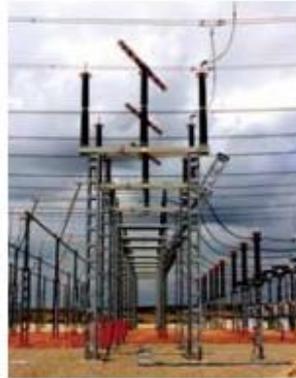
Tensión nominal (kV)	Fig.	A	C	E	F (aprox.)	K (aprox.)	L (min)	R (aprox.)	Anclajes (vista B-B) (2)		
									I	Nº agujeros	P
170	2	4390	1700	300	2970	2145	1630	875	225	(4xØ18)	270
245	2	5630	2300	460	3230	2540	2280	1250	225	(4xØ18)	270
245	3	6250	2300	460	3960	1740	2350	1235	225	(4xØ18)	270
420	3	8250	3350	550	4865	2285	3150	1590	254	(4xØ18)	330

Figura 3



○ De columnas giratorias

Referencia	Peso kg	Referencia	Peso kg	Tensión Nominal kV	Intensidad Nominal A	Tensión de ensayo						Intensidad de corta duración (Valor eficaz) (RMS)	Valor cresta de la intensidad	Tipo de aislador
						A tierra y entre polos			Sobre la distancia de seccionamiento					
						A frecuencia industrial bajo lluvia kV	A impulso tipo rayo kV	A impulso tipo maniobra kV	A frecuencia industrial bajo lluvia kV	A impulso kV	A impulso tipo maniobra kV			
SG3C-420/3150		SG3CT-420/3150		420	3150	520	1425	1050	610	1665	1245	50	125	C6-1550
SG3C-420/4000	1425	SG3CT-420/4000	1475	420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	50	125	C6-1550
SG3C-420/4000		SG3CT-420/4000		420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	63	160	C8-1550



**Partes conductoras**

Realizadas en aleación de aluminio.

**Sistema de contactos y bornas de conexión**

Contactos en cobre plateado, con aumento dinámico de la presión de contacto.

**Aisladores**

Tipo C6 ó C8, de 1425 ó 1550 kV aislamiento a impulso tipo rayo, de porcelana esmaltada en marrón, según CEI-273 y línea de fuga conforme a los niveles fijados en CEI-815.

**Partes férricas**

Tanto las bases como el resto de partes férricas, tornillos, bulones, etc, son de acero inoxidable o galvanizadas por inmersión en caliente según ISO 1461.

**Soportes giratorios**

Engrasados de por vida.

**Puesta a tierra**

Los seccionadores pueden suministrarse con cuchillas de puesta a tierra enclavadas mecánicamente con las cuchillas principales.

**Funcionamiento**

Doble cinemática apertura/cierre. Para el cierre, la columna central efectúa una primera rotación de 70° hasta que se tocan los contactos y una segunda rotación de 20° que se traduce en un desplazamiento paralelo de las partes conductoras hasta completar el cierre y enclavar el seccionador en esa posición. Para la apertura, la primera rotación libera los contactos y la segunda desplaza las cuchillas hasta la posición de abierto.

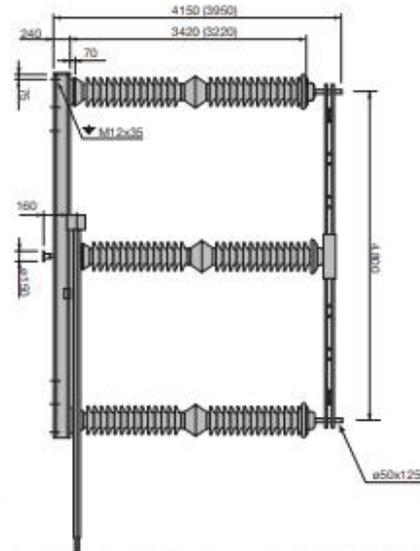
**Operación**

Puede ser motorizada o manual. La operación se realiza polo por polo.

**Prestaciones especiales**

Bajo demanda, los seccionadores se suministran con dispositivos especiales, como son:

- Endurancia mecánica extendida hasta 10.000 maniobras.
- Capacidad de funcionamiento en condiciones severas de formación de hielo (20 mm).
- Anillos equipotenciales (para RIV <2500 μV).



Las medidas entre paréntesis, corresponden a aislador C6 ó C8-1425.

**Características eléctricas Electrical characteristics**

	Referencia Reference	Tensión nominal Rated voltage	Intensidad nominal Rated normal current (1)	Tensión de ensayo / Impulse withstand voltage				Intensidad corta duración (valor eficaz) Short time withstand current (RMS)	Valor cresta de la intensidad Peak withstand current (1)	Tipo de aislador Insulator type
				A tierra y entre polos To earth and between poles		Sobre la distancia de sección Across isolating distance				
				A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse	A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse			
A	1	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		52	800	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		100	1250	185	450	210	520	31,5	80	C4-450
		123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	2	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		52	1250	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		100	1250	185	450	210	520	31,5	80	C4-450
		123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	3	52	1600	160	375	110	290	40	100	C4-250
		52	2000	200	450	110	290	50	125	C4-250
	72,5	2000	200	450	160	375	50	125	C4-325	
	72,5	2750	2750	140	325	160	375	50	125	C4-325
	100	1600	1600	185	450	210	520	40	100	C4-450
	100	2000	2000	185	450	210	520	50	125	C4-450
	123	1600	1600	230	550	265	635	40	100	C4-550
	123	2000	2000	230	550	265	635	50	125	C4-550
	123	2750	2750	230	550	265	635	50	125	C4-550
B	1	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
		170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
	2	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
		170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
C		145	1600	275	650	315	750	40	100	C4-650
		145	2000	275	650	315	750	50	125	C4-650
		170	1600	325	750	375	860	40	100	C4-750
		170	2000	325	750	375	860	50	125	C4-750
		245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		245	2000	460	1050	530	1200	50	125	C4-1050

**Dimensiones**

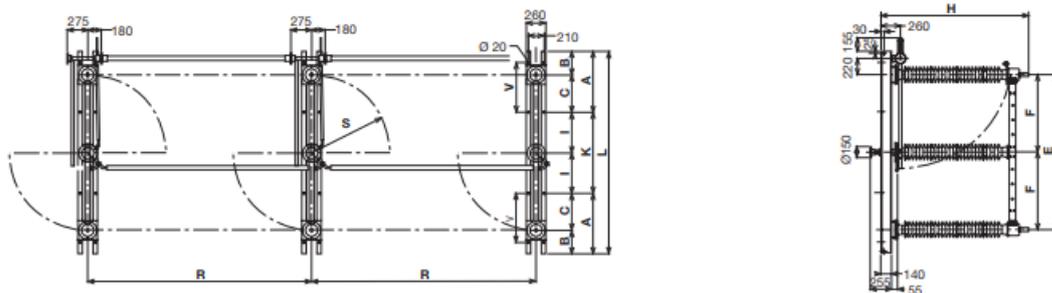
**Dimensions**

Seccionador Disconnector		Seccionador con puesta a tierra Disconnector with earthing switch		Dimensiones Dimensions (mm)																	
Referencia Reference	Peso Weight Kg	Referencia Reference	Peso Weight Kg	A	B	C	D	E	F	H	I	K	L	M	R	S	V				
										SG3C SG3CT	SG3CP SG3CPT										
A	1	SG3CP-36/800 SG3CP-36/1250	237	SG3CPT-36/800 SG3CPT-36/1250	291	140	60	90	160	800	400	788	650	240	480	1190	105	1000	368	-	
		SG3CP-52/800 SG3CP-52/1250	285	SG3CPT-52/800 SG3CPT-52/1250	339	140	60	90	160	1000	500	903	765	340	680	1390	105	1200	468	-	
		SG3CP-72/800 SG3CP-72/1250	522	SG3CPT-72/800 SG3CPT-72/1250	580	160	65	145	105	1200	600	1118	980	495	990	1590	50	1500	568	-	
		SG3CP-100/800 SG3CP-100/1250	621	SG3CPT-100/800 SG3CPT-100/1250	682	160	65	145	105	500	750	1368	1230	645	1290	1890	50	800	718	-	
		SG3CP-123/800 SG3CP-123/1250	690	SG3CPT-123/800 SG3CPT-123/1250	754	160	65	145	105	1700	850	1568	1430	745	1490	2090	50	2100	818	-	
		SG3C-52/1600 SG3C-52/2000	328 348	SG3CT-52/1600 SG3CT-52/2000	384 404	140	60	90	160	1000	500	985 1010	-	340	680	1390	105	1200	468	-	
		SG3C-72/1600 SG3C-72/2000	572 602	SG3CT-72/1600 SG3CT-72/2000	630 660	160	65	145	105	1200	600	1070 1195	-	495	990	1590	50	1500	568	-	
		SG3C-100/1600 SG3C-100/2000	672 702	SG3CT-100/1600 SG3CT-100/2000	732 762	160	65	145	105	1500	750	1420 1445	-	645	1290	1890	50	1800	718	-	
		SG3C-123/1600 SG3C-123/2000	745 785	SG3CT-123/1600 SG3CT-123/2000	809 849	160	65	145	105	1700	850	1620 1645	-	745	1490	2090	50	2100	818	-	
	B	1	SG3CP-145/800 SG3CP-145/1250	1432	SG3CPT-145/800 SG3CPT-145/1250	1495	815	315	500	-	2100	1050	1875	1770	550	1100	2730	-	3000	1020	600
			SG3CP-170/800 SG3CP-170/1250	1450	SG3CPT-170/800 SG3CPT-170/1250	1525	815	315	500	-	2400	1200	2075	1960	700	1400	3030	-	3200	1168	600
		2	SG3CP-245/800 SG3CP-245/1250	2000	SG3CPT-245/800 SG3CPT-245/1250	2045	715	315	400	-	3000	1500	2675	2560	1100	2200	3630	-	4500	1468	500
		SG3C-145/1600 SG3C-145/2000	1380 1390	SG3CT-145/1600 SG3CT-145/2000	1505 1515	815	315	500	-	2100	1050	1955 1983	-	550	1100	2730	-	3000	1000	600	
		SG3C-170/1600 SG3C-170/2000	1455 1465	SG3CT-170/1600 SG3CT-170/2000	1585 1595	715	315	400	-	2400	1200	2155 2183	-	700	1400	3030	-	3200	1150	600	
		SG3C-245/1600 SG3C-245/2000	2005 2020	SG3CT-245/1600 SG3CT-245/2000	2145 2160	715	315	400	-	3000	1500	2755 2783	-	1100	2200	3630	-	4500	1450	500	

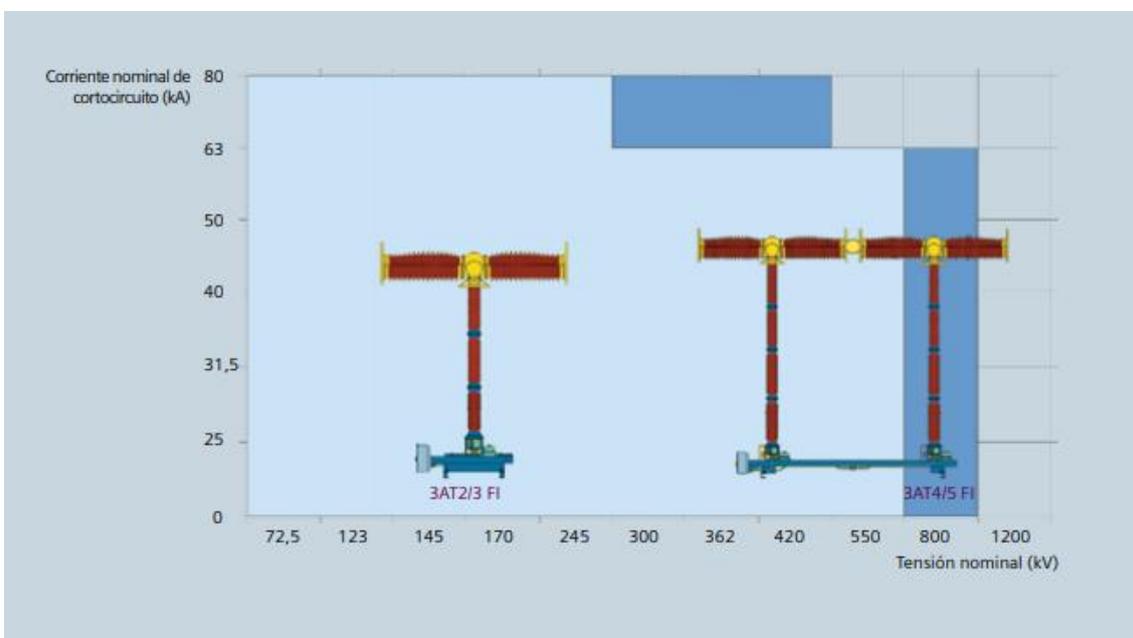
(1) Para valores distintos a los indicados, consultar. / Other different values available under request.

(2) R= Distancia entre polos normalizada de MESA. Otras distancias bajo demanda. / Distance between poles is the MESA standard one. Other distances available under request.

C SG3C, SG3CT:  $145 \text{ kV} \leq U_n \leq 245 \text{ KV}$   $1600 \text{ A} \leq I_n \leq 2750 \text{ A}$



- Interruptores de potencia

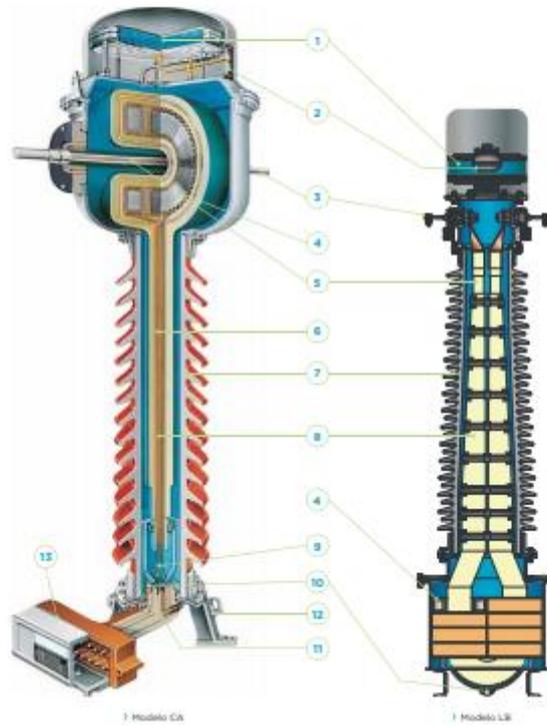


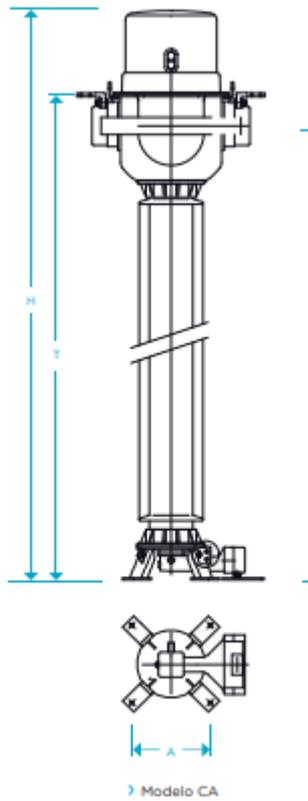
Tipo		3AT2/3					3AT4/5			
Tensión nominal	kV	245	300	362	420	550	362	420	550	800
Cantidad de cámaras de extinción por polo		2					4			
Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1 min	kV	460	460	520	610	800	450	520	620	830
Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50 µs)	kV	1050	1050	1175	1425	1550	1175	1425	1550	2100
Tensión de prueba de impulso de maniobra	kV	-	850	950	1050	1175	950	1050	1175	1425
Corriente nominal, hasta	A	4000								
Corriente nominal de corta duración, hasta	kA <sub>(ms)</sub>	80	63	63	63	63	80	80	63	63
Corriente nominal de cortocircuito, hasta	kA	80	63	63	63	63	80	80	63	63
Rango de temperatura	°C	-25 a +50								
Ciclo nominal de operación		O-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO								
Tiempo de ruptura		2 ciclos								
Frecuencia	Hz	50 o 60								
Mantenimiento después de		25 años								

- Transformadores de intensidad

### SECCIONES

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1. Compensador de volumen de aceite     | 6. Conductores secundarios       |
| 2. Indicador de nivel de aceite         | 7. Aislador (porcelana o sílice) |
| 3. Terminal primario                    | 8. Borne condensadora            |
| 4. Núcleos y arrollamientos secundarios | 9. Conexión de tierra reforzada  |
| 5. Conductor primario                   | 10. Toma de muestras de aceite   |





**Aislamiento 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 (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1.185	1.625	250
CA-52	52	95	250	-	1.300	350	1.185	1.625	260
CA-72	72,5	140	325	-	1.825	350	1.335	1.775	280
CA-100	100	185	450	-	2.500	350	1.335	1.775	290
CA-123	123	230	550	-	3.075	350	1.665	2.095	300
CA-145	145	275	650	-	3.625	350	1.665	2.095	310
CA-170	170	325	750	-	4.250	350	1.895	2.335	330
CA-245	245	460	1.050	-	6.125	450	2.755	3.055	560
		395	950						
CA-300	300	460	1.050	850	7.500	450	3.170	3.580	650
CA-362	362	510	1.175	950	9.050	600	3.875	4.355	870
		630	1.425	1.050	10.500	600	3.875	4.355	920
CA-420	420	575	1.300	1.050	10.500	600	3.875	4.355	920
		680	1.550						
CA-525	(525) 550	680	1.550	1.175	13.125	600	4.530	5.365	1.200
CA-550	(525) 550	800	1.800	1.175	13.750	600	5.205	5.960	1.700
		880	1.950	1.425	15.300	600	5.770	6.590	2.050
CA-765	(765) 800	975	2.100	1.550					

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: desde 1 A hasta 5.000 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 120 kA/1 s.

