COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN DE 400 KV PARA LA EVACUACIÓN DE GENERACIÓN

Autor: Conde Poole, Almudena.

Director: Sánchez Mingarro, Matías.

Entidad colaboradora: ICAI- Universidad Pontificia Comillas

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Proyecto técnico administrativo de una subestación de 400kV para la evacuación de generación

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/23 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.: Almudena Conde Poole Fecha: 29./ 08./ 23.

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Matías Sánchez Mingarro Fecha: 29/ 08./23

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN DE 400KV PARA LA EVACUACIÓN DE GENERACIÓN

Autor: Conde Poole, Almudena.
Director: Sánchez Mingarro, Matías.
Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

Resumen del proyecto

El proyecto buscará la tramitación oficial de una subestación de 400kV con el objetivo de evacuar energía procedente de plantas fotovoltaicas a la red de transporte, lo que permitirá ampliar el mallado de la misma. Su emplazamiento se dará en el municipio de Campillo de Llerena, en Badajoz, teniendo a disposición 35.289 m^2.

El diseño de la subestación se ejecuta bajo lo estipulado en el Real Decreto 337/2014, del 9 mayo, que contempla el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las instalaciones de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01-23.

La tecnología seleccionada para la subestación será de tipo AIS, debido a que las condiciones ambientales de la zona no serán extremadamente anómalas como para que sea necesario aislar a la aparamenta en gas SF6, reduciendo de esta manera el coste de la instalación.

Para la configuración se escogerá la de interruptor y medio, ya que esta ampliará la versatilidad, fiabilidad y seguridad frente a otras configuraciones, además facilitará la ampliación de la subestación en el caso de que fuera necesario debido a la expansión de las renovables.

El parque estará compuesto por 4 calles, en las cuales se encontrarán 5 posiciones equipadas y 3 de reserva. Una de las posiciones equipadas se estará conectada a la generación, mientas que las otras cuatro serán las salidas de las líneas de alta tensión: Almaraz, Balboa, Valdecaballeros y Guillena.

La aparamenta que conformará la subestación será la siguiente:

· Interruptores de potencia trifásicos: 8

·Seccionadores trifásicos de barras (tipo pantógrafo): 6

·Seccionadores trifásicos de línea (de tres columnas con y sin puesta a tierra): 11

·Transformadores de intensidad monofásicos: 24

·Transformadores de tensión capacitivos monofásicos: 26

·Aisladores: 24

· Autoválvulas: 24

Se escogerán bajo las especificaciones eléctricas de la subestación las cuales se recogerán en el proyecto.

Se dispondrá, a su vez, de un embarrado principal, embarrado secundario y embarrado de tendido alto.

Se detallará la obra civil a realizar, teniendo en cuenta el movimiento de tierras además del vallado y los accesos para lo que se tendrá en cuenta la normativa vigente. También se contemplarán los drenajes y saneamientos, cimentaciones y edificaciones. Estas últimas contarán con el edificio de control y las casetas de relés.

Además, se diseñarán los sistemas de control y protecciones, el sistema de telecomunicaciones y los servicios auxiliares. Será necesario también un sistema de alumbrado tanto para el parque exterior como para el interior de los edificios, un sistema contra incendios en caso de fallo y un sistema anti-intrusismo para evitar la entrada de personas ajenas al personal autorizado.

Se detallarán los cálculos necesarios y se presentarán los planos adecuados.

Se realiza, además, un presupuesto de inversión inicial el cual asciende a 7.410.571€, obteniendo tras un estudio económico que la rentabilidad de la construcción sin repercutir el costo de mantenimiento es del 36%.

Abstract

The project will seek the official processing of a 400kV substation with the aim of evacuating energy from photovoltaic plants to the transmission grid, which will help to expand its meshing. It will be located in the municipality of Campillo de Llerena, in Badajoz, having available 35,289 m^2.

The design of the substation is executed under the provisions of Royal Decree 337/2014, of May 9, which includes the Regulation on technical conditions and safety guarantees in high voltage installations and its Complementary Technical Instructions ITC-RAT 01-23.

The technology selected for the substation will be the AIS type, because the environmental conditions of the area will not be extremely anomalous so that it is necessary to isolate the switchgear in SF6 gas, thus reducing the cost of the installation.

For the bus configuration, the switch and a half will be chosen, since this will expand the versatility, reliability and safety compared to other configurations, it will also facilitate the expansion of the substation in the event that it is necessary due to the expansion of renewables.

The switchyard will be composed of 4 bays, in which there will be 5 equipped positions and 3 reserve positions. One of the equipped positions will be connected to the generation, while the other four will be the outputs of the high voltage lines: Almaraz, Balboa, Valdecaballeros and Guillena.

The switchgear that will make up the substation will be the following:

· Three-phase power breaks: 8

· Three-phase bar disconnectors (pantograph disconnectors): 6

· Three-phase line disconnectors (double-side break disconnectors with and without earthing): 11

· Single-phase current transformers: 24

· Single-phase capacitive voltage transformers: 26

· Insulators: 24

· Autovalves: 24

They will be chosen under the electrical specifications of the substation which will be included in the project.

In addition, there will be a main busbar, secondary busbar and high laying busbar.

The civil works to be carried out will be detailed, taking into account the necessary earth-moving and site preparation in addition to the fencing and the accesses for which the current regulations will be taken into account. Drainage and sanitation, foundations and buildings will also be considered. The required buildings are the control building and relay booths.

In addition, the control and protection systems, the telecommunications system and auxiliary services will be designed. It will also be necessary a lighting system for both the switchyard and the interior of the buildings, a fire system in case of failure and an anti-intrusion system to prevent the entry of people outside the authorized personnel.

The necessary calculations shall be detailed and appropriate drawings submitted.

In addition, an initial investment budget is made which amounts to 7.410.571€, obtaining after an economic study that the profitability of the construction without passing on the maintenance cost is 36%.

ÍNDICE GENERAL

·Documento nº 1: Memoria

·Documento nº 2: Planos

·Documento nº 3: Pliego de condiciones

·Documento nº 4: Presupuesto

Documento nº 1: Memoria

Índice del documento 1

1.Memoria ***3***

2.Cálculos ***27***

3.Estudio económico ***64***

4.Anejos ***66***

1. Memoria

Índice

1. Objeto… ***6***

2. Alcance ***6***

3. Antecedentes ***6***

4. Normativa ***6***

5. Localización ***8***

6. Condiciones ambientales ***9***

7. Tecnología de aislamiento ***10***

8. Configuración ***10***

9. Esquema unifilar ***11***

10. Aparamenta ***11***

11. Especificaciones eléctricas ***12***

11.1 Características eléctricas *12*

11.2 Distancias mínimas 12

11.3 Embarrados 14

11.4 Características de la aparamenta 14

11.4.1 Interruptores *14*

11.4.2 Seccionadores *15*

11.4.3 Transformador de intensidad *16*

11.4.4 Transformador de tensión capacitivo *17*

11.4.5 Aisladores de apoyo *17*

11.4.6 Autoválvulas *18*

12. Red de tierras ***18***

12.1 Red de tierras inferiores 18

12.1 Red de tierras superiores....19

13. Estructuras metálicas....19

14. Sistemas de control y protecciones....19

14.1 Sistemas de control....19

14.2 Sistema de protección....20

15. Sistema de telecomunicaciones....21

16. Servicios auxiliares....21

16.1 Servicios auxiliares de corriente continua....21

16.2 Servicios auxiliares de corriente alterna....22

17. Obra civil y edificación....22

17.1 Vallado....22

17.2 Accesos....22

17.3 Movimiento de tierras....23

17.4 Drenajes y saneamientos....23

17.5 Cimentaciones....23

17.6 Edificaciones....24

17.6.1 Edificio de control....24

17.6.2 Edificación de las casetas de relés....24

18. Alumbrado....25

18.1 Alumbrado exterior....25

18.2 Alumbrado interior....25

19. Sistemas contra incendios....25

20. Sistema anti-intrusismo....26

21. Plazo de ejecución....26

Memoria

1. Objeto

Se pretende la tramitación oficial de una subestación de alta tensión (400kV) con la finalidad de cumplir con la Planificación Energética 2021-2026, habiendo sido aprobada previamente por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Mediante la construcción de esta subestación se logrará acceso a la red de transporte para la evacuación de la energía generada a través de un conjunto de plantas fotovoltaicas encontradas en las inmediaciones.