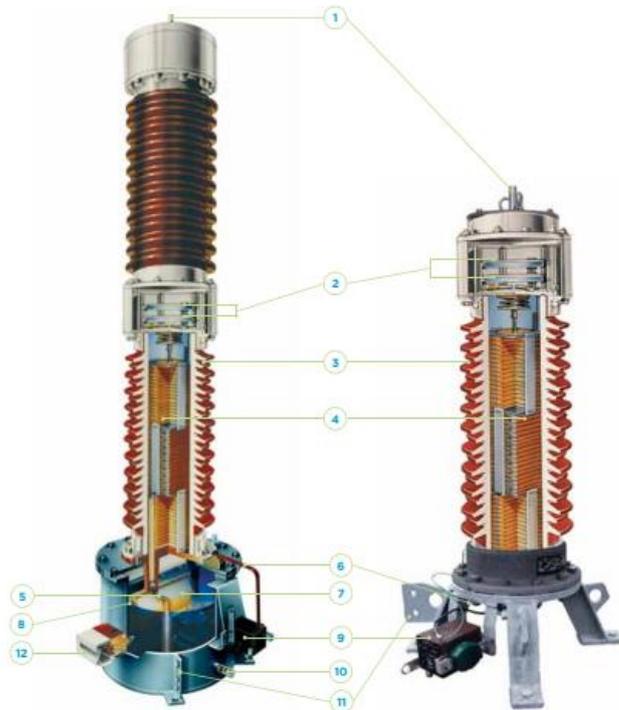
- Transformadores de tensión capacitivos



Modelo DFK

### SECCIONES

- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Terminal primario                | 7. Transformador de tensión inductivo |
| 2. Compensador de volumen de aceite | 8. Indicador de nivel de aceite       |
| 3. Aislador (porcelana o silicona)  | 9. Accesorios de onda portadora       |
| 4. Condensadores                    | 10. Toma de muestras de aceite        |
| 5. Toma de tensión intermedia       | 11. Terminal de puesta a tierra       |
| 6. Terminal de alta frecuencia      | 12. Caja terminales secundarios       |



Transformador de tensión capacitivo

Condensador de acoplamiento

### 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 (kVp)	Maniobra (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DDB-72	72,5	140	325	-	10.300	25.500	1.825	450	1.510	245
DDB-100	100	185	450	-	5.700	14.300	2.500	450	1.600	255
DDB-123	123	230	550	-	5.600	14.000	3.075	450	1.830	300
DDB-145	145	275	650	-	3.900	19.500	3.625	450	1.920	310
DDB-170	170	325	750	-	7.500	16.500	4.250	450	2.065	330
DFK-245	245	460	1.050	-	5.800	11.000	6.125	450	2.885	450
		395	950							
DFK-300	300	460	1.050	850	6.000	12.500	7.500	450	3.205	480
DFK-362	362	510	1.175	950	4.500	10.100	9.050	450	3.675	520
		630	1.425	1.050						
DFK-420	420	575	1.300	950	3.500	7.700	10.500	450	4.595	670
		680	1.550	1.175						
DFK-525	(525) 550	800	1.800	1.175	3.000	6.200	13.125	450	5.560	1.065
		880	1.950	1.425						
		975	2.100	1.550						
DFK-765	(765) 800	880	1.950	1.425	3.000	4.500	15.300	450	7.010	1.270
		975	2.100	1.550						

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar. Posibilidad de valores superiores de capacidad bajo pedido.

- Autoválvulas

## Descargador de óxido de cinc EXLIM P

Para la protección contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento de subestaciones de alta tensión, transformadores y otros equipos en redes de alta tensión.

- en zonas con intensidad de descarga muy alta
- en lugares donde las condiciones de puesta a tierra o apantallamiento son deficientes o incompletas
- para instalaciones importantes
- donde los requisitos energéticos son muy altos (por ejemplo, líneas muy largas, protección de condensadores, etc.).



### Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red ( $U_{m}$ )	52 - 550 kV
Tensiones nominales ( $U_n$ )	42 - 444 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	20 kA <sub>pic</sub>
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10/15 kA <sub>pic</sub>
<b>Resistencia de corriente de descarga</b>	
Corriente alta 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>pic</sub>
Corriente baja 2.000 $\mu$ s	1.350 A <sub>pic</sub>
<b>Capacidad de energía:</b>	
Clase de descarga de línea (IEC)	Clase 4
[2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	10,8 kJ/kV ( $U_n$ )
Cumple con / sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 550 kV.	
<b>Capacidad de cortocircuito/alivio de presión</b>	65 kA <sub>sim</sub>
<b>Aislamiento externo</b>	Cumple con / sobrepasa las normas
<b>Resistencia mecánica:</b>	
Carga de servicio estática admisible (PSSL)	7.200 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	18.000 Nm
<b>Condiciones de funcionamiento:</b>	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitud de diseño (Mayores altitudes bajo pedido)	máx. 1.000 m
Frecuencia	15 - 62 Hz

## 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	1 kA	2 kA	3 kA	5 kA	10 kA
U <sub>m</sub>	U <sub>r</sub>	U <sub>C</sub>	MCOV	1 s	10 s	1 kA	2 kA	3 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>pico</sub>	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>pico</sub>
<b>300</b>	216	173	174	250	237	422	437	448	467	492	539	590
	228	182	182	264	250	445	461	473	493	519	568	623
	240	191	191	278	264	468	485	497	519	546	598	656
	258	191	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705
	264	191	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721
<b>362</b>	258	206	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705
	264	211	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721
	276	221	221	320	303	539	558	572	597	628	688	754
	288	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787
<b>420</b>	330	264	267	382	363	644	667	684	714	751	823	901
	336	267	272	389	369	656	679	696	727	765	838	918
	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983
	372	267	301	431	409	726	752	771	804	847	927	1021
	378	267	306	438	415	737	764	783	817	860	942	1037
	381	267	308	441	419	743	770	789	824	867	950	1045
	390	267	315	452	429	761	788	808	843	888	972	1070
	396	267	318	459	435	773	800	820	856	901	987	1088
	420	267	336	487	462	819	849	870	908	956	1051	1152
<b>550</b>	396	317	318	459	435	773	800	820	856	901	987	1088
	420	336	336	487	462	819	849	870	908	956	1051	1152
	444	349	353	515	488	866	897	920	960	1015	1111	1217

Para información más detallada sobre la capacidad de sobretensiones temporales (TOV) y las características de protección, ver la publicación 1HSM 9543 13-01en.

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 prueba.

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  $\sqrt{3}$ .

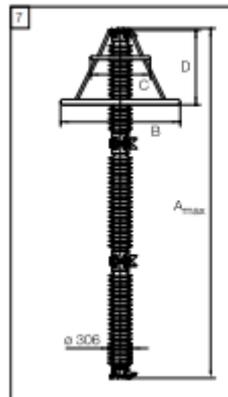
2) Con rendimiento primario igual a la carga energética máxima de impulso simple (7,0 kJ/kV (U<sub>r</sub>)).

A petición del cliente puede ser posible ofrecer descargadores con voltajes inferiores o superiores para aplicaciones especiales.

## Datos técnicos de los revestimientos

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Revestimiento	Distancia de fuga	Aislamiento externo <sup>1)</sup>				Dimensiones					
				1,2/50 µs seco	50 Hz húmedo (50s)	60 Hz húmedo (10s)	50/2.500 µs húmedo	Tema	A <sub>max</sub>	B	C	D	Fig.
U <sub>m</sub> kV <sub>eff</sub>	U <sub>n</sub> kV <sub>eff</sub>		mm	kV <sub>eff</sub>	kV <sub>eff</sub>	kV <sub>eff</sub>	kV <sub>eff</sub>	kg					
<b>36</b>	30-39	GV036	5444	318	151	135	228	85	785	-	-	-	1
	42-60	GV052	5444	318	151	135	228	90	785	-	-	-	1
<b>52</b>	42-60	GV052	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
	54-84	GV072	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
<b>72</b>	54-84	GV072	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
	84-96	GV100	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
<b>100</b>	84-96	GV100	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	90-138	GV123	4432	774	378	359	616	150	1645	-	-	-	1
<b>123</b>	90-138	GV123	4432	774	378	359	616	150	1645	-	-	-	1
	108-138	GV145	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
<b>145</b>	108-138	GV145	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
	132-144	GV145	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
<b>170</b>	108-144	GV145	4729	904	429	408	690	200	2060	-	-	-	2
	132-168	GV170	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
<b>170</b>	132	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	800	600	400	4
	144-150	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	800	-	300	3
<b>245</b>	150-168	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	800	-	-	3
	180	GV245	6570	1172	556	546	924	240	1925	900	600	500	6
<b>245</b>	180-198	GV245	6570	1172	556	546	924	240	2585	800	600	400	6
	210-228	GV245	6570	1172	556	546	924	240	2585	800	600	500	6
<b>245</b>	180	GV245	7717	1360	656	632	1078	275	2915	1200	800	600	6
	190-198	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	900	600	500	6
<b>245</b>	210	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	800	600	400	6
	216-228	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	800	-	300	5
<b>300</b>	228	GV300	6570	1172	556	546	924	245	2585	900	600	500	6
	240-264	GV300	6570	1172	556	546	924	245	2585	900	600	400	6
<b>300</b>	216	GV300	7717	1360	656	632	1078	280	2915	1400	800	700	6
	228-264	GV300	7717	1360	656	632	1078	275	2915	900	600	500	6
<b>300</b>	216	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1600	800	1000	7
	228	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1400	800	700	7
<b>300</b>	240	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1200	800	600	7
	258-264	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1200	800	600	7
<b>362</b>	258	GV362	7717	1360	656	632	1078	285	2915	1400	800	700	6
	264-288	GV362	7717	1360	656	632	1078	285	2915	1200	800	600	6
<b>362</b>	258-264	GV362	9855	1758	834	819	1386	360	3860	1600	800	1000	7
	276-288	GV362	9855	1758	834	819	1386	360	3860	1400	800	700	7
<b>362</b>	258-288	GV362	13149	2134	1034	994	1634	425	4850	1800	800	1200	9
	330-360	GV420	8864	1548	756	718	1232	325	3245	1200	800	600	6
<b>420</b>	330-336	GV420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1600	1000	1000	7
	360-372	GV420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1400	800	700	7
<b>420</b>	378-420	GV420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1200	800	600	7
	330	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1600	800	1000	8
<b>420</b>	336-396	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1600	800	1000	7
	420	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1400	800	700	7
<b>550</b>	396-444	GV550	11002	1946	934	905	1540	420	4500	1800	1000	800	10
	396	GV550	14287	2352	1212	1178	2002	530	5763	1800	1000	1000	12
<b>550</b>	420-444	GV550	14287	2352	1212	1178	2002	530	5763	1800	1000	1000	11

Figura de las tensiones de resistencia para unidades vacías de descarga. IEC 60071-1, 2007-10 ABB Surge Arresters – Guía para el Comprador



## Datos de envío

Tensión nominal Ur kVrms	Revestimiento	Número de descargadores por caja					
		Uno		Dos		Tres	
		Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg	Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg	Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg
30-39	GV036	0.4	115	0.9	225	0.90	320
42-60	GH052	0.4	120	0.9	235	0.9	335
42-60	GV052	0.5	150	1.4	285	1.4	410
54-84	GV072	0.5	150	1.4	285	1.4	410
84-96	GV100	0.5	155	1.4	295	1.4	425
90-138	GH123	0.5	155	1.4	295	1.4	425
90-138	GV123	0.5	190	1.7	355	1.7	515
108-138	GM145	0.5	155	1.4	295	1.4	425
108-144	GH145	0.5	190	1.7	355	1.7	515
108-144	GV145	1.4	245	2.3	470	2.3	690
132-168	GH170	0.5	195	1.7	365	1.7	530
132-168	GV170	1.4	275	2.8	545	2.8	780
180-228	GH245	1.4	285	2.8	565	2.8	810
180	GV245	2.2	365	3.8	665	3.9	945
192-228	GV245	1.7	315	3.1	615	3.1	895
228-264	GM300	1.4	290	2.8	575	2.8	825
216	GH300	2.4	385	4.2	690	4.1	975
228-264	GH300	1.7	320	3.1	630	3.1	905
216	GV300	2.5	500	5.2	930	6.1	1315
228	GV300	2.1	460	5.2	890	5.2	1255
240-264	GV300	1.9	445	4.9	875	5.0	1240
258	GM362	2.4	390	4.2	705	4.1	995
264-288	GM362	2.2	375	3.8	690	3.9	985
258-264	GH362	2.5	505	5.2	940	6.1	1330
276-288	GH362	2.1	465	5.2	900	5.2	1270
258-288	GV362	3.2	570	6.3	1055	6.7	1510
330-360	GM420	2.2	410	4.1	770	4.2	1105
330-336	GH420	3.2	545	6.0	1010	6.0	1440
360-372	GH420	2.4	505	5.5	970	5.5	1375
378-420	GH420	2.2	490	3.8	960	5.3	1370
330-396	GV420	3.2	610	6.6	1150	7.0	1600
420	GV420	2.4	570	6.1	1110	6.1	1540
396-444	GM550	3.2	565	4.6	1045	6.0	1495
396	GH550	4.6	700	6.0	1300	7.8	1855
420-444	GH550	4.6	700	6.0	1295	7.8	1850
<b>Descargadores con neutro a tierra</b>							
72-78	EN123	0.4	150	1.4	285	1.4	410
84	GNxxx	0.4	150	1.4	285	1.4	410
90-132	GNxxx	0.4	155	1.4	295	1.4	425
144	GNxxx	0.5	190	1.7	355	1.7	515

Cada caja contiene un número determinado de unidades de descargador y accesorios para el ensamble y la instalación. En el exterior de cada caja hay una lista de empaque.

Cada caja tiene un número. Los números de todas las cajas y sus contenidos se indican en la especificación de embarque. ABB se reserva el derecho a embalar los descargadores con la combinación más eficaz y económica. El uso de cajas alternativas no estándar puede generar gastos adicionales.

## Descargador de óxido de cinc EXLIM Q-E

Para la protección contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento de subestaciones de alta tensión, transformadores y otros equipos en redes de alta tensión.

- en zonas con alta intensidad de descargas atmosféricas y requisitos energéticos elevados.
- en lugares donde las condiciones de puesta a tierra o apantallamiento son deficientes o incompletas



### Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red ( $U_{m,eq}$ )	52 -245 kV
Tensiones nominales ( $U_n$ )	42 -228 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	10 kA <sub>picos</sub>
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10 kA <sub>picos</sub>
<b>Resistencia de corriente de descarga</b>	
Corriente alta 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>picos</sub>
Corriente baja 2.400 $\mu$ s	700 A <sub>picos</sub>
Corriente baja 2.000 $\mu$ s	900 A <sub>picos</sub>
<b>Capacidad de energía:</b>	
Clase de descarga de línea (IEC) [2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	Clase 3 7,8 kJ/kV ( $U_n$ )
Cumple con/sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 245 kV.	
Capacidad de cortocircuito/alivio de presión	65 kA <sub>sim</sub>
Aislamiento externo	Cumple con/sobrepasa las normas
<b>Resistencia mecánica:</b>	
Carga de servicio estática admisible (PSSL)	3.000 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	7.500 Nm
<b>Condiciones de funcionamiento:</b>	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitud de diseño (Mayores altitudes bajo pedido)	máx. 1.000 m
Frecuencia	15 - 62 Hz

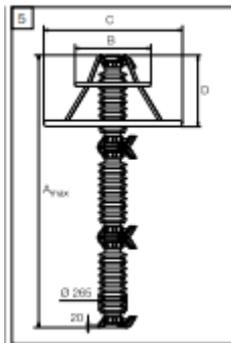
## Datos de protección garantizados

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		30/60 µs				8/20 µs				
					1 s	10 s	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
U <sub>m</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>n</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>c</sub> kV <sub>rms</sub>	MCOV kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>picos</sub>							
36 <sup>3)</sup>	24	19.2	19.5	27.8	26.4	46.1	47.6	49.5	53.6	56.4	62.1	69.4	80.4
	30	24.0	24.4	34.8	33.0	57.6	59.5	61.8	67.0	70.5	77.6	86.8	100
	33	26.4	26.7	38.2	36.3	63.4	65.4	68.0	73.7	77.6	85.4	95.4	105
52	36	28.8	29.0	41.7	39.6	69.2	71.4	74.2	80.4	84.6	93.1	105	122
	39	31.2	31.5	45.2	42.9	74.9	77.3	80.3	87.1	91.7	101	113	122
	42	34	34.0	48.7	46.2	80.7	83.3	86.5	93.8	98.7	109	122	139
72	48	38	39.0	55.6	52.8	92.2	95.1	98.9	108	113	125	139	148
	51	41	41.3	59.1	56.1	98.0	102	105	114	120	132	148	157
	54	43	43.0	62.6	59.4	104	107	112	121	127	140	157	174
100	60	48	48.0	69.6	66.0	116	119	124	134	141	156	174	191
	66	53	53.4	76.5	72.6	127	131	136	148	156	171	191	209
	72	58	58.0	83.5	79.2	139	143	149	161	170	187	209	226
123	75	60	60.7	87.0	82.5	144	149	155	168	177	194	217	235
	78	62	63.1	90.4	85.8	150	155	161	175	184	202	226	243
	81	65	65.6	93.9	89.1	156	161	167	181	191	210	235	251
145	84	67	68.0	97.4	92.4	162	167	173	188	198	218	243	261
	90	72	72.0	104	99.0	173	179	186	201	212	233	261	278
	96	77	77.0	111	105	185	191	198	215	226	249	278	313
170	108	78	84.0	125	118	208	214	223	242	254	280	313	347
	120	78	98.0	139	132	231	238	248	268	282	311	347	382
	132	78	106	153	145	254	262	272	295	311	342	382	399
245	138	78	111	160	151	265	274	285	309	325	357	399	417
	144	92	115	167	158	277	286	297	322	339	373	417	469
	132	106	106	153	145	254	262	272	295	311	342	382	417
245	144	108	115	167	158	277	286	297	322	339	373	417	469
	162	108	131	187	178	312	321	334	362	381	419	469	521
	168	108	131	194	184	323	333	346	376	395	435	486	555
245	180	144	144	208	198	346	357	371	402	423	466	521	573
	192	154	154	222	211	369	381	396	429	452	497	555	608
	198	156	160	229	217	381	393	408	443	466	512	573	634
245	210	156	170	243	231	404	417	433	469	494	543	608	662
	216	156	175	250	237	415	428	445	483	508	559	625	684
	219	156	177	254	240	421	434	451	489	515	567	634	694
222	156	180	264	250	438	452	470	510	536	590	660	720	
228	156	180	264	250	438	452	470	510	536	590	660	720	

## Datos técnicos de los revestimientos

Tensión máxima de red	Tensión nominal	En-vuelta	Dis-tancia de fuga mm	Aislamiento externo <sup>1)</sup>				Dimensiones					
				1,2/50 µs seco kV <sub>picos</sub>	50 Hz húmedo (80s) kV <sub>rms</sub>	60 Hz húmedo (10s) kV <sub>rms</sub>	250/2.500 µs húmedo kV <sub>picos</sub>	Masa kg	A <sub>max</sub>	B	C	D	Fig.
36	24-39	EVO36	1615	275	129	133	n.a.	45	725	-	-	-	1
52	42-60	EVO52	1615	275	129	133	n.a.	48	725	-	-	-	1
72	54-84	EOV72	2651	394	221	203	n.a.	66	997	-	-	-	1
100	84-96	EH100	2651	394	221	203	n.a.	67	997	-	-	-	1
	84-96	EV100	3685	568	287	261	n.a.	82	1268	-	-	-	1
123	90-108	EM123	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	90-138	EH123	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
	90-96	EV123	4266	669	350	336	n.a.	106	1697	600	-	300	3
	108-138	EV123	4266	669	350	336	n.a.	110	1697	-	-	-	2
145	108-144	EH145	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
	108-120	EV145	5302	788	442	406	n.a.	124	1969	600	-	300	3
	132-144	EV145	5302	788	442	406	n.a.	125	1969	-	-	-	2
170	132-144	EM170	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
	132	EH170	4266	669	350	336	n.a.	111	1697	600	-	300	3
	144-168	EH170	4266	669	350	336	n.a.	113	1697	-	-	-	2
	132-144	EV170	5302	788	442	406	n.a.	127	1969	600	-	300	3
	162-168	EV170	5302	788	442	406	n.a.	128	1969	-	-	-	2
245	180-198	EH245	6336	962	508	464	753	151	2240	600	800	400	4
	210-228	EH245	6336	962	508	464	753	153	2240	600	-	300	3
	180-228	EV245	7953	1182	663	609	960	201	2941	800	1400	700	5
<b>Descargadores con neutro a tierra</b>													
52	30-36	EN052	1615	275	129	133	n.a.	45	725	-	-	-	1
72	42-54	EN072	1615	275	129	133	n.a.	48	725	-	-	-	1
100	60	EN100	1615	275	129	133	n.a.	48	725	-	-	-	1
123	72-108	EN123	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120	EN123	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
145	84-108	EN145	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120	EN145	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
170	96-108	EN170	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120	EN170	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
245	108	EN245	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120-144	EN245	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1

<sup>1)</sup> Suma de las tensiones de resistencia para unidades vacías de descargador.



## Datos de envío

Tensión nominal Ur kVrms	Revestimiento	Número de descargadores por caja					
		Uno		Tres		Seis	
		Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg	Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg	Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg
24-39	EV036	0.3	76	0.5	177	1.0	349
42-60	EV052	0.3	79	0.5	186	1.0	367
54-84	EV072	0.3	97	0.7	240	1.4	475
84-96	EH100	0.3	98	0.7	243	1.4	481
84-96	EV100	0.4	119	0.8	288	1.7	571
90-108	EM123	0.3	100	0.7	249	1.4	493
90-108	EH123	0.4	125	0.8	306	1.7	607
90-138	EV123	0.7	138	1.4	389	-	-
108-144	EH145	0.4	125	0.9	306	1.7	607
108-144	EV145	0.7	152	1.4	431	-	-
132-144	EM170	0.4	125	0.9	306	1.7	607
132-168	EH170	0.7	141	1.4	398	-	-
132-168	EV170	0.7	156	1.4	662	-	-
180-228	EH245	0.8	181	1.7	518	-	-
180-228	EV245	1.7	320	3.1	743	-	-
<b>Descargadores con neutro a tierra</b>							
30-36	EN052	0.3	80	0.5	180	1.0	350
42-54	EN072	0.3	80	0.5	190	1.0	370
60	EN100	0.3	80	0.5	190	1.0	370
72-108	EN123	0.3	100	0.7	250	1.4	495
120	EN123	0.4	125	0.8	310	1.7	610
84-108	EN145	0.3	100	0.7	250	1.4	495
120	EN145	0.4	125	0.8	310	1.7	610
96-108	EN170	0.3	100	0.7	250	1.4	495
120	EN170	0.4	125	0.8	310	1.7	610
108	EN245	0.3	100	0.7	250	1.4	495
120-144	EN245	0.4	125	0.8	310	1.7	610

Cada caja contiene un número determinado de unidades de descargador y accesorios para el ensamble y la instalación. En el exterior de cada caja hay una lista de empaque.

Cada caja tiene un número. Los números de todas las cajas y sus contenidos se indican en la especificación de embarque. ABB se reserva el derecho a embalar los descargadores con la combinación más eficaz y económica. El uso de cajas alternativas no estándar puede generar gastos adicionales.

- Embarrados

**Advertencia sobre materiales**

**Aluminio anodizado (ALX)**

Los perfiles de aluminio anodizado tienen una superficie mejorada que no se altera con la humedad. El pegamento para azulejos y el material para tapar juntas pueden corroer la superficie. Por este motivo, la superficie visible debe limpiarse después de la colocación.

**Aluminio recubierto de polvo (ALP)**

Los perfiles para azulejos en aluminio recubierto de polvo están disponibles en diferentes colores; de esta manera se los puede adaptar al color del azulejo. El recubrimiento se adhiere de manera duradera y es resistente a las pisadas.

**Aluminio, natural (ALU)**

Los perfiles para azulejos en aluminio natural son la alternativa económica al aluminio anodizado o al recubierto de polvo. Aquí el usuario también puede pintar él mismo el perfil. Con la acción del aire se forma una capa de óxido (pátina). Si no la desea, se la puede retirar con un material para pulir.

**Especificaciones técnicas**

Material:	EN AW - 6060	
Símbolo	AlMgSi0,5	
Composición	Al (aluminio)	Resto %
	Si (silicio)	0,3-0,6 %
	Fe (hierro)	0,1-0,3 %
	Cu (cobre)	0,1 %
	Mg (magnesio)	0,35-0,6 %
	Mn (manganeso)	0,1 %
	Cr (cromo)	0,05 %
	Zn (cinc)	0,15 %
	Ti (titanio)	0,10 %
	otros elementos:	
	Ni (níquel), Ga (galio),	
	V (vanadio) total	0,15 %
Material n.º	3.3206	
Área de aplicación	El material puede utilizarse para piezas decorativas o en piezas con esfuerzos de leves a medios. No apto para piezas de vehículos o aviones.	
Estado	termoendurecido	
Peso específico (espesor)	2,7 kg/dm <sup>3</sup>	

**Coefficiente de dilatación**

térmica lineal medio	
entre 20 °C y 100 °C	23,1 $\alpha$ en $10^{-6} K^{-1}$
Conductividad térmica a 20 °C	0,888 ( $\lambda$ ) en W/(m·K)
Conductividad elec. a 20 °C	$37,7 \cdot 10^6 A/(V \cdot m)$
Resistencia elec.	$2,65 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot mm^2/m$
Dureza	F 22 (dureza Brinell 70 HB)
Resistencia a la tracción	215 N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	160 N/mm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura (A)	mín. 12 %
Temperatura de fusión aprox.	659 °C
Temperatura de reblandecimiento	350-400 °C
Símbolo ISO	Al MgSi (aluminio-magnesio-silicio)
Registro internacional de aleaciones AA	N.º 6060

El material AlMgSi0,5 tiene calidad para anodizar, es bueno para soldar y tiene una resistencia mediana contra agentes químicos y la intemperie. El aluminio se puede soldar bien con gas inerte (argón) mediante los procedimientos MIG o TIG. El aluminio también puede soldarse con una soldadura adecuada y un fundente. El aluminio se puede pegar muy bien con el aluminio. Para ello se recomienda utilizar un pegamento de resina epoxi de dos componentes (por ej. UHU endfest 300 o Araldit), disponible en tiendas especializadas. La información y datos que suministramos se corresponden con el estado actual de nuestros conocimientos y sirven para informarse sobre nuestros productos. Estas son referencias no vinculantes y no lo liberan de la obligación de obrar con diligencia. No implican promesa o garantía jurídicamente vinculantes sobre la resistencia química, las propiedades del producto o la negociabilidad.

**Resumen de la norma DIN/EN**

Aleación:	EN AW - 6060-T66 anteriormente AlMgSi0,5 F22
Composición química:	
Norma	EN 573-3 Regulación de la composición de la aleación para los perfiles.

## Data Sheet Aluminium AlMgSi 0,5

Alloy for extrusions profiles:  
 Designation according to EN 573: EN AW-AMgSi or EN AW-6060 T66  
 Designation according to ISO: Al-MgSi (6060)

Properties	Unit	Value
<b>GENERAL</b>		
Density	g/cm <sup>3</sup>	2.70
Resistance normal atmosphere		very good
Resistance industrial and marine atmosphere		good
<b>CHEMICAL COMPOSITION of mass proportions in %</b>		
Silicium	(Si)	0,3 - 0,6
Iron	(Fe)	0,1 - 0,3
Copper	(Cu)	0,1
Manganese	(Mn)	0,1
Magnesium	(Mg)	0,35 - 0,6
Chromium	(Cr)	0,05
Zinc	(Zn)	0,15
Titanium+Zirconium	(Ti+Zr)	0,1
Further additions		0,05 - 0,15
Aluminium	(Al)	rest
<b>MECHANICAL</b>		
Modulus of elasticity	N/mm <sup>2</sup>	70.000
Tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	195 - 215
0.2% Breaking elongation	MPa	>150
Brinell hardness	HB	60 - 70
<b>THERMAL</b>		
Thermal conductivity	W/mK	210
Longitudinal elongation coefficient	10 <sup>-6</sup> ·1/K	23,5
<b>ELECTRICAL</b>		
Electrical conductivity	mS/mm <sup>2</sup>	>30

01.07.2014

Disclaimer: The figures in this datasheet are guide values. The values are affected by processing conditions, modifications, additives and environmental conditions and they do not release you from the obligation to check the validity and to undertake tests on your own. This information is based on our present knowledge and experience. The material data is not to be construed as guaranteeing specific properties and the data can not be used to deduce the suitability for a particular application.