La subestación tendrá como objetivo la mejora del mallado de la red eléctrica, integrando a las renovables y asegurando la calidad y seguridad de suministro.

2. Alcance

Resultará imprescindible la selección de un terreno que ofrezca las condiciones meteorológicas necesarias para la misma, las cuales doten de seguridad a la subestación. Se realizará también la elección de la configuración, tecnología de aislamiento y aparamenta que resulten adecuadas. Se incluirán los planos necesarios y los cálculos procedentes para el correcto diseño de la subestación. Todo lo cual se realizará habiendo asegurado previamente el correcto acceso de las líneas a la subestación.

Se incluirá la obra civil, englobando accesos, preparación del terreno, edificaciones y preparación de las estructuras. Se llevará a cabo la planificación de protecciones y servicios auxiliares. Finalmente, también se señalará el presupuesto y la planificación.

3. Antecedentes

Mediante la tramitación de este proyecto se pretende volcar energía a red de transporte en el municipio de Campillo de Llerena perteneciente a la provincia de Badajoz.

La creciente tramitación de proyectos de placas fotovoltaicas en la zona genera la necesidad de una subestación de evacuación con acceso a la red de transporte.

4. Normativa

El diseño de la subestación se deberá realizar bajo la normativa vigente:

·Real Decreto 337/2014, del 9 mayo, que contempla el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las instalaciones de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01-23.

·Ley 24/2013, 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

· Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09.

· Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

· Real Decreto 1110/2007: Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (Orden 12 de abril de 1999).

· Real Decreto 7/198, relativo a las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

· Modificado por Real Decreto 154/1955, de 3 de febrero, por el cual se regulan las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.

· Real Decreto 2267/2004: Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

· Real Decreto 1066/2001: Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas

· Real Decreto 1367/2007: Real Decreto por el que se desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

· Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de energía eléctrica en régimen especial

· Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

· Ley 22/2011 de Residuos y suelos contaminados.

· Real Decreto 1890/2008: Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias.

· Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico (BOE 21-06-01).

· Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

· Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1.997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.

· Real Decreto 485/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

· Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

· Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

·Normas UNE.

·Normas IEE.

·Normas IEC.

Se señalará en cada apartado del documento la normativa aplicable en cada caso.

5. Localización

Se pretende la ubicación de la subestación en una zona de fácil acceso, por lo que el terreno seleccionado ofrece entrada directa a la carretera BA113 a través del ya existente Camino del Moro, lo que permitirá un acceso y salida rápidos hacia la vía. La finca en la que se localizará la subestación se trata del polígono 41, parcela 193 (subparcela b) en Campillo de Llerena, Badajoz. La referencia castral es 06029A041001930000GZ. Se tendrán 35.289m^2 a disposición. Se presenta a continuación una imagen de la parcela, habiendo sido reducida debido a la eliminación de los terrenos protegidos además de aquellos que no se encuentran bajo las correctas especificaciones técnicas para instalaciones eléctricas, quedando a disposición 68,7 ha, correspondientes a las tres subparcelas que lo conforman. Esto permitiría que, en caso de futuras ampliaciones debido a un aumento de las renovables, se pudiera arrendar otra subparcela permitiendo la ampliación de la subestación.

En la imagen inferior se puede observar la totalidad de la parcela en donde las partes inutilizables no se encuentran rayadas y la subparcela correspondiente se encuentra marcada en negro.

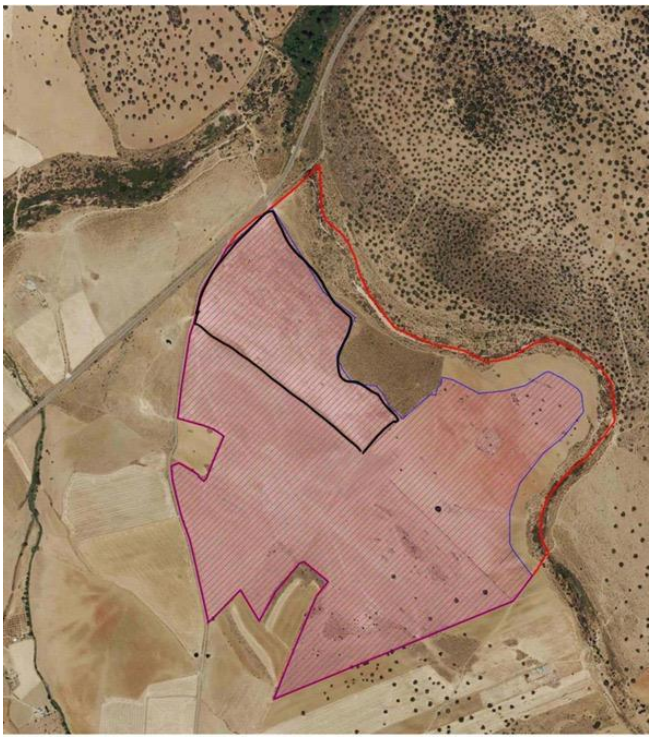


Figura 1: Mapa de la parcela

6. Condiciones ambientales

Bajo la normativa de condiciones ambientales que deben cumplir subestaciones encontramos los siguientes puntos:

·Temperatura ambiente máxima: 40ºC

·Temperatura ambiente mínima: -25ºC

·Humedad relativa media máxima (24h): 95%

·Humedad relativa media máxima (1 mes): 90%

·Altura máxima sobre el nivel del mar 1000 m

·Velocidad máxima del viento: 120km/h

En lo relativo a las temperaturas, observando los datos obtenidos desde el 2019 hasta el 2023, la ubicación no ofrece datos extremadamente anómalos. Durante los meses de verano la temperatura promedio es de 29ºC subiendo hasta 35ºC los días más calurosos, y con una temperatura máxima de 38ºC. En los meses de inverno la temperatura media es de 2ºC alcanzando hasta 12ºC, pero nunca por debajo de los -2ºC en los días más fríos. Por lo tanto, se cumplen los límites de temperatura impuestos por las restricciones.

La subestación se ubicará 502m sobre el nivel del mar, por lo que resulta bastante inferior a los 1000m de altura máxima.

Para la localización escogida la humedad no supone un problema considerándose prácticamente nula a lo largo de todo el año.

Los meses con más viento resultan tener una media superior a 12,8km/h entre mayo y octubre, siendo el mes con más viento el de abril con un promedio de 14,3 km/h y teniendo como máximo histórico registrado 71km/h.

Se encontrará la subestación en una zona de actividad sísmica baja, en la cual el coeficiente de contribución estará por debajo de los 0,04g.

7. Tecnología de aislamiento

Se implementará una tecnología de tipo AIS, debido a al bajo coste de su aparamenta en comparación con otro tipo de tecnologías como GIS o HIS. Resulta ser la alternativa más conveniente debido a las condiciones climatológicas las cuales permiten que esta no requiera de aislamiento. Nos permitirá por tanto un ahorro en edificación a su vez, aunque el coste del movimiento de tierras pueda resultar mayor, resulta beneficioso a largo plazo.

Este tipo de tecnología ofrecerá a la subestación una mayor flexibilidad ante cambios de diseño y una mayor seguridad. Además, permitirá que aunque el mantenimiento deba ser producido de manera más frecuente, sea realizado de una manera más sencilla frente a las demás.

8. Configuración

Tratándose de una subestación de tan alta tensión las opciones que resultan más viables son interruptor y medio o doble barra.

En la configuración de doble barra se conectan las líneas a ambas barras a través de seccionadores, estando ambas barras unidas mediante un acoplamiento. En el caso de que el acoplamiento se cerrara, esto permitiría transportar los circuitos de una barra a otra. Esta configuración posibilita además que la mitad de las líneas estén accionada por una barra y la otra mitad por la otra, y si se diera la situación de falta en interruptor o barra no se quedarían todas sin suministro. Sin embargo, aunque esta amplía la fiabilidad resulta ser menos versátil que la de interruptor y medio.

La configuración de interruptor y medio requiere de tres interruptores por calle y dos posiciones en cada calle, lo que posibilitará que si una de las dos barras queda fuera de servicio no se interrumpa el suministro, esta configuración añade versatilidad, fiabilidad y seguridad, viéndose aumentado el coste frente a otras configuraciones.

La capacidad de ampliación que ofrece la configuración de interruptor y medio resultará necesaria debido a la posible ampliación de las plantas fotovoltáicas correspondientes en un futuro. Por lo que debido a esto, además de la necesidad de versatilidad y la preferencia de esa configuración para la tensión de 400kV estipulada en PO 13.3 se escogerá esta última.

9. Esquema unifilar

Tras la selección de la configuración de interruptor y medio, se incluirá en el Documento de planos un diagrama unifilar que presenta cuatro calles y cinco posiciones equipadas, además de tres posiciones de reserva. Una de las posiciones estará conectada con la generación, mientras que las otras cuatro posiciones en funcionamiento evacuarán a las líneas de alta tensión.

·Calle 1:

- Posición 1: línea Almaraz
- Posición 2: conexión a la generación

·Calle 2:

- Posición 3: línea Balboa
- Posición 4: línea Guillena

·Calle 3:

- Posición 5: línea Valdecaballeros
- Posición 6: reserva 1

·Calle 4:

- Posición 7: reserva 2
- Posición 8: reserva 3

10. Aparamenta

Será imprescindible el siguiente listado de aparamenta:

·Interruptores

·Seccionadores de barras

·Seccionadores de línea (con y sin puesta a tierra)

·Transformadores de intensidad

·Transformadores de tensión capacitivos

·Aisladores de apoyo

·Autoválvulas

11.Especificaciones eléctricas

11.1 Características eléctricas

Acorde con el Real Decreto 337/2014, del 9 de mayo.

· La tensión nominal de la subestación será de 400kV y la tensión más elevada del material 420kV (ITCRAT-04).

·La frecuencia nominal en España es de 50Hz

Características eléctricas

Tensión nominal (Un)	400kV
Tensión más elevada del material (Um)	420kV
Frecuencia	50Hz
Neutro	Rígido a tierra
Intensidad de cortocircuito trifásico	50kA
Tiempo máximo de defecto trifásico	0,5 s
Tensión soportada a impulso tipo maniobra	1050kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo	1425kV
Línea de fuga mínima entre aisladores soporte	10500mm (25mm/kV)

11.2 Distancias mínimas

Las distancias mínimas vienen dadas por el reglamento (ITC-LAT12):

Conductores rígidos

·Fase-tierra:

- Conductor-estructura: 2600mm
- Punta-estructura: 3400mm

·Fase-Fase:

- Conductores paralelos: 3600mm
- Punta-conductor: 4200mm

Al situarnos a 502m de altura, por debajo de los 1000 se consideran aceptables las distancias mencionadas.

Conductores tendidos

Estos conductores se expondrán a amplios movimientos, los cuales harán que se vean sometidos a distancias inferiores a las normalizadas durante periodos cortos de tiempo. Debido a esto se deberán tener en cuenta unas distancias mínimas temporales de aislamiento, con las siguientes condiciones:

·El tipo de sobretensiones a considerar es limitado, siendo aquellas que se produjeran a la vez que el efecto de cortocircuito y con más precisión a cuando lo conductores se acerquen.

·La extensión del vano en la que se producirá la aproximación y, por tanto, la reducción de la distancia de aislamiento es reducida y de duración muy corta, entonces la probabilidad de fallo es pequeña. En los conductores rígidos se elimina la posibilidad de falta generada por la aproximación de conductores tras una falta a las salidas de la línea.

Se tendrán en cuenta las siguientes distancias, bajo las condiciones mencionadas:

- Conductor- estructura: 1500mm
- Conductor-conductor: 1800mm

Las distancias deberán permitir el paso del personal y herramientas por la superficie del parque sin ser sometidos a un riesgo, además del de vehículos para el trasporte y elevación para mantenimiento y manipulación, además de otros objetivos.

En la subestación se tendrán en cuenta las siguientes distancias:

- Entre ejes de aparellaje: 5m
- Entre ejes de conductores tendidos:6m
- Anchura de la calle: 20m
- Altura del embarrado principal alto: 13.5m
- Altura del embarrado de interconexión entre aparatos: 7,5m
- Altura de los tendidos altos: 20,5

Las distancias resultan ser mayores, con un amplio margen, que las establecidas en la normativa.

11.3 Embarrados

Embarrado principal

Se dispondrá a 13,5m de altura y el tubo que lo conforma presenta las siguientes características:

Aleación	E-AlMgSi0,5 F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	250- 228 mm
Sección (A)	8,259 mm^2
Intensidad máxima admisible	5.014 A

Embarrado secundario

Se dispondrá a 7,5m de altura y las características del tubo son las siguientes:

Aleación	E-AlMgSi0,5 F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	150- 134 mm
Sección (A)	3,569 mm^2
Intensidad máxima admisible	3.250 A

Embarrado de tendido alto

Tipo de conductor	Dúplex Lapwing
Diámetro exterior (D)	38,16 mm
Sección (A)	861,3 mm^2

11.4 Características de la aparamenta

11.4.1 Interruptores

Encontraremos tres interruptores por calle, debido a la configuración de interruptor y medio, si ambas posiciones están equipadas, al tener cinco posiciones serán necesarios 8 interruptores de potencia trifásicos. Estos serán de tanque vivo, aislado en SF6 siguiendo lo establecido en ITC-RAT 06. Se escoge el interruptor LTB 420E2 del fabricante ABB, el cual tendrá un funcionamiento monopolar con las siguientes características:

·Número de cámaras de corte por polo: 2

·Tensión nominal: 420kV

·Frecuencia nominal: 50Hz

·Nivel soportado a frecuencia industrial: 610V

·Nivel soportado a impulso tipo maniobra: 1050V

·Nivel soportado a impulso tipo rayo: 1425V

·Corriente nominal de servicio en cortocircuito: 50kA

11.4.2 Seccionadores

Los seccionadores permitirán la conexión y desconexión de las diferentes secciones de la instalación de manera visible. Encontraremos dos tipos en la subestación, el seccionador de barras y el seccionador de líneas. Deberán cumplir lo establecido en ITC-RAT 06.

·Seccionador de barras

Estos serán de tipo pantógrafo y permitirán que se produzca una conexión entre línea y embarrado, encontrados a una altura distinta o de manera cruzada. Serán necesarios 6 seccionadores trifásicos.

Se selecciona el seccionador de barras GW54 perteneciente a Hitachi Energy:

·Tensión nominal: 420kV

·Frecuencia nominal: 50Hz

·Nivel soportado a frecuencia industrial: 610V

·Nivel soportado a impulso tipo maniobra:1050V

·Nivel soportado a impulso tipo rayo: 1425V

·Corriente nominal de servicio en cortocircuito: 50kA

·Seccionador de líneas

Estos serán de tres columnas, con la del centro giratoria, lo que permitirá que el corte de suministro sea doble. El contacto estará formado por una barra que se encuentra sobre la columna giratoria y aislante, los contactos fijos se encontrarán en las dos columnas exteriores.