www.okw.com

- Embarrados de tendido alto

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

Código	Calibre (AWG ó KCMIL)	Palabra Código	No. de Alambres Alum/Acero	Diámetro Alambre Aluminio (mm)	Diámetro Alambre Acero (mm)	Área Aluminio (mm <sup>2</sup> )	Área Acero (mm <sup>2</sup> )	Diámetro Total Aprox. (mm)	Carga Rotura (Kg)	Resistencia Eléctrica DC a 20°C (ohm/km)	Capacidad de Corriente* (A)	Peso Total Aprox. (kg/km)
---	636	GROSBEAK	26 / 7	3,973	3,089	322,33	52,46	25,159	11430	0,0874	689	1303
---	666,6	FLAMINGO	24 / 7	4,234	2,822	337,91	43,78	25,402	10789	0,0838	706	1279
---	666,6	GANNET	26 / 7	4,067	3,162	337,76	54,97	25,754	11980	0,0835	710	1366
---	715,5	STILT	24 / 7	4,387	2,924	362,77	47,00	26,320	11580	0,0781	737	1373
---	715,5	STARLING	26 / 7	4,214	3,277	362,62	59,04	26,687	12882	0,0777	742	1467
---	795	CUCKOO	24 / 7	4,623	3,081	402,86	52,19	27,735	12661	0,0703	787	1525
10011304	795	DRAKE	26 / 7	4,442	3,454	402,92	65,59	28,130	14289	0,0700	792	1629
---	900	RUDDY	45 / 7	3,592	2,395	456,01	31,54	28,737	11107	0,0627	837	1511
---	900	CANARY	54 / 7	3,279	3,279	456,00	59,11	29,511	14478	0,0621	847	1726
---	954	RAIL	45 / 7	3,698	2,466	483,32	33,43	29,586	11773	0,0591	867	1601
---	954	CARDINAL	54 / 7	3,376	3,376	483,38	62,66	30,384	15343	0,0586	878	1830
---	1033,5	ORTOLAN	45 / 7	3,848	2,565	523,33	36,17	30,783	12580	0,0546	911	1734
---	1033,5	CURLEW	54 / 7	3,513	3,513	523,41	67,85	31,617	16613	0,0541	922	1981
10011957	1113	BLUEJAY	45 / 7	3,995	2,664	564,07	39,02	31,962	13554	0,0507	953	1869
---	1113	FINCH	54 / 19	3,647	2,189	564,10	71,50	32,827	17735	0,0505	962	2131
---	1192,5	BUNTING	45 / 7	4,135	2,756	604,30	41,76	33,078	14515	0,0473	993	2002
---	1192,5	GRACKLE	54 / 19	3,774	2,266	604,07	76,62	33,974	19005	0,0471	1004	2283
---	1272	BITTERN	45 / 7	4,270	2,847	644,40	44,56	34,161	15487	0,0444	1033	2135
---	1272	PHEASANT	54 / 19	3,899	2,339	644,75	81,64	35,089	19819	0,0442	1044	2435
---	1351,5	DIPPER	45 / 7	4,402	2,934	684,86	47,33	35,214	16447	0,0417	1071	2269
---	1351,5	MARTIN	54 / 19	4,018	2,410	684,71	86,67	36,158	21049	0,0416	1083	2586
---	1431	BOBOLINK	45 / 7	4,529	3,020	724,95	50,14	36,234	17424	0,0394	1108	2402
---	1431	PLÓVER	54 / 19	4,135	2,482	725,16	91,93	37,220	22294	0,0393	1120	2740
---	1510,5	NUTHATCH	45 / 7	4,653	3,101	765,19	52,87	37,221	18189	0,0374	1144	2535
---	1510,5	PARROT	54 / 19	4,247	2,548	764,98	96,88	38,222	23518	0,0372	1157	2890
---	1590	LAPWING	45 / 7	4,775	3,183	805,84	55,70	38,199	19142	0,0355	1180	2669
---	1590	FALCON	54 / 19	4,359	2,616	805,86	102,12	39,234	24780	0,0353	1193	3045

#### NOTAS

-- Los datos indicados en esta tabla están sujetos a tolerancias normales de fabricación

-- Se incluyeron formaciones estándar. En caso de requerir alguna formación diferente favor contactar a nuestros representantes

\* Resistencia eléctrica considera el aporte del acero

\*\* Capacidad de corriente a temperatura ambiente de 40°C y temperatura del conductor 80°C, velocidad del viento 610mm/s

- Aisladores

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 60168v <i>Tests according to IEC 60168</i>	

DESIGNACION / REFERENCE		C4-1050	C6-1050	C8-1050	C10-1050	C8-1425	C8-1550
Línea de fuga mínima según nivel de polución CEI 60815 (mm.) <i>Minimum creepage distance according to pollution level IEC 60815 (mm.)</i>	I	3920	3920	3920	3920	6720	6720
	II	4900	4900	4900	4900	8400	8400
	III	6125	6125	6125	6125	10500	10500
	IV	7595	7595	7595	7595	13020	13020
DIMENSIONES / DIMENSIONS							
Altura del aislador montado <i>Height of the post insulator once assembled</i>	H mm	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	3150±4,5	3350±4,5
Diámetro máximo parte aislante <i>Maximum diameter of insulating part</i>	D mm	450	450	450	450	450	450
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	dl mm	*	225	225	225	225	225
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d mm	200	225	254	275	275	275
DATOS ELECTRICOS / ELECTRICAL VALUES							
Tensión nominal / máxima <i>Nominal voltage / maximum voltage</i>	- kV	245	245	245	245	420	420
Tensión soportada al choque <i>Lightning impulse withstand voltage</i>	- kV	1050	1050	1050	1050	1425	1550
Tensión sop. al choque de maniobra bajo lluvia (kV) <i>Switching impulse withstand voltage wet (kV)</i>	- kV	750	750	750	750	950	1050
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz <i>Power frequency withstand voltage, wet 50Hz</i>	- kV	460	460	460	460	*	*
DATOS MECANICOS / MECHANICAL VALUES							
Mínima carga de rotura a Flexión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	4000	6000	8000	10000	8000	8000
Mínima carga de rotura a la Torsión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	3000	3000	4000	4000	4000	4000



## **DOCUMENTO N°2, PLANOS**

## **DOCUMENTO N°2, PLANOS**

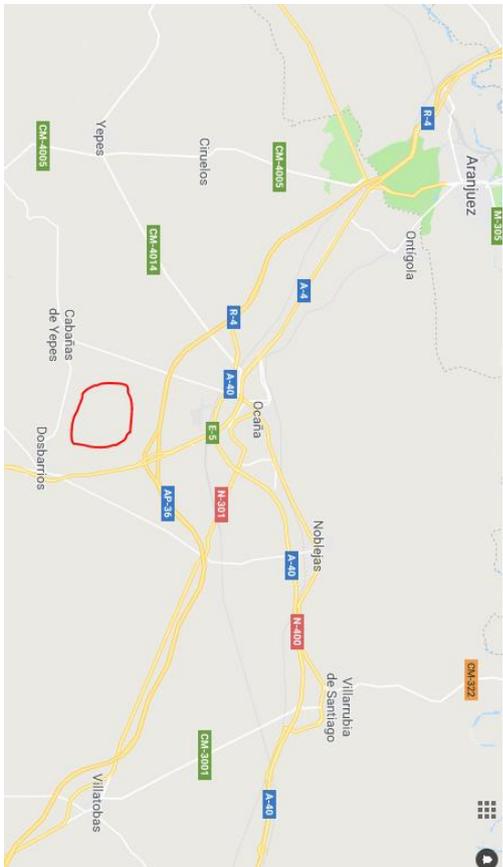
### **ÍNDICE**

1. Lista de planos: pág.152
2. Planos: pág.153

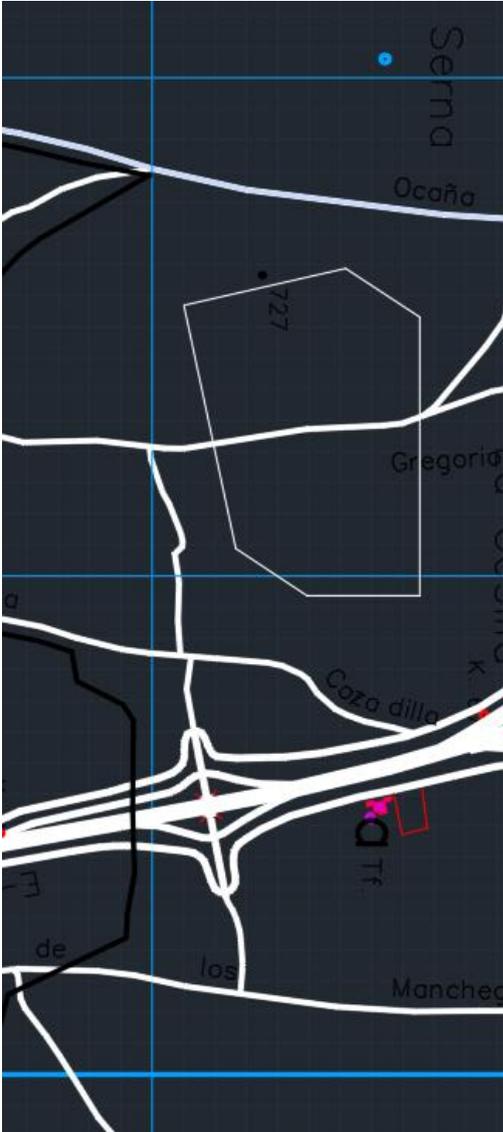
## 1. Lista de planos

- Plano de situación
- Plano topográfico
- Plano de implantación general
- Esquema unifilar parque 400kV
- Esquema unifilar parque 220kV
- Planta del parque de 400kV
- Planta del parque de 220kV
- Planta general
- Alzado calles 1 y 2 del parque de 400kV
- Alzado calles 3 y 4 del parque de 400kV
- Alzado calles 1 y 2 del parque de 220kV
- Alzado calles 3 y 4 del parque de 220kV
- Red de tierras
- Edificio de control

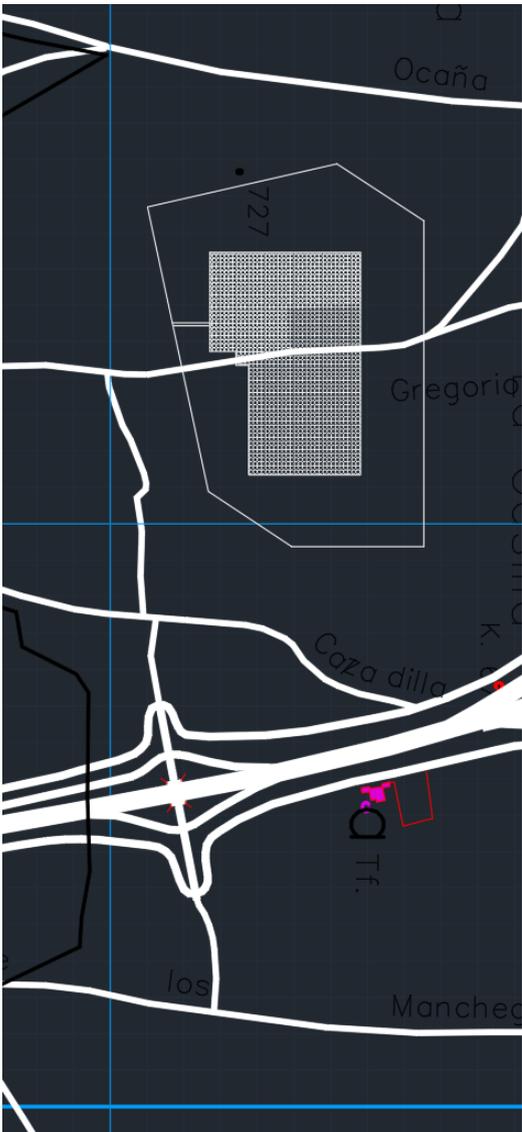
## 2. Planos



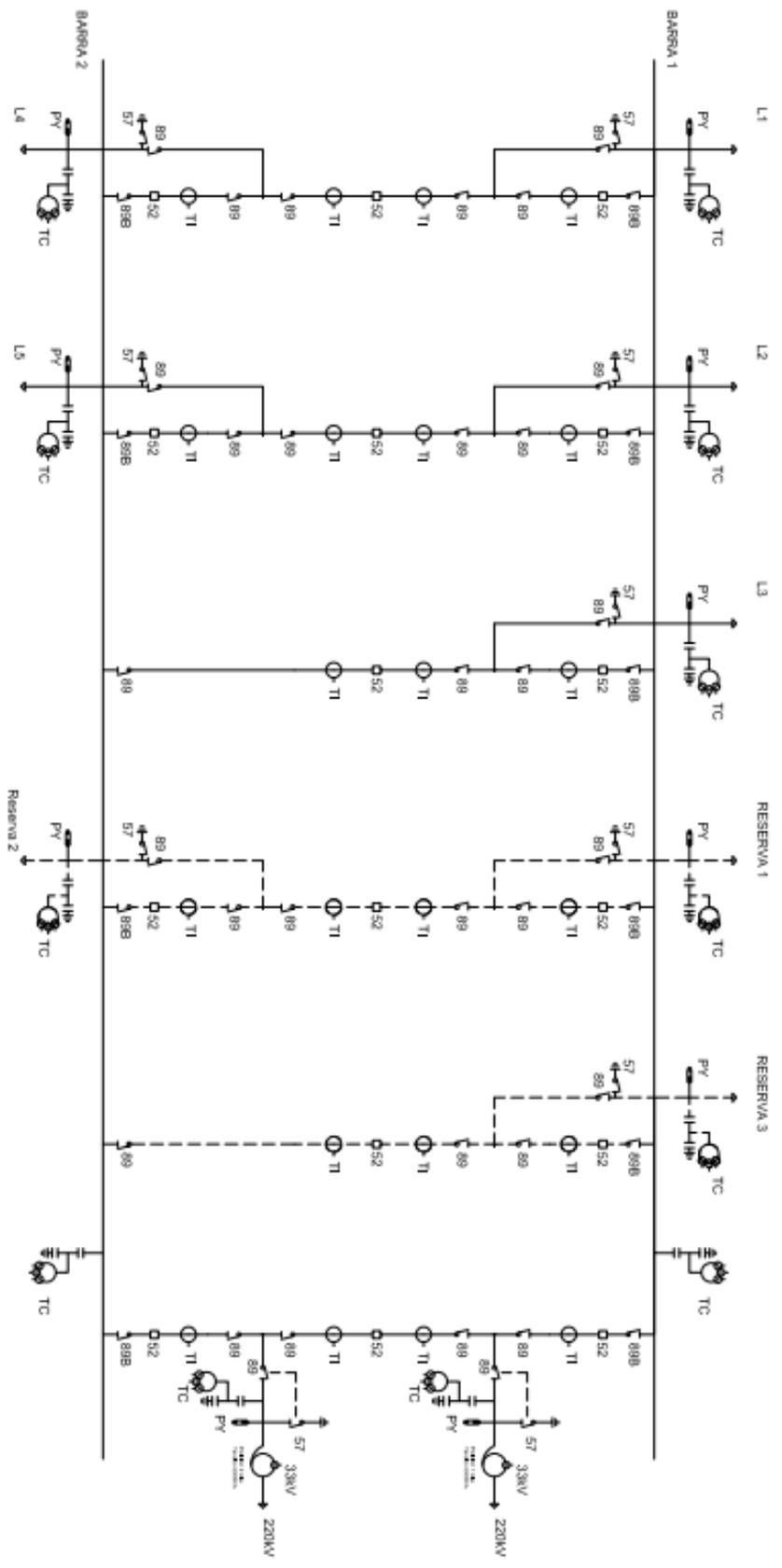
		<b>ICAI</b>	
DISENADO	NOMBRE	COMPROBADO	
	A.L.-C.F.	A.L.-C.F.	
SITUACIÓN SUBESTACIÓN		PROYECTO FIN DE GRADO	
		ESCALA	
		FECHA	
		Nº PLANO	
<b>Subestación de transporte 400/220KV</b>		1	