Se selecciona, del fabricante MESA, el seccionador SG3C-420. El fabricante ofrece el suministro del este con cuchillas de puesta a tierra las cuales se enclavarán a las principales. Además de los 11 juegos trifásicos de seccionadores de columnas que van a ser necesarios, para las salidas de las líneas resultarán imprescindibles otros cuatro juegos trifásicos de seccionadores de puesta a tierra.

Las características técnicas:

·Tensión nominal: 420kV

·Intensidad nominal: 4kA

·Tensión a impulso tipo rayo: 1425kV

·Tensión a impulso tipo maniobra: 1050kV

·Tensión soportada a frecuencia industrial: 610kV

·Intensidad de corta duración: 50kA

·Tipo de aislador: C6-1550

11.4.3 Transformador de intensidad

La función de los transformadores de intensidad será la reducción de la corriente a niveles inferiores de manera que no afecte al correcto funcionamiento de elementos de medida y protección. Serán necesarios 24 transformadores de intensidad monofásicos, los cuales deberán satisfacer la normativa ITC-RAT 07.

Se seleccionan los transformadores de intensidad CA-420 de Arteche, con las siguientes propiedades:

·Aislamiento: papel-aceite

·Tensión nominal: 420kV

·Tensión soportada a frecuencia industrial: 630kV

·Tensión soportada a impulso tipo rayo: 1425kV

·Tensión soportada a impulso tipo maniobra: 1050kV

·Línea de fuga: 10500mm

·Intensidad de corta duración: 120kA/1s

·Corriente nominal: 5kA

Las relaciones de transformación cumplirán lo establecido en el Reglamento de medida de puntos unificados del sistema eléctrico (Real Decreto 1110/2007).

11.4.4 Transformador de tensión capacitivo

Su función será la de la reducción de tensión a valores manejables en la subestación. Serán necesarios 12 monofásicos a la salida de las líneas además de 6 en las barras. Deberán estar bajo normativa ITC-RAT 08.

Se selecciona de Arteche, el DFK-420:

·Aislamiento: papel-aceite

·Tensión nominal: 420kV

·Tensión soportada a frecuencia industrial: 630kV

·Tensión soportada a impulso tipo rayo: 1425kV

·Tensión soportada a impulso tipo maniobra: 1050kV

·Capacidad estándar: 3500pF

·Alta capacidad: 7700pF

·Línea de fuga: 10500mm

11.4.5 Aisladores de apoyo

La función de los aisladores será la del soporte de los conductores en los embarrados además del aislamiento eléctrico. Serán escogidos bajo el cumplimiento de la normativa ITC-RAT 02

Los aisladores a instalar son los siguientes:

·Aisladores C16-1425 en el vano A:

- Carga de rotura a flexión: 16000N
- Carga de rotura a torsión: 6000N
- Altura del aislador: 3150mm
- Altura pieza soporte: 220mm

·Aisladores C8-1425 en el vano B:

- Carga de rotura a flexión: 8000N
- Carga de rotura a torsión: 4000N
- Altura del aislador: 3150mm

- Altura pieza soporte: 170mm

11.4.6 Autoválvulas

Su función será la de absorción de sobretensiones que hayan sido causadas debido a descargas atmosféricas o maniobras. Se instalarán 12 pararrayos y se han escogido, del proveedor ABB, el modelo PEXLIM P420. Los cuales estarán bajo la normativa ITC-RAT 02.

El criterio de selección se encuentra en el apartado de cálculos y las características son las siguientes:

·Tensión más elevada del material (U_m): 420kV

·Tensión asignada (U_r): 330kV

·Tensión de servicio continuo (U_c):264kV

·Tensión residual: 823kV

·Clase 4 – Intensidad de descarga 20kA

·Distancia máxima: 54,67m

12. Red de tierras

12.1 Red de tierras inferiores

Se implantará una malla de tierras inferiores formada por un cable de cobre, dividida en retículas de 6x6 de manera que se cubra la superficie entera que ocupa la subestación.

La función principal será la preservación de la seguridad de las personas mediante la obtención de unas tensiones de paso y de contacto seguras.

Se conectarán a la red de tierras todos aquellos elementos que estén sujetos a un voltaje, pero también se conectarán los elementos metálicos que no lo estén pero que puedan suponer un riesgo de sobretensión en caso de falta como puede ser el caso de las bases de aparellaje o estructura metálica. Se realizará la conexión de estas últimas mediante la fijación de la estructura o las carcasas a través de grapas o tornillos especiales que aseguran la durabilidad haciendo uso de soldaduras aluminotérmicas, las cuales resultan ser muy resistentes frente la corrosión galvánica.

La profundidad de la red de tierras será de 0,8m y la longitud de la malla de 8034m, formada por un cable de cobre con una de sección de $120 mm^2$. El diseño se ha realizado

respetando los límites impuestos por lo estipulado en la norma IEEE-80-2000 y en el Reglamento de Alta Tensión (ITC RAT 13). Se justifica en el apartado de Cálculos.

12.1 Red de tierras superiores

Se pretenderá la derivación al terreno de las sobrecargas que se puedan producir a través de un circuito de baja resistencia en búsqueda de la seguridad de las personas además de la protección de las instalaciones.

Estará formada por hilos de guarda y puntas Franklin, las cuales se encontrarán sobre columnas. Se unirán a la malla mediante la estructura metálica que los sostiene.

Se utilizará un criterio de seguridad de apantallamiento total, el cual buscará la protección de embarrados y otros equipos eléctricos que se encuentren en la instalación frente a descargas atmosféricas de manera que los hilos de guarda sean los encargados de absorberlas y no se supere la máxima tensión de aislamiento.

El modelo escogido es electrogeométrico, y aunque se encuentra justificado en el apartado de Cálculos, el radio crítico de cebado es de 55,33m con centro en las puntas Franklin, los hilos de guarda en el amarre y punto más bajo.

13. Estructuras metálicas

Se requerirá de estructuras metálicas, las cuales estarán compuestas por acero, para el soporte de la aparamenta y la sujeción de las líneas. Tanto las estructuras como los soportes se protegerán frente a la corrosión a través del galvanizado en caliente.

Estas se anclarán a tierra a través de cimentaciones previamente preparadas en hormigón en las que se fijarán los pernos.

14. Sistemas de control y protecciones

14.1 Sistemas de control

El sistema de control nos aportará información de la aparamenta además de permitirnos realizar acciones como podrían ser las maniobras, este tendrá que registrar todas y cada una de las operaciones realizadas sobre la subestación.

El sistema de control estará formado por tres niveles:

·Nivel de campo: estará formado por el control directo sobre la aparamenta, maniobras sobre todo aquello que se encuentre en el parque exterior como es el caso de

interruptores, seccionadores y transformadores. Se tendrán en cuenta también los canales de comunicación.

·Nivel de control de bahía: abarcará aquellos elementos relativos a la protección y medida además de control.

·Nivel de subestación: está conformado por la Unidad del Centro de Control de la subestación, se realiza supervisión, maniobra y control de la subestación completa. Se utilizarán los softwares HMI y SCADA. Permitirán el control a distancia como podría ser el Centro de Control o las oficinas de la empresa correspondiente.

14.2 Sistema de protección

Comprenderá el sistema formado por todos aquellos equipos cuya finalidad es la detección de faltas y corrección de anomalías aislando las partes afectadas del sistema en la medida de lo posible. Además de la protección de cada uno de los elementos que conforman la subestación, su función es también proteger a las personas que puedan trabajar en ella además de intentar reducir el gasto económico que puede suponer una falta.

Resultará necesario que el sistema de protección incluya las siguientes características:

·Sensibilidad

·Selectividad

·Rápidez

·Fiabilidad (seguridad y obediencia)

·Robustez

·Autonomía

Se instalará cumpliendo lo establecido en ITC-RAT 09.

Las protecciones necesarias serán:

-Barras: se instalará la protección diferencial de barras (87B), serán necesarias una protección principal y una secundaria por barra.

-Línea: será imprescindible disponer de una protección que disponga las funciones de distancia (21), diferencial (87), contra sobretensiones (59), reenganche (79) y finalmente de sobreintensidad direccional de neutro (67N). En este caso también dispondremos de una principal y una secundaria.

-Interruptor: el relé deberá incluir las funciones de fallo de interruptor (52S-66), mínima tensión (27), comprobación de sincronismo y acoplamiento de redes (25-25AR).

15. Sistema de telecomunicaciones

El sistema de telecomunicaciones permitirá la supervisión y el control a distancia, lo que facilitará el mando de la subestación. Además de permitir comunicaciones tanto externas como internas lo que agilizará las coordinaciones.

·Telecomunicaciones para telemando y telecontrol: permitirá la monotorización a distancia de los equipos y dispositivos situados en la subestación, de manera que se realice a tiempo real y de forma eficiente. Utilizan tecnología SDH.

·Red de fibra óptica: necesaria para los sistemas de control y protección, empleada por debido a la rapidez que ofrece para transmitir información. Se extenderá desde el armario de fibra hacia el exterior de la subestación.

·Red telefónica: a lo largo de la subestación gracias las conexiones IP.

16. Servicios auxiliares

Conforman una parte fundamental de la subestación, ya que se trata de aquellos equipos que funcionan como fuentes de alimentación y suministro eléctrico de forma que se garantice la correcta operación.

Se podrán distinguir los servicios auxiliares de corriente continua y los servicios auxiliares de corriente alterna.

16.1 Servicios auxiliares de corriente continua

Se requerirá de dos cuadros a tensiones distintas:

· 125 V de c.c.

Se dispondrá de dos baterías, formando sistemas independientes los cuales, en el caso de fallo de una se podrán conectar a la otra. La alimentación se produce a través de rectificadores.

Ofrecen los siguientes márgenes: +10% /-15%.

Respecto a la batería uno podremos encontrar las siguientes conexiones: elementos de control, primer y tercer sistema de protección, sistemas de control auxiliares, UCS y telecontrol.

Respecto a la batería dos conectaríamos: el segundo y cuarto sistema de protección y circuitos de energía para motores.

·48 V de c.c.

Constará de un armario rectificador batería para las telecomunicaciones.

16.2 Servicios auxiliares de corriente alterna

Tendrán una tensión nominal de 400/230V c.a.

Se instalará en la sala de servicios auxiliares del edificio de control un cuadro general de C.A. , para alimentarlo será necesaria la conexión a una línea de media tensión. Se dispondrá también de un grupo electrógeno.

·Línea de media tensión

Se conectará a un centro transformación, el conjunto eléctrico compacto mb del proveedor Ormazábal de 400kVA que conectará media tensión con baja. Este permitirá las conexiones de líneas de hasta 24kV, se producirá la conexión a una de 15kV por lo que no supondrá un problema.

·Grupo electrógeno

Se selecciona un grupo electrógeno Diésel de 360kVA, insonorizado perteneciente al grupo Himoinsa.

17. Obra civil y edificación

17.1 Vallado

Resultará imprescindible la implantación de una valla alrededor de todo el recinto que comprende la subestación. Según lo establecido por ITC-RAT 15 deberá disponer de una altura mínima de 2,2 m medidos desde el exterior, además de avisos de peligro en todas las posiciones de la valla con el objetivo de alertar por alta tensión a toda persona ajena al personal de la subestación.

La valla con el objetivo de cumplir el reglamento además de añadir un coeficiente de seguridad tendrá una altura de 2.5m y deberá ser electrosoldada y galvanizada.

17.2 Accesos

Se accederá a la subestación a través del Camino del Moro con acceso directo a la carretera BA-113. Se pondrá una puerta principal para la entrada de vehículos que

dispone de 5 metros de ancho, además de una puerta manual para peatones de 1m de ancho.

17.3 Movimiento de tierras

Se tendrá en cuenta el estudio geotécnico además del estudio topográfico de la zona según el Instituto Geológico y Minero Español, sabiendo que en la composición del suelo predomina la pizarra acompañada de areniscos, grawackas y calizas.

Se comenzará por la explanación del terreno en el cual se sostendrá la plataforma, limpiando y extrayendo la capa vegetal, lo que será continuado por la excavación y compactación hasta la cota requerida.

Aquella tierra que haya sito retira durante la explanación deberá ser llevada a los sitios adecuados para ello.

Antes de proceder a rellenar la explanación, se implanta el mallado de la red de tierras a 0,8m de profundidad.

Para el suelo se utilizará el siguiente criterio según el artículo 330 del PG3:

·Suelo seleccionado: son los que se han elegido para poner sobre la plataforma ya que cumple con los requisitos técnicos y las características necesarias para soportar cargas.

·Suelos adecuados o tolerables: se utilizarán para cimientos.

En los taludes se implantará tierra vegetal para su posterior revegetación.

17.4 Drenajes y saneamientos

En la plataforma se incorporarán tubos de drenaje perforados, de manera que no se acumule el agua en la instalación y se asegure la evacuación de la misma en un tiempo óptimo, consiguiendo en caso de lluvias un desalojo adecuado.

La recogida de aguas residuales se realizará para su posterior saneamiento, a través de los colectores en las zanjas se evacuará al desagüe principal, el cual conectará con la red de saneamiento más cercana.

Se pondrá una valla metálica para evitar el acceso de animales al desagüe.

17.5 Cimentaciones

Las cimentaciones se realizarán para la sujeción de embarrados, soporte de pórticos de líneas y aparellaje, como puede ser el caso de transformadores.

Las cimentaciones para aparellaje constarán de zapatas cuadradas en hormigón armado, estas estarán sometidas únicamente a las cargas que vayan surgiendo en la subestación debido a adversidades que se den climatológicamente, además de cargas eléctricas.

Para el apoyo metálico de los pórticos y embarrados se realizará a través del hormigonado de cimentación de pata de elefante, aumentando al tener la base más ancha la estabilidad y resistencia.

17.6 Edificaciones

17.6.1 Edificio de control

El edificio tendrá unas dimensiones de 25 x 15 m. Este se construirá a partir de paneles prefabricados lo que permitirá una reducción del coste además de rapidez en su montaje.

Dentro podremos encontrar:

·Sala de control: estará equipada con los cuadros de control necesarios para las tareas de mando y control de la subestación además de protecciones.

·Sala de servicios auxiliares: contará tanto con los de continua como con los de alterna, alojarán a las baterías.

·Sala de telecomunicaciones

·Vestuarios y aseos

·Almacén

La cimentación del edificio se realizará a base de hormigón, donde se sustentarán muros y pilares. Los muros estarán conformados por los paneles prefabricados.

Para el diseño del mismo habrá que tener en cuenta una ventilación, climatización e iluminación adecuadas además de la entrada y salida del cableado. El alumbrado del edificio se alimentará desde los servicios auxiliares, se señalizarán las salidas de emergencia y los puntos de evacuación.

17.6.2 Edificación de las casetas de relés

Se dispondrá de tres casetas de relés, una por cada calle equipada, procedentes del proveedor Gilva. Estas serán prefabricadas, con un tamaño 5x10m, y contribuirán a la protección de la línea.

Las casetas contendrán los bastidores de protecciones de las posiciones correspondientes a la calle en la que se encuentran, además de un cuadro de servicios auxiliares de corriente alterna para alimentar a los equipos y aparamenta encontrados en la calle y finalmente armarios de comunicaciones.

Será necesaria la implementación de aire acondicionado y calefacción para la climatización de la misma.

18. Alumbrado

18.1 Alumbrado exterior

Se alumbrarán las posiciones a través de focos de luz orientables, los cuales se situarán sobre los pórticos o estructuras. Si fuera necesario alumbrar un vial, se podrían poner en los edificios sobre sus paredes. Todos los focos utilizados serán los mismos de manera que se preserve la homogeneidad. El nivel de iluminación será de 50lux.