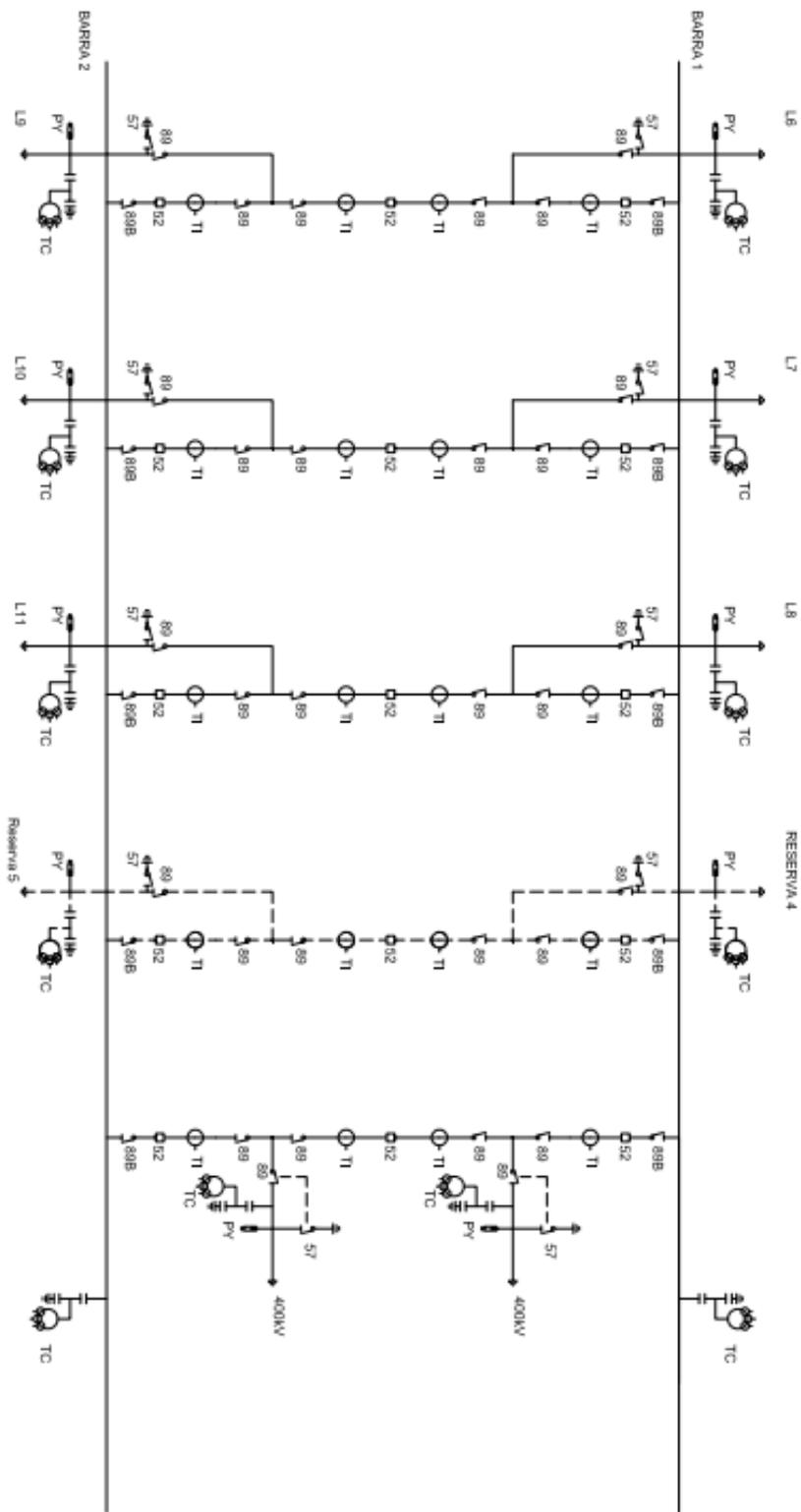
	NOMBRE	COMPROBADO	<b>ICAI</b>
DISEÑADO	A.L.-C.F.	A.L.-C.F.	
TOPOGRÁFICO			PROYECTO FIN DE GRADO
<b>Subestación de transporte</b>			ESCALA
<b>400/220kV</b>			FECHA 08/04/2018
			Nº PLANO 2



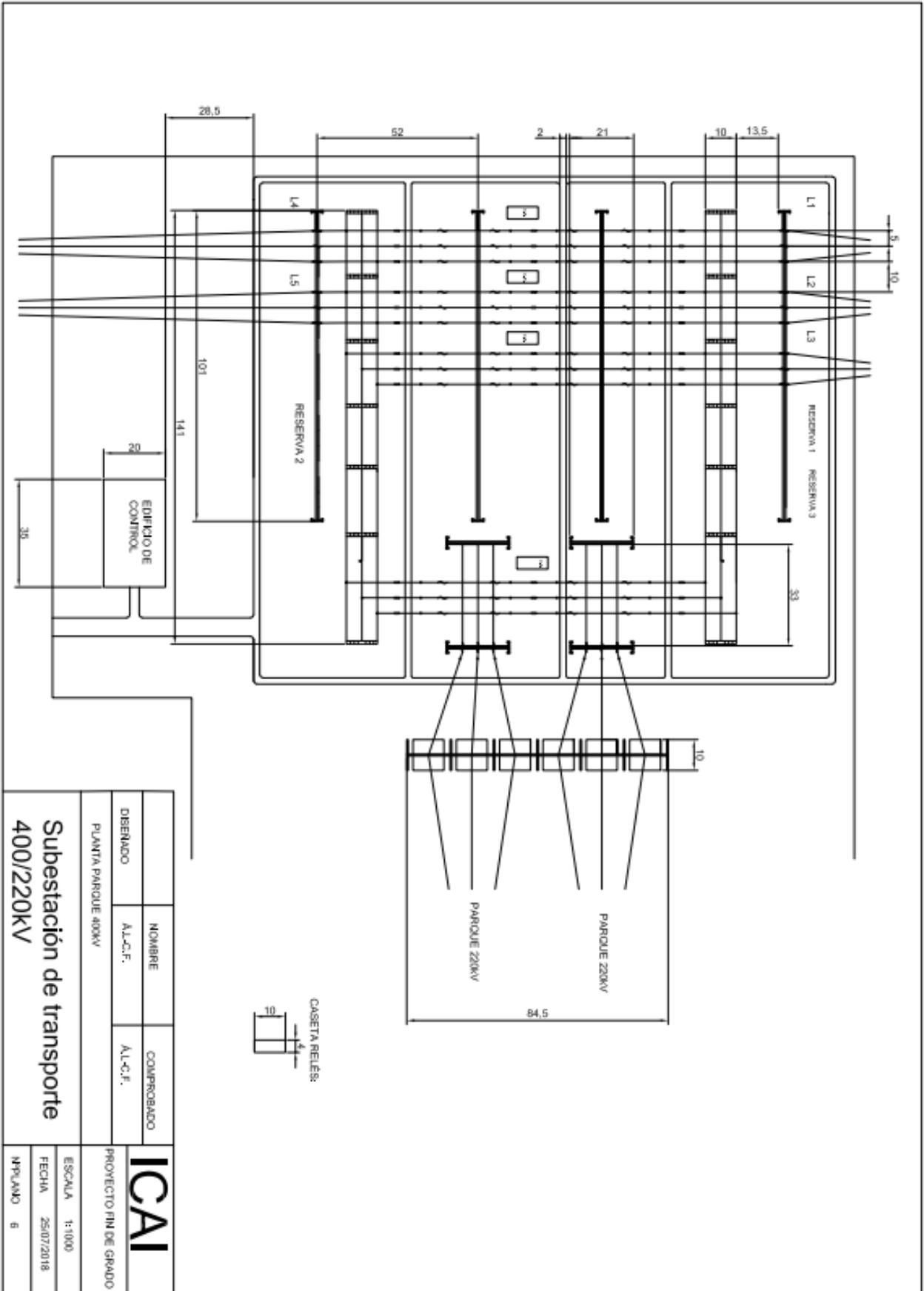
NOMBRE		COMPROBADO		<b>ICAI</b>
DISEÑADO	AL-C.F.	AL-C.F.		
IMPLANTACIÓN SUBSTACIÓN				PROYECTO FIN DE GRADO
<b>Subestación de transporte 400/220KV</b>				ESCALA
				FECHA 07/04/2018
				Nº PLANO 3

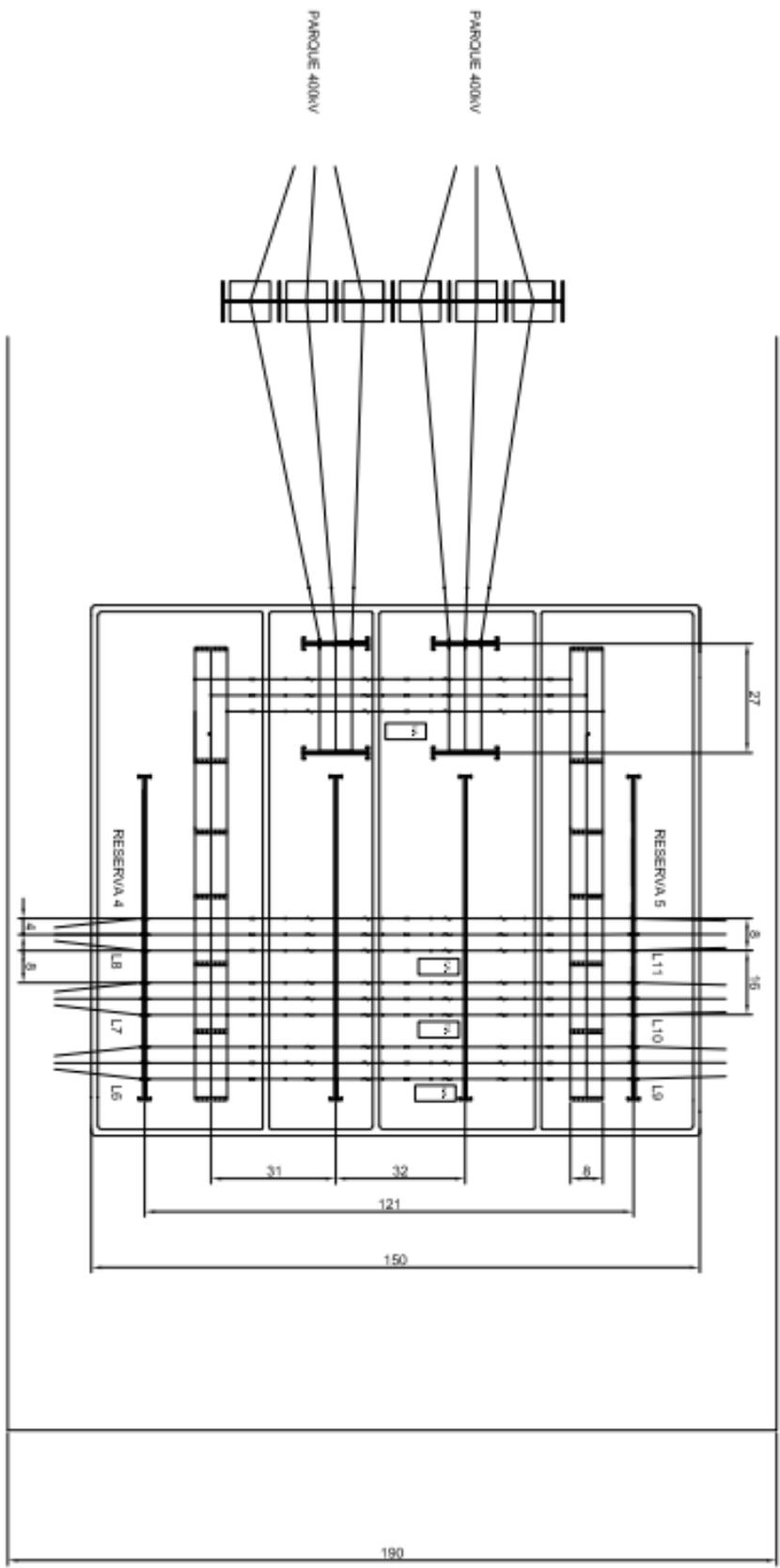


		<b>ICAI</b>	
DISENADO	NOMBRE	COMPROBADO	
	A.L.-C.F.	A.L.-C.F.	
PROYECTO FIN DE GRADO			
ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO PARQUE 400KV			
<b>Subestación de transporte</b>			
<b>400/220KV</b>			
		ESCALA	
		FECHA	12/07/2018
		EMPLANO	4

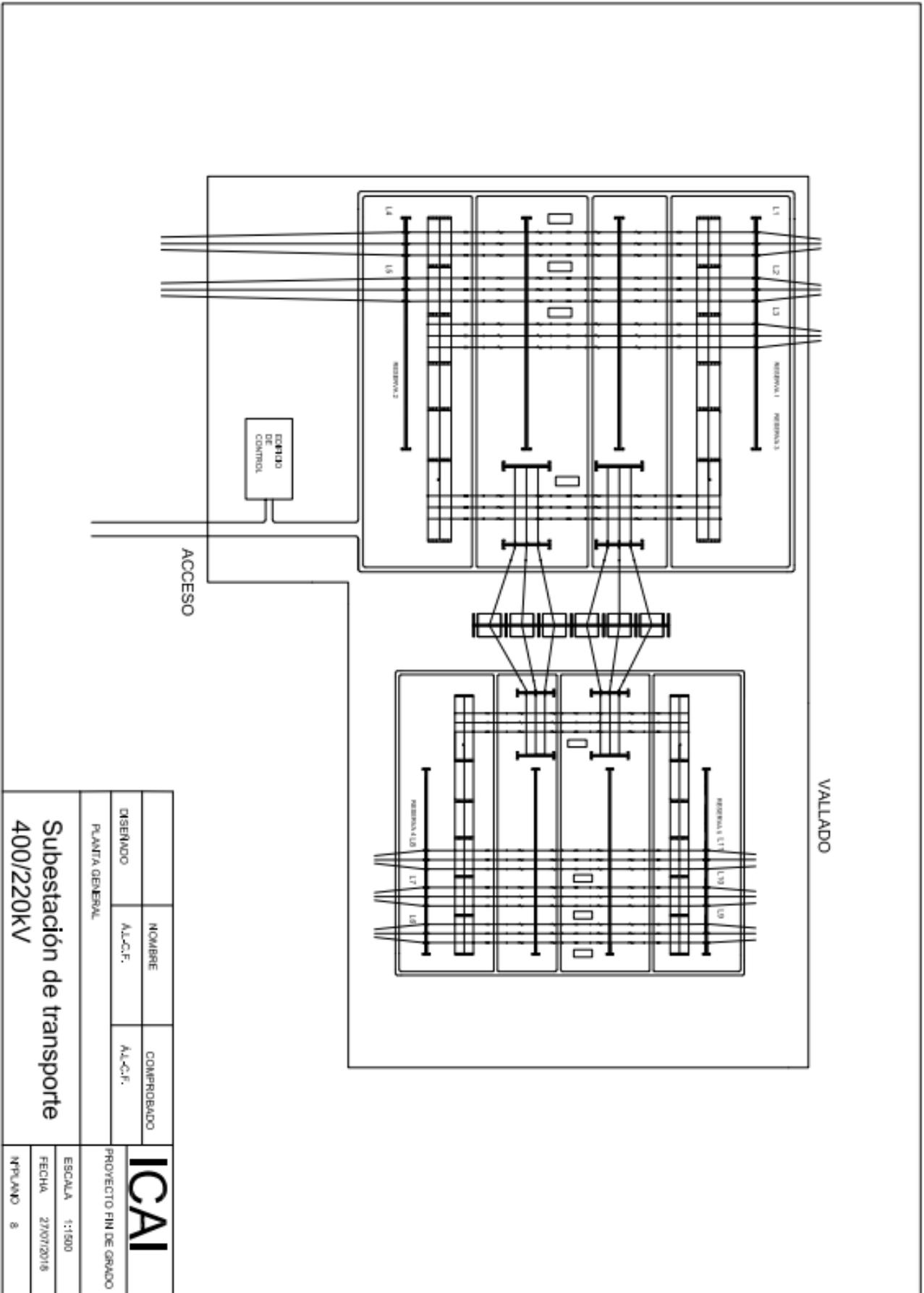


DISEÑADO	AL-C.F.	COMPROBADO	AL-C.F.
ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO PARQUE 220kV			
<b>Subestación de transporte</b>			
<b>400/220kV</b>			
		<b>ICAI</b>	
PROYECTO FIN DE GRADO			
ESCALA			
		FECHA	
		13/07/2018	
		Nº PLANO	
		5	

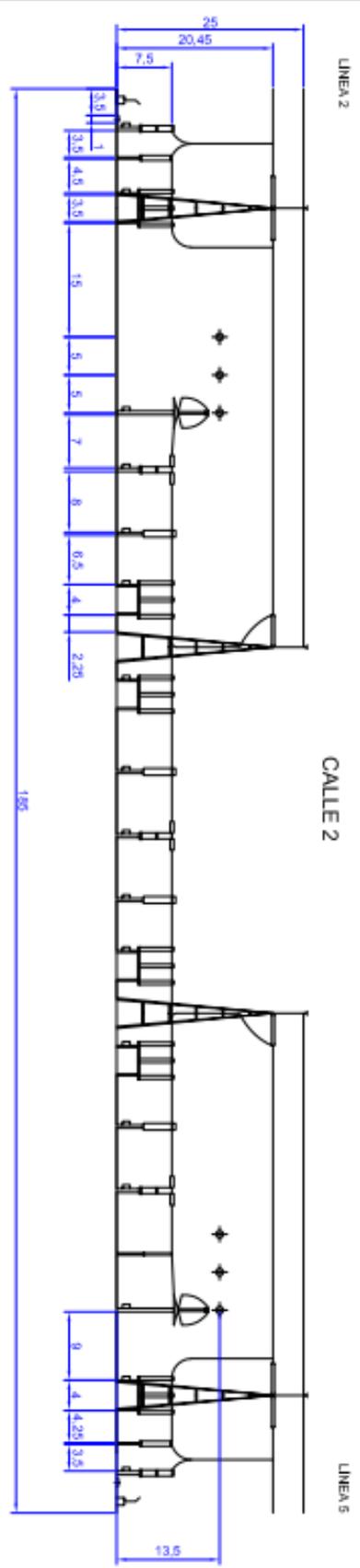
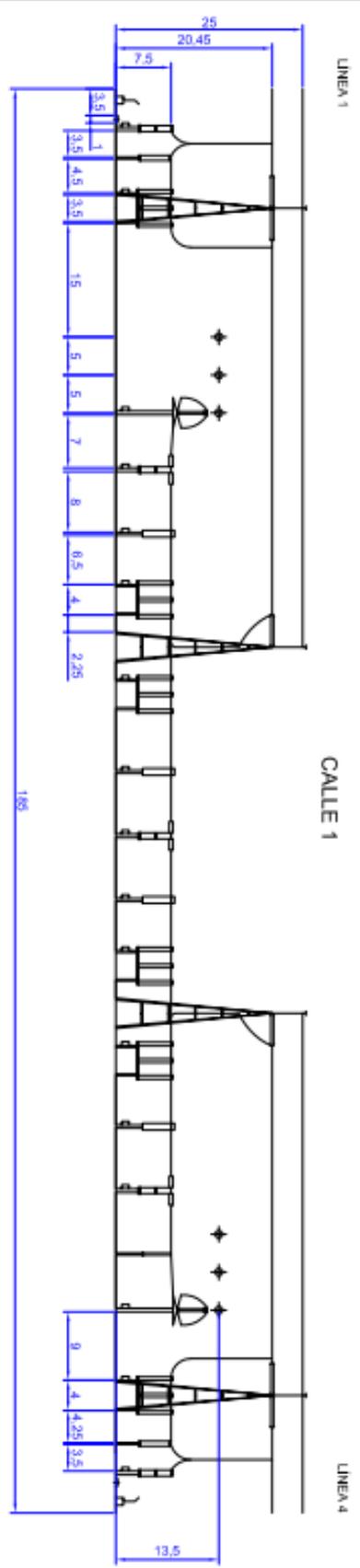




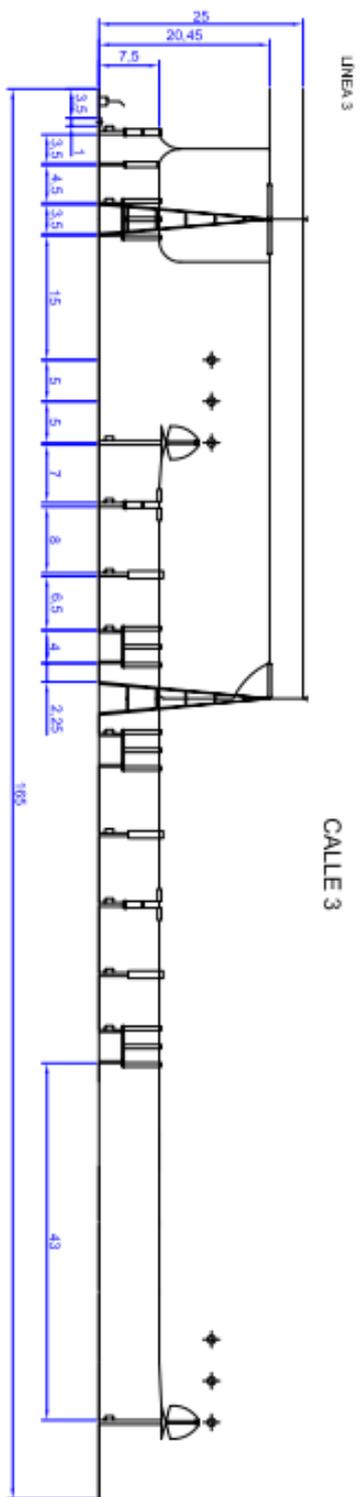
NOMBRE		COMPROBADO	<b>ICAI</b> PROYECTO FIN DE GRADO
DISEÑADO			
AL-C.F.		AL-C.F.	
PLANTA PARQUE 220KV			ESCALA 1:1000
<b>Subestación de transporte</b> <b>400/220KV</b>			FECHA 20/07/2016
			MPLANO 7



NOMBRE		COMPROBADO		<b>ICAI</b>
DISEÑADO		AL-C.F.		
PLANTA GENERAL				PROYECTO FIN DE GRADO
Subestación de transporte 400/220kV				ESCALA 1:1500
				FECHA 27/07/2016
				Nº PLANO 8

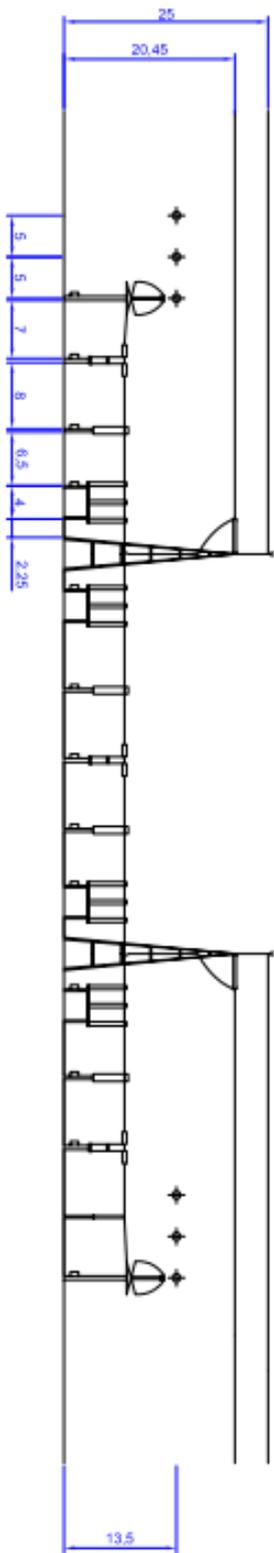


	NOMBRE	COMPROBADO	<b>ICAI</b>
DISEÑADO	AL-C.F.	AL-C.F.	
ALZADO PARQUE 400KV CALLES 1 Y 2			PROYECTO FIN DE GRADO
<b>Subestación de transporte 400/220kV</b>			ESCALA 1:500
			FECHA 18/07/2018
			Nº PLANO 9



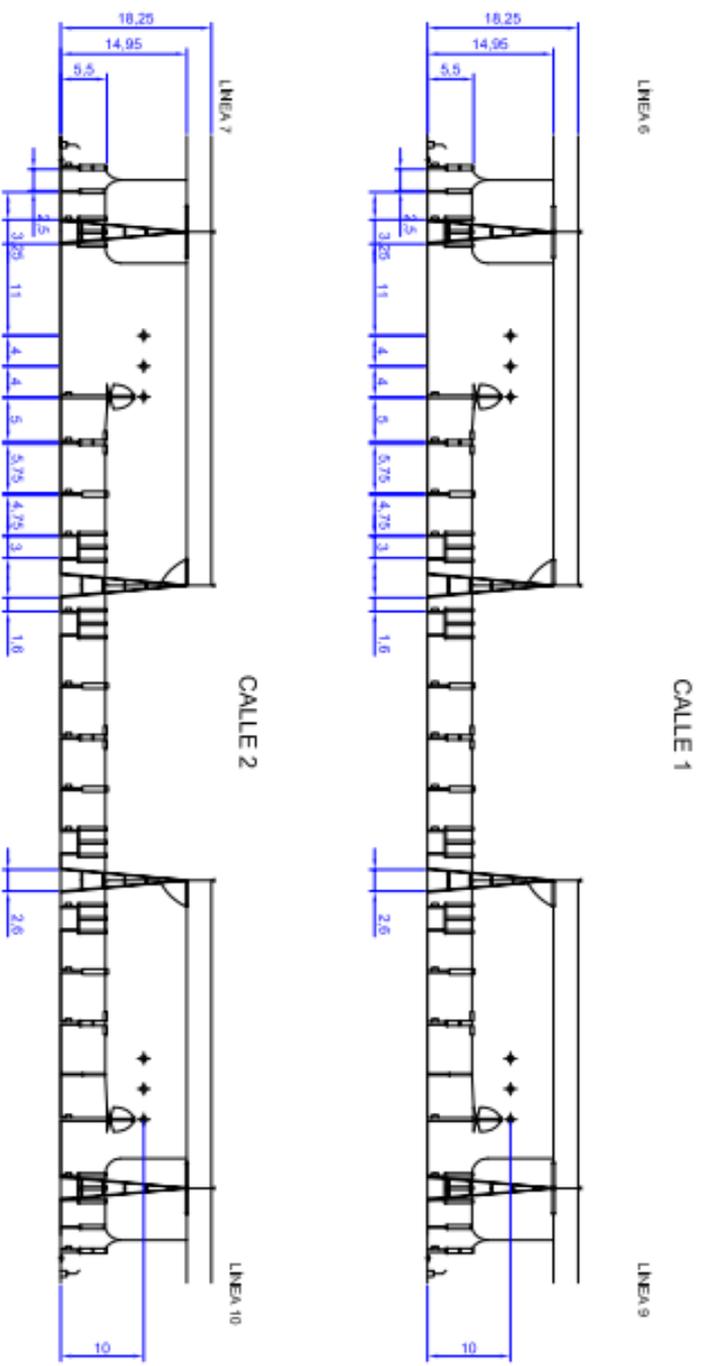
LÍNEA 3

CALLE 3

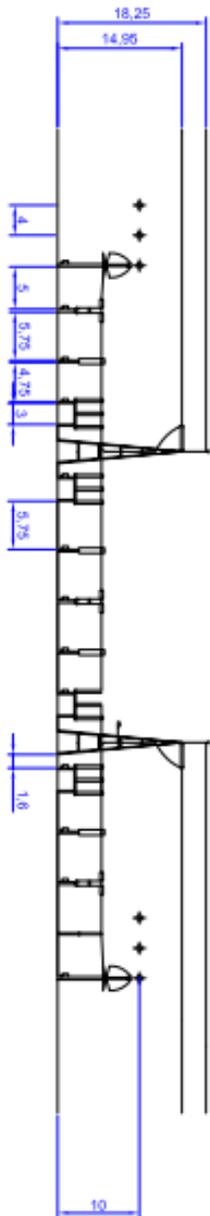
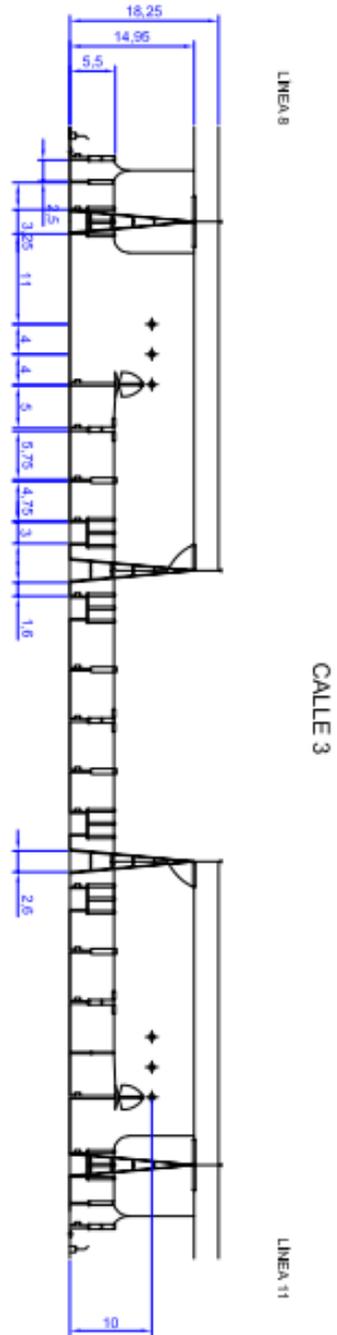


CALLE 4

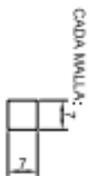
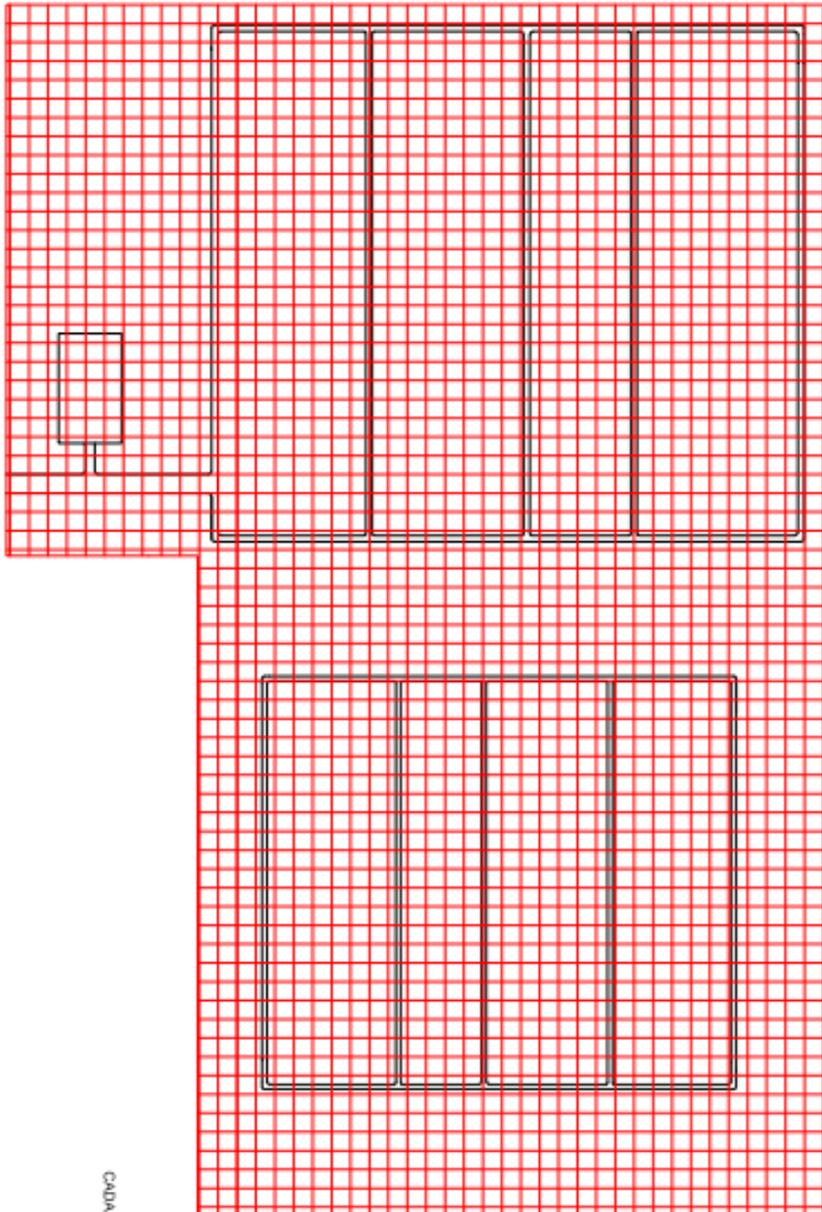
		NOMBRE		COMPROBADO		<b>ICAI</b>	
DISEÑADO		A.L.-C.F.		A.L.-C.F.			
ALZADO PARQUE 400KV CALLES 3 Y 4							
PROYECTO FIN DE GRADO							
Subestación de transporte							
400/220KV							
				ESCALA		1:500	
				FECHA		19/07/2018	
				Nº PLANO		10	