Para el alumbrado de emergencia se encontrarán los equipos sobre las columnas de alumbrado, edificios o viales principales. Los equipos tendrán una hora de autonomía.

18.2 Alumbrado interior

Se requerirá mayor iluminación e la sala de control que en las restantes. En la sala de control se necesitarán 500lux, mientras que en la sala de servicios auxiliares, telecomunicaciones y en las casetas de relés será suficiente con 300lux.

En la sala de control será importante la implantación del alumbrado evitando la formación de sombras y zonas de menor luminosidad.

El alumbrado de emergencia se encontrará en pasillos y salidas.

19. Sistemas contra incendios

Se cumplirá lo estipulado en ITC-RAT 15 para la zona exterior e ITC-RAT 14 para la zona interior. Se priorizará el uso de materiales a través de los cuales no sea propensa la creación de incendios y que en el caso de que lo haya relenticen la difusión del mismo.

Se cubrirá el suelo de la superficie que ocupa la subestación con grava con el fin de evitar la resecación de la vegetación y producción de incendios.

Un sistema de alarma con detectores analógicos o digitales se encontrará en todos los edificios.

Encontraremos extintores de CO2 y de polvo en los edificios, y para el parque exterior carros de 50kg de polvo.

20. Sistema anti-intrusismo

El sistema intentará evitar la entrada de personas no autorizadas a la subestación.

Estará compuesto por:

·Detectores volumétricos infrarrojos

·Detectores magnéticos en las puertas alertando de los movimientos

·Cámaras de vigilancia en todo el recinto

·Sirena exterior

21. Plazo de ejecución

Este constará de 10 meses durante los cuales se irán desempeñando las diferentes tareas para la ejecución de la subestación. Se presenta a continuación la planificación:

	MESES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingeniería	■	■	■	■	■					
Licencias	■	■								
Movimiento de tierras		■	■	■						
Edificio de control		■	■	■	■					
Obra civil		■	■	■	■	■	■			
Montaje electromecánico					■	■	■	■		
Ensayos									■	■
Puesta en servicio										■

2. Cálculos

Índice

1. Objeto……....30

2. Embarrados.....30

2.1 Cálculo de embarrados rígidos 30

2.2 Condiciones de la instalación 30

2.3 Normativa aplicable.....31

2.4 Características de los materiales.....31

2.5 Cálculo del embarrado principal.....33

2.5.1 Tensión en el tubo.....33

2.5.2 Reacciones sobre aisladores soporte 36

2.5.3 Flecha en el tubo 36

2.5.4 Elongación del embarrado 37

2.5.5 Esfuerzo térmico en cortocircuito 37

2.5.6 Intensidad nominal de las barras 37

2.6 Cálculo del embarrado secundario.....38

2.6.1 Tensión en el tubo.....38

2.6.2 Reacciones sobre aisladores soporte 41

2.6.3 Flecha en el tubo 42

2.6.4 Elongación del embarrado 42

2.6.5 Esfuerzo térmico en cortocircuito 42

2.6.6 Intensidad nominal de las barras 43

3. Cálculo de efecto corona 43

3.1 Cálculo de la tensión disruptiva.....43

4. Determinación de distancias mínimas en embarrados tendidos.....45

4.2 Normativa aplicable.....46

4.3 Desplazamientos del vano con viento 46

4.4 Efecto en conductores por corrientes de cortocircuito.....47

4.4.1 Dimensiones y parámetros característicos 47

4.4.2 Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito 50

4.5 Aproximación de conductores 50
4.6 Distancia mínima 52
4.7 Distancias mínimas a adoptar 52

5. Selección de autoválvulas 53

6. Red de tierras inferiores 54

7. Red de tierras superiores 61

Cálculos

1. Objeto

En este documento se buscará la justificación, bajo un enfoque técnico, de las medidas por las que se han optado en la subestación respecto a los elementos más críticos que la conforman además de la entrada y salida de líneas.

A continuación, se encontrarán los siguientes cálculos con sus respectivas normativas:

· Cálculo mecánico de embarrados rígidos

·Determinación de efecto corona

·Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados tendidos

·Red de tierras inferiores

·Red de tierras superiores

2. Embarrados

2.1 Cálculo de embarrados rígidos

La intensidad de cortocircuito que se prevee en el horizonte ronda los 20 kA según la planificación 2021-2026, dato que ha sido recogido gracias al informe anual proporcionado por Red Eléctrica por lo que para dejar holgura en caso de crecimiento del sistema cogeremos una Intensidad simétrica de 50kA.

$$Icc = 50kA$$

$$\frac{R}{X} = 0{,}07$$

Duración de cortocircuito: 0,5 segundos

2.2 Condiciones de la instalación

El emplazamiento se dará en una parcela a 502 m sobre la altura del mar, por lo que se dará en condiciones de zona B (entre 500 y 1000 m). Se tendrán en cuenta las siguientes condiciones climatológicas:

·Hielo: Manguito de $180 \cdot \sqrt{d(mm)}$ g/m

-Vano A: 2,846 kg/m

-Vano B: 2,204 kg/m

·Viento: Presión de viento a 140 km/h= $95{,}3\ \mathrm{DaN/m}$

2.3 Normativa aplicable

Los cálculos que se realizan a continuación cumplen con la normativa vigente en España referente a este tipo de instalaciones y está basado en las siguientes Normas y Reglamentos:

-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.

-Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.

-Norma CEI 865 de 1986, “Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito”.

-Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo”.

-Norma CEI 909-1988, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.

-Norma VDE 0102.

-Norma DIN 43670.

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

2.4 Características de los materiales

Tubo Ø250/228 para embarrados principales y tubo Ø150/134 para embarrados bajos.

·Embarrado principal

Aleación	E-AlMgSi0,5 F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	250- 228 mm
Espesor de la pared (a)	11 mm
Peso propio unitario (Ppt)	22,3 kg/m

Sección (A)	8,259 mm^2
Carga de rotura del material $\mathbf{a_r}$	195 N/mm^2
Momento de inercia (J)	5910 mm^4
Momento resistente (W)	473 cm^3
Módulo de elasticidad de Young (E)	70.000 N/mm^2
Límite de fluencia mínimo ($\mathbf{Rp_{02}}$)	160 N/mm^2
Coeficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	5.014 A

·Embarrado secundario

Compuesto	E-AlMgSi0,5 F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	150- 134 mm
Espesor de la pared (a)	8 mm
Peso unitario propio (Ppt)	9,64 kg/m
Sección (A)	3,569 mm^2
Carga de rotura del material $\mathbf{a_r}$	195 N/mm^2
Momento de inercia (J)	902 mm^4
Momento resistente (W)	120 cm^3
Módulo de elasticidad de Young (E)	70.000 N/mm^2
Límite de fluencia mínimo ($\mathbf{Rp_{02}}$)	160 N/mm^2
Coeficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	3.250 A

- Características de los aisladores soporte

·Aisladores C16-1425 en el vano A

Carga de rotura a flexión	16.000 N
Carga de rotura a torsión	6.000 N
Altura del aislador	3.150 mm
Altura pieza soporte	220 mm

·Aisladores C8-1425 en el vano B

Carga de rotura a flexión	8.000 N
Carga de rotura a torsión	4.000 N
Altura del aislador	3.150 mm
Altura pieza soporte	170 mm

2.5 Cálculo del embarrado principal

Se tendrá en cuenta para los siguientes cálculos la intensidad simétrica de cortocircuito mencionada anteriormente de 50kA.

·Intensidad de cresta (S/CEI 909) :

$$Ip = \chi \,.\sqrt{2}\,.Icc = 128{,}29\ kA$$

$$\chi = 1{,}02 + 0.98\,.e^{-3R/X} = 1{,}814$$

2.5.1 Tensión en el tubo

Esfuerzos:

- Viento

$$Fv = 953\,.250\,.10^{-3} = 238{,}25\ N/m$$

-Peso propio

Peso del tubo: $Fpp = Ppt\,.g = 218{,}5\ N/m$

Peso del cable amortiguador: $Fca = \frac{4}{3}\,.26{,}2 = 34{,}9\ N/m$ (Lapwing)

Peso total: $Fp = Fpp + Fca = 253{,}4\ N/m$

-Hielo

Al encontrarse la parcela en zona B a 502 metros de altura utilizaremos un factor 0,18.

$$F_h = 0.18\,.g\,.\sqrt{dext} = 27{,}91\ N/m$$

-Cortocircuito

Se obtiene de la siguiente expresión la fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores puestos de forma paralela (esfuerzos por cortocircuito):

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

Ip: Intensidad de cresta de cortocircuito

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío ($4\,\pi * 10^{-7}$)

a: Distancia media entre conductores de cada fase (5m)

Por lo que se obtiene el siguiente valor al sustituir: $Fs = 570{,}116\ N/m$

Los coeficientes que permiten obtener el esfuerzo dinámico del tubo en cortocircuito se relacionan con la vibración del tubo, función del tubo, vano y apoyos.

$V\sigma$: factor relacionado con el efecto dinámico
Vr: factor relacionado con el reenganche

La frecuencia de vibración del tubo (S/CEI 865):

$$fc = \frac{\gamma \cdot \sqrt{E.J/M}}{l^2}$$

J: Inercia de la sección ($70\ x\ 10^8$)
M: Masa del tubo añadiendo la del cable amortiguador ($\frac{Fp}{g}$ =25,83)
E: Módulo de Young ($5910\ x\ 10^{-8}$)
γ: Coeficiente del tubo y dos apoyos simples (1,57)
l: Longitud de vano en barras principales (20m)

Implementando valores numéricos: fc =1,57

Para proseguir con los cálculos sacamos la relación entre la frecuencia recién obtenida (la de oscilación) y la nominal. $\frac{fc}{50} = 0{,}031$
De manera que ya se pueden obtener los coeficientes y el esfuerzo dinámico.

$$V\sigma = 0{,}756 + 4{,}49\ .\ e^{-1{,}68\ .1{,}6} + 0{,}54\ .\log\ (0{,}119) = 0{,}5621$$

$$Vr = 1 - 0{,}615\ .\log(0{,}119) = 1{,}5625$$

Por lo tanto: $\sigma_m = V\sigma\ .Vr\ .\beta\ .\left(\frac{F_S\ .\ l^2}{8\ .W}\right) = 33{,}509$

Se toma β=1 (S/CEI 865)

A continuación, se presenta la tensión producida por la suma total de esfuerzos en sus direcciones correspondientes, distribuyendo las cargas de manera uniforme.

$$\sigma_i = \frac{P\ .\ l^2}{8\ .W}$$

P: Carga distribuida

l: Longitud del vano

W: Momento resistente

·Tensión total por viento

$$\sigma_v = \frac{238{,}25\ .\ 20^2}{8\ .\ 473} = 25{,}18\ N/mm^2$$

·Tensión total por peso

$$\sigma_p = \frac{253{,}4\ .\ 20^2}{8\ .\ 473} = 23{,}78\ N/mm^2$$

·Tensión por hielo

$$\sigma_h = \frac{27{,}91\ .\ 20^2}{8\ .\ 473} = 2{,}95\ N/mm^2$$

·Tensión total producida

$$\sigma_T = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_v)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 60{,}11\ N/mm^2$$

·Coeficiente de seguridad

$$Coef seguridad = \frac{R_{p02}}{\sigma_T} = \frac{160}{60{,}11} = 2{,}66$$

·R_{p02}: Resistencia a tracción mínima

La norma UNE-EN60865-1 establece una serie de condiciones que se deben cumplir para que el tubo resista frente a las cargas.

1. $\sigma_T \leq q\ .R_{p02}$
   Se toma para el valor del factor de resistencia (q) 1,332 para el tubo de la categoría escogida.
   Se cumple entonces la condición inicial ($\sigma_T \leq 213{,}2$)

2. $\sigma_m + \sigma_v \leq R_{p02}$
   Se satisface de nuevo la condición $(54{,}52 \leq 160)$

2.5.2 Reacciones sobre aisladores soporte

Considerando CEI 865, el doble de la tensión producida en los extremos será la que se produzca en los aisladores encontrados en la posición intermedia.

·Esfuerzo en cortocircuito

$$Fda = V_f \,.Vr\,.F_S = 318{,}59\ N/m$$

Se calcula el coeficiente $Vf = 0{,}29$

·Esfuerzo total sobre la viga

$$F_t = 2\,.l\,.\alpha\,.(Fda + Fv) = 11136{,}958\ N/m$$

Al tratarse de un vano con dos apoyos simples $\alpha = 0{,}5$

El fabricante garantiza el esfuerzo pobre el eje del tubo, situándose 220mm por encima de la cabeza del aislador. Por lo tanto:

$$F_t' = Ft\,.\frac{3150(alturaaislador) + 220\ (pieza)}{3150\ (alturaaislador)} = 12746{,}92$$

El coeficiente de seguridad frente a la carga inferior de rotura con la que trabajará el aislador en sus peores condiciones será:

$$\frac{Carga\ de\ rotura\ a\ flexión}{F_t'} = \frac{16000}{12746{,}92} = 1{,}255$$

2.5.3 Flecha en el tubo

La flecha máxima para un vano:

$$f = \alpha_f\,.\frac{P\,.\,l^4}{E\,.J}\,.100\ (cm)$$

P: fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)

l: longitud del vano (m)

E: Módulo de elasticidad del material (N/mm^2)

J: Momento de inercia de la sección (cm^4)

α_f: factor dependiente del tipo de apoyo (1,3)

La carga a considerar en este caso, es el peso del tubo, el cable amortiguador y el manguito de hielo por lo que implementando los valores: $f = \frac{1{,}3\,.\,(253{,}4+27{,}91)\,.20^4}{70000\,.\,5910}\,.100 = 14{,}14\ cm$

2.5.4 Elongación del embarrado

El tubo del embarrado se dilatará conforme a la siguiente expresión:

$$\mathrm{D}l = l_0\,.\,\alpha\,.\,\mathrm{D}q$$

l_0 : longitud inicial del tubo

α: coeficiente de dilatación inicial del tubo (0,023 mm/ m°C)

Δq : incremento de temperatura entre la de montaje (35°C) y la de servicio (80°C)

En estas condiciones: $\mathrm{D}l = 20\,.\,0.023\,.\,(80-35) = 20{,}7\ mm$

2.5.5 Esfuerzo térmico en cortocircuito

La intensidad térmica en cortocircuito viene dada por la siguiente expresión según CEI 865:

$$I_\theta = I_{cc}\,.\sqrt{m+n}$$

El valor utilizado para los coeficientes térmico será $m = 0{,}097$ y $n = 0{,}758$. Concluyéndose el valor de la intensidad térmica como: $I_\theta = 46{,}23\ kA$

La cantidad obtenida debe ser menor que la capacidad térmica, la cual en este caso, tratándose de un proceso adiabático, cuenta con una densidad de corriente de cortocircuito de 116 $\mathrm{A/mm^2}$.

La capacidad térmica para el tubo es: $S\,.\,\rho = 8259\,.\,116 = 958kA$

El valor obtenido resulta ser bastante mayor, por lo que se cumple la condición.

2.5.6 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido, según fabricante es de 5.014 A con 30 ºC de temperatura ambiente y 65 ºC de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, esta intensidad debe ser corregida con distintos factores en función de la composición del tubo, la altitud, la temperatura máxima de trabajo (Según RAT 5).

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

k1 = 0,925 por la aleación elegida

k2 = 1,25 para temperatura final de 80 ºC

k3 = 1 por ser tubo

k4 = 0,98 para instalación a menos de 1000 m.s.n.m.

0,95 para instalación a más de 1000 m.s.n.m.