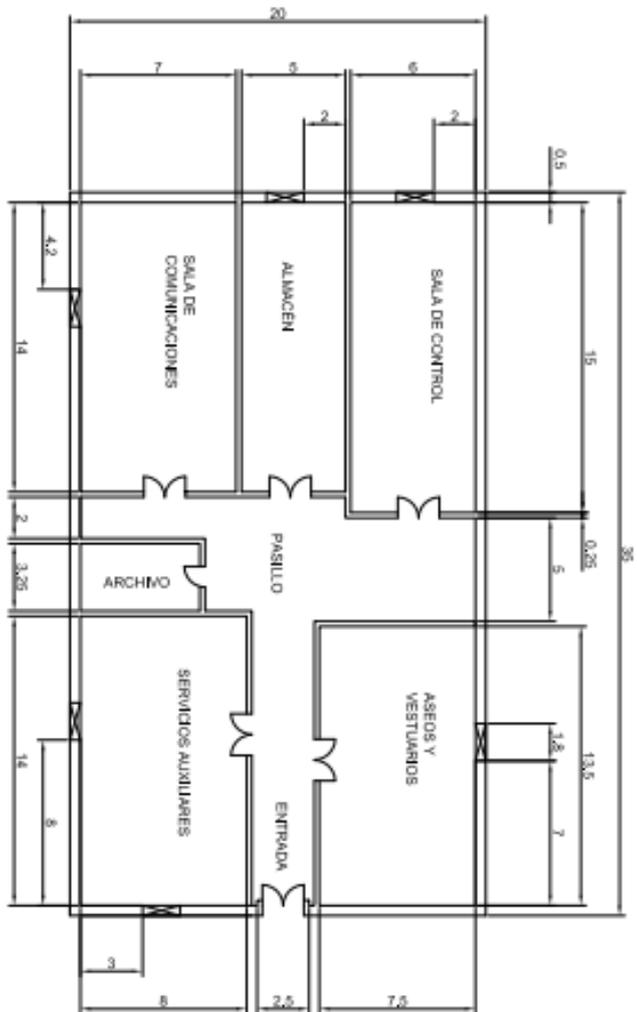
NOMBRE		COMPROBADO		<b>ICAI</b>
AL.C.F.		AL.C.F.		
DISEÑADO				PROYECTO FIN DE GRADO
ALZADO PARQUE 220KV CALLES 1 Y 2				ESCALA 1:200
Subestación de transporte 400/220KV				FECHA 2007/2018
				HOJAS 11



	NOMBRE	COMPROBADO	<b>ICAI</b>
DISEÑADO	A.L.-C.F.	A.L.-C.F.	
ALZADO PARQUE 220kV CALLES 3 Y 4			PROYECTO FIN DE GRADO
<b>Subestación de transporte 400/220kV</b>			ESCALA 1:500
			FECHA 21/07/2018
			Nº PLANO 12



NOMBRE		COMPROBADO		<b>ICAI</b>
AL.C.F.		AL.C.F.		
RED DE TIERRAS				PROYECTO FIN DE GRADO
<b>Subestación de transporte 400/220kV</b>				ESCALA 1:1500
				FECHA 30/07/2018
				Nº PLANO 13



VENTANAS



FUERTAS



NOTA: COTAS EN METROS

	NOUBRE	CONPROBADO	<b>ICAI</b>
DISEÑADO	AL-C.F.	AL-C.F.	
EDIFICIO DE CONTROL			PROYECTO FIN DE GRADO
<b>Subestación de transporte 400/220kV</b>			ESCALA 1:200
			FECHA 02/08/2018
			Nº PLANO 14



## **DOCUMENTO N°3, PLIEGO DE CONDICIONES**

## **DOCUMENTO N°3, PLIEGO DE CONDICIONES**

### **ÍNDICE**

1. Generales y económicas: pág.171

2. Técnicas y particulares: pág.204

## 1. Generales y económicas

### ÍNDICE

1. Objeto:	pág.173
2. Normativa aplicable:	pág.175
2.1. Equipamiento y montaje	
2.2. Obra civil	
2.2.1. Estructuras	
2.2.2. Instalaciones	
2.2.3. Protección	
2.2.4. Varios	
3. Gestión de calidad:	pág.184
4. Gestión medioambiental:	pág.184
5. Seguridad en el trabajo:	pág.184
6. Verificación y validación:	pág.184
7. Estudio de seguridad y salud:	pág.185
7.1. Memoria	
7.1.1. Objeto de este estudio	
7.2. Características de la obra	
7.2.1. Situación y descripción de la obra	
7.2.2. Presupuesto, Plazo de Ejecución y Mano de obra	
7.2.3. Control de accesos	
7.2.4. Trabajos previos, interferencias y servicios afectados	
7.2.5. Unidades constructivas que componen la obra	
7.2.5.1. Movimientos de tierras	
7.2.5.2. Obra civil	
7.2.5.3. Montaje de estructuras y equipos	
7.2.6. Identificación de riesgos	
7.2.6.1. Valoración de los riesgos	
7.2.6.2. Organización de la Seguridad	
7.2.6.3. Principios Generales aplicables durante la Ejecución de la Obra	
7.2.6.4. Formación	

- 7.2.6.5. Medicina Preventiva
- 7.2.6.6. Medios de Protección
- 7.2.7. Locales de descanso y servicios higiénicos
- 7.2.8. Disposiciones de emergencia
  - 7.2.8.1. Vías de Evacuación
  - 7.2.8.2. Iluminación
  - 7.2.8.3. Instalaciones de suministro y reparto de energía
  - 7.2.8.4. Ventilación
  - 7.2.8.5. Ambientes nocivos y factores atmosféricos
  - 7.2.8.6. Detección y lucha contra incendios
  - 7.2.8.7. Primeros auxilios
- 7.2.9. Plan de seguridad
- 7.3. Pliego de condiciones
  - 7.3.1. Normativa legal de aplicación

## **1. OBJETO**

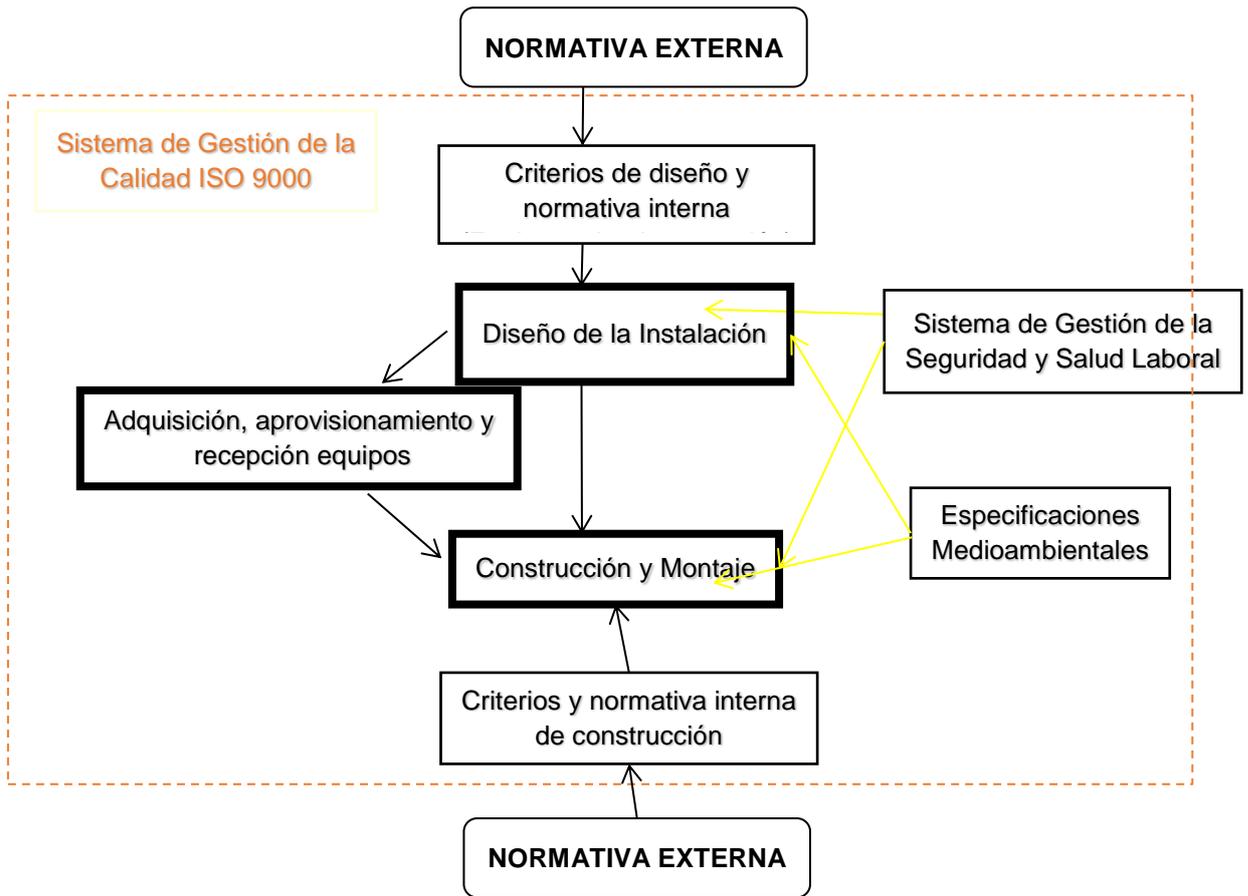
El objeto del presente Pliego de Condiciones es aportar la información necesaria para definir los materiales y equipos y su correcto montaje para lo que se han considerado los siguientes aspectos.

1º Normativa: Los equipos y su montaje será conforme a la normativa legal y de referencia.

2º Gestión de Calidad: El plan de calidad recoge las características técnicas de los equipos y su montaje. Además, la certificación ISO-9000 asegura la calidad de la instalación construida.

3º Gestión medioambiental: Con el objeto de minimizar los impactos puedan acarrear la construcción y funcionamiento de la instalación.

4º Seguridad Laboral: Para asegurar que tanto el montaje como la explotación de los equipos de esta instalación cumplen con las medidas de seguridad requeridas.



## **2. NORMATIVA APLICABLE**

Se aplicarán por el orden en que se relacionan, cuando no existan contradicciones legales, las siguientes normas:

- Normativa de RED ELÉCTRICA (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).

### **2.1. EQUIPAMIENTO Y MONTAJE**

El presente Proyecto ha sido redactado basándose en los anteriores Reglamentos y Normas, y más concretamente, en los siguientes, que serán de obligado cumplimiento:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 337/2014 de 9 de mayo.

En especial las ITC del “Reglamento sobre Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación”:

- .- ITC-RAT-09: "PROTECCIONES".

- .- ITC-RAT-12: "AISLAMIENTO".
- .- ITC-RAT-13: "INSTALACION DE PUESTA A TIERRA".
- .- ITC-RAT-15: "INSTALACIONES ELECTRICAS DE EXTERIOR".
- 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 el caso de discrepancias entre las diversas normas se seguirá siempre el criterio más restrictivo.

## **2.2. OBRA CIVIL**

### **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)".

## **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.

### **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.

### **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 nº3655/72,

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 el caso de discrepancias entre las diversas normas se seguirá siempre el criterio más

restrictivo.

### **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.

### **4. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL**

Las obras del proyecto se ejecutan garantizando el cumplimiento de la legislación y reglamentación aplicable. En el Anexo “Especificaciones técnicas de carácter ambiental” de este documento se detallan los aspectos medioambientales que rigen la ejecución de este proyecto.

### **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.

### **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.

## **7. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

### **7.1. Memoria**

#### **7.1.1. Objeto de este 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 Subestación de Ocaña. 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 la Empresa Propietaria 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.

La Empresa Propietaria se reserva el derecho de la interpretación última del Plan de Seguridad que se apruebe.

## **7.2. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA**

### **7.2.1. Situación y Descripción de la Obra**

La Subestación de Ocaña está situada al sur de la población de Ocaña, en la provincia de Toledo (Castilla La Mancha).

Las condiciones climáticas y geotécnicas del punto de instalación son:

Altura del terreno	730 m
Tipo de Zona	B
Temperaturas extremas	0°C / 35°C
Velocidad máxima del viento	120 km/h
Contaminación ambiental	Media
Nivel de niebla	Baja
Pluviometría	Baja

La obra básicamente consiste en:

La Construcción de dos parques de intertemperie de 400kV y 220kV, ambos con configuración de interruptor y medio.

La explanación de una plataforma para contener tres calles, viales y vallado perimetral para el parque de 400 kV, en configuración de Interruptor y Medio, con la siguiente distribución:

Calle 1	L1	L4
Calle 2	L2	L5
Calle 3	L3	

La explanación de una plataforma para contener tres calles, viales y vallado perimetral para el parque de 220 kV, en configuración de interruptor y medio, con la siguiente distribución:

Calle 1	L6	L9
Calle 2	L7	L10
Calle 3	L8	L11

Una transformación de 400/220kV, de 600 MVA, conectará ambos parques.

La aparamenta que se instalará en el parque de 400 kv. será:

52	Interruptores	16
89 B	Seccionadores pantógrafos	10
89	Seccionadores rotativos de 3 columnas	32
89-57	Seccionadores rotativos de 3 columnas con p.a.t.	10
TI	Transformadores de intensidad	22
TC	Transformadores de tensión	12
PY	Pararrayos autoválvulas	
As	Aisladores de barras	32

La aparamenta que se instalará en el parque de 220 kv. será:

AT	Autotransf. trifásico 400/220 kv. de 600 MVA.
----	---

52	Interruptores	15
89 B	Seccionadores pantógrafos	10
89	Seccionadores rotativos de 3 columnas	30
89-57	Seccionadores rotativos de 3 columnas con p.a.t.	10
TI	Transformadores de intensidad	20
TC	Transformadores de tensión	12
	Pararrayos autoválvulas	
As	Aisladores de barras	32

Para ello se procederá a realizar las siguientes actividades:

- Las cimentaciones de la estructura de pórticos de amarre de las líneas y de las estructuras metálicas de soporte de la aparamenta.
- La construcción de un Edificio destinado a albergar los equipos de control y de maniobra de la instalación principal, así como los sistemas de alimentación de los servicios auxiliares.
- Obra Civil donde se ubicarán los equipos de protección.
- Se construirán canales cables de reducida profundidad que unirán el parque con el edificio de control y las casetas de relés.
- Montaje de las estructuras metálicas de pórticos de entrada y de soportes de aparamenta.
- Montaje de la aparamenta correspondientes a las calles equipadas y a sus embarrados de conexión.
- Montaje de embarrados principales y embarrado altos.
- Se ampliarán los servicios de c.a y c.c. de Servicios Auxiliares.
- Será modificada la red de tierras, así como a la instalación de fuerza y alumbrado.
- Se procederá al cerramiento perimetral de parque.

La disposición física de los elementos del parque responde a lo normalizado por REE para instalaciones de 400 kV y cuyas características principales son:

Embarrados altos. Tubo rígido de Al 250 / 228 mm, situados a 13,5 m.

Embarrados bajos. Tubo rígido de Al 150 / 134, situados a 7,5 m.

Tendidos altos de cable dúplex a 20,5 m

Ancho de calles de 13, 5 m

Anchura de viales principales 5 m.

Anchura de viales secundarios longitudinales 4 m.

Anchura de viales secundarios transversales 3 m.

#### 7.2.2. Presupuesto, Plazo de Ejecución y Mano de Obra

La Obra adjudicada a Contratistas se estima en los siguientes valores

Actividad contratada	Presupuesto (K€)	Jornadas - hombre Previstas	Plazo ejecución (meses)
Movimiento de tierras	445	240	2
Construcción Casetas y Ed. Control	710	550	2
Obra Civil del parque	180	240	1
Montaje de la estructura	1050	180	1
Punta de trabajadores	10 Trabajadores		

En virtud de estos valores y conforme a lo establecido en el art. 4 del R.D. 1627/1997 para Obras de Construcción o Ingeniería Civil, donde se expone que hay obligatoriedad de elaborar un Estudio de Seguridad en

los casos en que se superen alguna de las de las circunstancias siguientes:

- Cuando el presupuesto total adjudicado de Obra supere 450 Kilo€uros
- Cuando el Volumen de Mano de Obra supere 500 jornadas - hombre
- Cuando la duración sea superior a 30 días y haya 20 o más trabajadores

Se procede a elaborar este Estudio de Seguridad y Salud.

#### 7.2.3. Control de accesos

Dado que la situación de la subestación, está alejada de núcleos urbanos o zonas de paso, la presencia de personal ajeno a la obra es improbable. A pesar de ello, el cerramiento perimetral se realizará tan pronto como sea posible.

La parcela se encuentra vallada, por lo que no procede ninguna actuación en este campo.

En el portón de acceso se dispondrán señales informativas de riesgo.

#### 7.2.4. 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 no estarán interferidos en su mayor parte con ningún otro, si bien en la fase final interferirán con el inicio de los trabajos de montaje.

Los desplazamientos y las maniobras de trabajadores y maquinaria prevista en Obra estarán condicionados por la existencia de elementos en tensión. La actuación en cuanto a las vías de paso autorizado se planificará de forma que no afecte a la instalación en servicio y siempre

conforme a las normas indicadas en este documento en los apartados que les afecten.

#### 7.2.5. Unidades constructivas que componen la Obra

##### 7.2.5.1. Movimiento de tierras

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

El movimiento de tierras abarcará la plataforma completa del parque de 400 kV, la zona del edificio y los accesos.

Básicamente se utilizará maquinaria pesada de explanación y retirada de tierras.

##### 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 cubrirá todo el parque, incluidas las calles nuevas. 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 2 m.

##### 7.2.5.2. Obra Civil

Consiste en la realización de Edificio de control y casetas de relés, los cuales se construirán sucesivamente.

Se dispondrá de 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.

#### Cimentaciones de soportes

Las cimentaciones para los pórticos y estructuras soportantes de la nueva apartamentada y de las cajas de centralización se realizarán en dados de hormigón armado.

#### Casetas de relés

Se construirán 8. De planta rectangular con dimensiones de 4x 10 m, se construirán con muro de fábrica con bloques de hormigón armado y forjado plano.

#### Edificio de Control

Será de planta rectangular construido con muros de fábrica con bloques de hormigón armado y forjados planos. La solera del suelo será de falso suelo en las salas de equipos eléctricos y pavimento de hormigón industrial en las salas de taller y auxiliares.

### 7.2.5.3. Montaje de estructuras y equipos

En esta fase se instalarán los embarrados altos, las estructuras de los equipos y los propios equipos.

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 apartamentada 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 a las casetas de relés 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 posición / 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.

## 7.2.6. Identificación de riesgos

### 7.2.6.1. Valoración de los riesgos

Las Empresa adjudicatarias de las obras han de considerar que la evaluación de los riesgos asociados a cada una de las actividades de construcción de Subestaciones 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:

<i>Situaciones pormenorizadas de riesgo</i>	
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.
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

<i>Situaciones pormenorizadas de riesgo</i>	
Atrapamientos por mecanismos en movimiento	Atrapamientos por herramientas manuales, portátiles y 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 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.
Explosiones	Máquinas, equipos y botellas de gases.

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

#### 7.2.6.2. 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, la Empresa Propietaria 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.

#### 7.2.6.3. 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 la Empresa Propietaria y el Contratista.

#### 7.2.6.4. 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.

#### 7.2.6.5. 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 la Empresa Propietaria podrá solicitar certificados de estos reconocimientos.

#### 7.2.6.6. 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.

#### 7.2.7. 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.

#### 7.2.8. Disposiciones de Emergencia

##### 7.2.8.1. 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. Siendo el punto de reunión el portón principal de entrada a la subestación.

Se considera necesario establecer Equipos de Evacuación ni realizar simulacros al respecto.

#### 7.2.8.2. Iluminación

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

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).

#### 7.2.8.3. Instalaciones de suministro y reparto de energía

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

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.

#### 7.2.8.4. Ventilación

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

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.

#### 7.2.8.5. 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 realizará 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.

#### 7.2.8.6. Detección y lucha contra incendios

No se prevé en la obra la existencia de carga térmica elevada, para facilitar lo 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.

#### 7.2.8.7. 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.

#### 7.2.9. 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.

### **7.3. PLIEGO DE CONDICIONES**

#### 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.

## 2. Técnicas y particulares

### ÍNDICE

1. Ámbito de aplicación	pág.206
2. Especificaciones de carácter general	pág.206
2.1. Condicionados de los Organismos de la Administración	
2.2. Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible	
2.3. Cambios de aceites y grasas	
2.4. Campamento de obra	
2.5. Gestión de residuos	
2.6. Incidentes con consecuencias ambientales	
3. Requisitos específicos para los movimientos de tierras	pág.209
3.1. Zonificación de los trabajos	
3.2. Accesos	
3.3. Retirada de la cubierta vegetal	
3.4. Patrimonio cultural	
3.5. Movimiento de tierra para la explanación	
4. Requisitos específicos para obra civil	pág.211
5. Requisitos específicos para el montaje electromecánico	pág.211
5.1. Llenado de equipos con aceite	
5.2 Llenado de equipos con SF6	
6. Acondicionamiento final de la obra	pág.212



## **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 400/220kV de Ocaña, 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. 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 a los trabajos.

### **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. 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.

### **2.3. 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.

### **2.4. 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.

## **2.5. 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. Incluido como anexo al presente documento.
- 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 la Empresa Propietaria.

## **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.

### **3. REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS**

#### **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.

#### **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.

#### **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.

### **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.

### **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.

#### **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.

#### **5. REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO**

##### **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.

##### **5.2. Llenado de equipos con SF6**

El llenado de equipos con SF6 se llevará a cabo por personal especializado, evitándose así fugas de gas a la atmósfera. Las botellas de SF6 (vacías y con SF6 que no se ha utilizado en el llenado) serán retiradas por el proveedor para garantizar la adecuada gestión de las mismas.

## **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 N°4, PRESUPUESTO**

## ÍNDICE

1. Mediciones: pág. 216
2. Precios unitarios: pág. 218
3. Sumas parciales: pág. 220
4. Presupuesto general: pág. 222

## 1. Mediciones

- Aparamenta 400kV

	Mediciones	Unidades
Interruptores de potencia	16	uds
Seccionadores pantógrafos	10	uds
Seccionadores de columnas giratorias	32	uds
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	10	uds
Transformadores de intensidad	22	uds
Transformadores de tensión capacitivos	12	uds
Autoválvulas	16	uds
Embarrado principal (tubo 250/228mm)	310	m
Embarrado secundario (tubo 150/134mm)	890	m
Embarrado de tendido alto	750	m
Aislador embarrado principal	16	uds
Aislador embarrado secundario	16	uds
Estructura metálica	500.000	kg

- Aparamenta 220kV

	Mediciones	Unidades
Interruptores de potencia	15	uds
Seccionadores pantógrafos	10	uds
Seccionadores de columnas giratorias	30	uds
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	10	uds
Transformadores de intensidad	20	uds
Transformadores de tensión capacitivos	12	uds
Autoválvulas	16	uds
Embarrado principal (tubo 150/134mm)	600	m
Embarrado secundario (tubo 100/88mm)	640	m
Embarrado de tendido alto	400	m
Aislador embarrado principal	16	uds
Aislador embarrado secundario	16	uds
Estructura metálica	250.000	kg

- Transformador de potencia

	Mediciones	Unidades
Transformadores monofásicos de potencia	6	ud

- Sistema de control y comunicaciones

	Mediciones	Unidades
Sistema de control y telecomunicaciones	1	ud

- Servicios auxiliares

	Mediciones	Unidades
Transformador servicios auxiliares	2	uds
Baterias y rectificadores	-	-
Grupo electrógeno 200kVA	1	uds

- Red de tierras

	Mediciones	Unidades
Cable de cobre 120mm <sup>2</sup>	25.102	m
Puntas Franklin	32	uds

- Protecciones

	Mediciones	Unidades
Protección diferencial de línea	16	uds
Protección de distancia	16	uds
Protección de interruptor	31	uds
Protección diferencial de transformador	4	uds
Protección diferencial de barras	4	uds

- Construcciones

	Mediciones	Unidades
Movimiento de tierras	-	-
Caseta de relés	11	uds
Edificio de control	1	uds
Vallado	1.961	m

- Ingeniería

	Mediciones	Unidades
Obra civil	-	-
Montaje electromecánico	1	ud

- Otros

	Mediciones	Unidades
Seguridad y salud laboral	-	-
Vigilancia	-	-
Pruebas de puesta de servicio	1	ud
Terreno	15	ha
Tasas municipales	-	-

## 2. Precios unitarios

- Aparamenta 400kV

	Precio unitario
Interruptores de potencia	110.000€/ud
Seccionadores pantógrafos	47.000€/ud
Seccionadores de columnas giratorias	54.000€/ud
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	72.000€/ud
Transformadores de intensidad	15.500€/ud
Transformadores de tensión capacitivos	8.500€/ud
Autoválvulas	6.600€/ud
Embarrado principal (tubo 250/228mm)	90€/m
Embarrado secundario (tubo 150/134mm)	40€/m
Embarrado de tendido alto	5,8€/m
Aislador embarrado principal	950€/ud
Aislador embarrado secundario	800€/ud
Estructura metálica	1,4€/kg

- Aparamenta 220kV

	Precio unitario
Interruptores de potencia	50.000€/ud
Seccionadores pantógrafos	12.000€/ud
Seccionadores de columnas giratorias	13.000€/ud
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	15.200€/ud
Transformadores de intensidad	7.000€/ud
Transformadores de tensión capacitivos	4.000€/ud
Autoválvulas	3.500€/ud
Embarrado principal (tubo 150/134mm)	40€/m
Embarrado secundario (tubo 100/88mm)	14€/m
Embarrado de tendido alto	3,6€/m
Aislador embarrado principal	250€/ud
Aislador embarrado secundario	200€/ud
Estructura metálica	1,4€/kg

- Transformador de potencia

	Precio unitario
Transformadores monofásicos de potencia	825.000€/ud

- Sistema de control y comunicaciones

	Precio unitario
Sistema de control y telecomunicaciones	350.000€/ud

- Servicios auxiliares

	Precio unitario
Transformador servicios auxiliares	45000€/ud
Baterías y rectificadores	-
Grupo electrógeno 200kVA	19500€/ud

- Red de tierras

	Precio unitario
Cable de cobre 120mm <sup>2</sup>	2,7€/m
Puntas Franklin	300€/ud

- Protecciones

	Precio unitario
Protección diferencial de línea	9.000€/ud
Protección de distancia	7.000€/ud
Protección de interruptor	7.000€/ud
Protección diferencial de transformador	3.600€/ud
Protección diferencial de barras	20.000€/ud

- Construcciones

	Precio unitario
Movimiento de tierras	455.000 €
Caseta de relés	50.000 €
Edificio de control	160.000€/ud
Vallado	20€/m

- Ingeniería

	Precio unitario
Obra cívil	180.000 €
Montaje electromecánico	900.000 €

- Otros

	Precio unitario
Seguridad y salud laboral	42.000 €
Vigilancia	95.000 €
Pruebas de puesta de servicio	115.000 €
Terreno	20.000 €/ha
Tasas municipales	170.000 €

### 3. Sumas parciales

- Aparamenta 400kV

	Sumas parciales
Interruptores de potencia	1.760.000 €
Seccionadores pantógrafos	470.000 €
Seccionadores de columnas giratorias	1.728.000 €
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	720.000 €
Transformadores de intensidad	341.000 €
Transformadores de tensión capacitivos	102.000 €
Autoválvulas	105.600 €
Embarrado principal (tubo 250/228mm)	27.900 €
Embarrado secundario (tubo 150/134mm)	35.600 €
Embarrado de tendido alto	4.350 €
Aislador embarrado principal	15.200 €
Aislador embarrado secundario	12.800 €
Estructura metálica	700.000 €

- Aparamenta 220kV

	Sumas parciales
Interruptores de potencia	750.000 €
Seccionadores pantógrafos	120.000 €
Seccionadores de columnas giratorias	390.000 €
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	152.000 €
Transformadores de intensidad	140.000 €
Transformadores de tensión capacitivos	48.000 €
Autoválvulas	56.000 €
Embarrado principal (tubo 150/134mm)	24.000 €

Embarrado secundario (tubo 100/88mm)	25.600 €
Embarrado de tendido alto	1.440 €
Aislador embarrado principal	4.000 €
Aislador embarrado secundario	3.200 €
Estructura metálica	350.000 €

- Transformador de potencia

	Sumas parciales
Transformadores monofásicos de potencia	4.950.000 €

- Sistema de control y comunicaciones

	Sumas parciales
Sistema de control y telecomunicaciones	350.000 €

- Servicios auxiliares

	Sumas parciales
Transformador servicios auxiliares	90.000 €
Baterías y rectificadores	14.000 €
Grupo electrógeno 200kVA	19.000 €

- Red de tierras

	Sumas parciales
Cable de cobre 120mm <sup>2</sup>	67.775 €
Puntas Franklin	9.600 €

- Protecciones

	Sumas parciales
Protección diferencial de línea	144.000 €
Protección de distancia	112.000 €
Protección de interruptor	217.000 €
Protección diferencial de transformador	14.400 €
Protección diferencial de barras	80.000 €

- Construcciones

	Sumas parciales
Movimiento de tierras	455.000 €
Caseta de relés	550.000 €
Edificio de control	160.000 €

Vallado	39.220 €
---------	----------

- Ingeniería

	Sumas parciales
Obra civil	180.000 €
Montaje electromecánico	900.000 €

- Otros

	Sumas parciales
Seguridad y salud laboral	42.000 €
Vigilancia	95.000 €
Pruebas de puesta de servicio	115.000 €
Terreno	300.000 €
Tasas municipales	170.000 €

#### 4. Presupuesto general

	Presupuesto
Aparata 400kV	6.022.450 €
Aparata 220kV	2.064.240 €
Transformador de potencia	4.950.000 €
Sistema de control y comunicaciones	350.000 €
Servicios auxiliares	123.000 €
Red de tierras	77.375 €
Protecciones	567.400 €
Construcciones	1.204.220 €
Ingeniería	1.080.000 €
Otros	722.000 €
Total	19.860.685 €

El presupuesto total asciende a 17.160.685 €.



## DOCUMENTO N°5, BIBLIOGRAFÍA

En el proyecto se ha hecho uso de las siguientes fuentes:

- “Subestaciones eléctricas de alta tensión”, Matías J. Sánchez Mingarro.
- Apuntes de la asignatura “Centrales, subestaciones y líneas” (ICAI).
- Apuntes de la asignatura “Oficina Técnica” (ICAI).
- Mapas del Instituto Geográfico Nacional, [www.ign.es](http://www.ign.es).
- Normas UNE
- Normas IEC
- Boletín Oficial del Estado: 9 de Junio 2014, Reglamento de Alta Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Boletín Oficial del Estado: 25 de Febrero de 2011.
- Catálogos de las empresas Siemens, ABB, Mesa, Artech, Poina y Aplihorsa.
- Proyecto Fin de Grado de Miguel Cestero Bravo: “Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte peninsular española, en entorno protegido a 400kV y como punto de acceso de un generador.
- Proyecto Fin de Grado de Fernando Unturbe Lahera: “Diseño de una subestación eléctrica de tracción de 400kV para la alimentación del tren de alta velocidad”.
- Proyecto Fin de Grado de Alejandra Delgado Blasco: “Diseño de una subestación eléctrica de 220kV para la red de transporte como apoyo a distribución”.
- Proyecto Fin de Carrera de Víctor Manuel Falcón Blanco: “Proyecto de una subestación eléctrica de transporte 400/220kV”.
- Proyecto Técnico Administrativo: “Nueva subestación de Gozón, Parque de 400kV, Parque de 220kV, Transformador ATP-1 400/220kV”.
- Pliego de Condiciones Técnicas, Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición, Estudio de seguridad. Proporcionados por el director del proyecto.