Según la citada norma, Imax = In * k1 * k2 * k3 * k4.

Así, Imax = 5.681,5 A, equivalentes con 3.936 MVA, potencia muy superior a la necesaria.

2.6 Cálculo del embarrado secundario

Se utilizará la intensidad de cortocircuito mencionada anteriormente (50kA).

·Intensidad de cresta (S/CEI 909) :

$$Ip = \chi \,.\sqrt{2}\,.Icc = 128{,}29$$

$$\chi = 1{,}02 + 0.98\,.e^{-3R/X} = 1{,}814$$

Siendo R/X la relación entre impedancias en la red de transporte tomándose habitualmente en España con un valor de 0,07.

2.6.1 Tensión en el tubo

Esfuerzos:

- Viento

$$Fv = 953\,.150\,.10^{-3} = 142{,}95\ N/m$$

-Peso propio

Peso del tubo: $Fpp = Ppt\,.g = 94{,}57\ N/m$

Peso del cable amortiguador: $Fca = \frac{2}{3}\,.\ 15{,}68 = 10{,}45\ N/m$ (Rail)

Peso total: $Fp = Fpp + Fca = 105{,}02\ N/m$

-Hielo

Al encontrarse la parcela en zona B a 502 metros de altura utilizaremos un factor 0,18.

$$F_h = 0.18\,.g\,.\sqrt{dext} = 21{,}626\ N/m$$

-Cortocircuito

Se obtiene de la siguiente expresión la fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores puestos de forma paralela (esfuerzos por cortocircuito):

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

Ip: Intensidad de cresta de cortocircuito
μ_0: Permeabilidad magnética ($4\,\pi * 10^{-7}$)
a: Distancia media entre conductores de cada fase (5m)

Por lo que se obtiene el siguiente valor al sustituir: $Fs = 570{,}116\ N/m$

Los coeficientes que permiten obtener el esfuerzo dinámico del tubo en cortocircuito se relacionan con la vibración del tubo, función del tubo, vano y apoyos.

$V\sigma$: factor relacionado con el efecto dinámico
Vr: factor relacionado con el reenganche

La frecuencia de vibración del tubo (S/CEI 865):

$$fc = \frac{\gamma \,.\, \sqrt{E.J/M}}{l^2}$$

J: Inercia de la sección ($70\ x\ 10^8$)
M: Masa del tubo añadiendo la del cable amortiguador ($\frac{Fp}{g} = 91{,}94$)
E: Módulo de Young ($5910\ x\ 10^{-8}$)
γ: Coeficiente del tubo y dos apoyos simples (1,57)
l: Longitud de vano en barras principales (8m)

Implementando valores numéricos: fc =5,957

Relación entre la frecuencia recién obtenida (la de oscilación) y la nominal.
$\frac{fc}{50} = 0{,}119$

De manera que ya se pueden obtener los coeficientes y el esfuerzo dinámico.

$$V\sigma = 0{,}756 + 4{,}49 \,.\, e^{-1{,}68\,.1{,}6} + 0{,}54 \,.\, \log\,(0{,}119) = 0{,}562$$

$$Vr = 1 - 0{,}615 \,.\, \log(0{,}119) = 1{,}5685$$

Por lo tanto: $\sigma_m = V\sigma \,.\, Vr \,.\, \beta \,.\, \left(\frac{F_S \,.\, l^2}{8 \,.\, W}\right) = 29{,}34$

Se toma β=1 (S/CEI 865)

A continuación, se presenta la tensión producida por la suma total de esfuerzos en sus direcciones correspondientes, distribuyendo las cargas de manera uniforme.

$$\sigma_i = \frac{P \,.\, l^2}{8 \,.\, W}$$

P: Carga distribuida

l: Longitud del vano

W: Momento resistente

·Tensión total por viento

$$\sigma_v = \frac{142{,}95 \,.\, 8^2}{8 \;.\; 120} = 9{,}53\ N/mm^2$$

·Tensión total por peso

$$\sigma_p = \frac{105{,}02 \,.\, 8^2}{8 \;.\; 120} = 7\ N/mm^2$$

·Tensión por hielo

$$\sigma_h = \frac{21{,}626 \,.\, 8^2}{8 \;.\; 120} = 1{,}44\ N/mm^2$$

·Tensión total producida

$$\sigma_T = \sqrt{(\,\sigma_m + \sigma_v)^2 + (\,\sigma_p + \sigma_h)^2} = 39{,}77\ N/mm^2$$

·Coeficiente de seguridad

$$Coef seguridad = \frac{R_{p02}}{\sigma_T} = \frac{160}{39{,}77} = 4{,}023$$

·R_{p02}: Resistencia a tracción mínima

La norma UNE-EN60865-1 establece una serie de condiciones que se deben cumplir para que el tubo resista frente a las cargas.

3 $\sigma_T \leq q \,.\, R_{p02}$

Se toma para el valor del factor de resistencia (q) 1,344 para el tubo de la categoría escogida.
Se cumple entonces la condición inicial ($\sigma_T \leq 215{,}04$)

4 $\sigma_m + \sigma_v \leq R_{p02}$

Se satisface de nuevo la condición ($38{,}87 \leq 160$)

2.6.2 Reacciones sobre aisladores soporte

Considerando CEI 865, el doble de la tensión producida en los extremos será la que se produzca en los aisladores encontrados en la posición intermedia.

·Esfuerzo en cortocircuito

$$Fda = V_f \,.\, Vr \,.\, F_S = 564{,}25\ N/m$$

Se calcula el coeficiente $Vf = 0{,}631$, dependiente de la relación fs/f.

·Esfuerzo total sobre la viga

$$F_t = 2 \,.\, l \,.\, \alpha \,.\, (Fda + Fv) = 5657{,}6\ N/m$$

Al tratarse de un vano con dos apoyos simples $\alpha = 0{,}5$

El fabricante garantiza el esfuerzo pobre el eje del tubo, situándose 220mm por encima de la cabeza del aislador. Por lo tanto:

$$F_t' = Ft \,.\, \frac{3150(alturaaislador) + 170\ (pieza)}{3150\ (alturaaislador)} = 5962{,}9\ N$$

El coeficiente de seguridad frente a la carga inferior de rotura con la que trabajará el aislador en sus peores condiciones será:

$$\frac{Carga\ de\ rotura\ a\ flexión}{F_t'} = \frac{8000}{5962{,}9} = 1{,}34\ N$$

2.6.3 Flecha en el tubo

La flecha máxima para un vano:

$$f = \alpha_f \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot J} \cdot 100 \ (cm)$$

P: fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)

l: longitud del vano (m)

E: Módulo de elasticidad del material (N/mm^2)

J: Momento de inercia de la sección (cm^4)

α_f: factor dependiente del tipo de apoyo (1,3)

La carga a considerar es el peso del tubo, el cable amortiguador y el manguito de hielo por lo que implementando los valores: $f = \frac{1{,}3 \cdot (105{,}02+21{,}626) \cdot 8^4}{70000 \cdot 902} \cdot 100 = 1{,}068 \ cm$

2.6.4 Elongación del embarrado

El tubo del embarrado se dilatará conforme a la siguiente expresión:

$$Dl = l_0 \cdot \alpha \cdot Dq$$

l_0 : longitud inicial del tubo

α: coeficiente de dilatación inicial del tubo (0,023 mm/ m°C)

Dq : incremento de temperatura entre la de montaje (35°C) y la de servicio (80°C)

En estas condiciones: $Dl = 8 \cdot 0.023 \cdot (80 - 35) = 8{,}28 \ mm$

Se procederá a la instalación de piezas que permitan sostener dicha dilatación.

2.6.5 Esfuerzo térmico en cortocircuito

La intensidad térmica en cortocircuito viene dada por la siguiente expresión según CEI 865:

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

El valor utilizado para los coeficientes térmico será $m = 0{,}097$ y $n = 0{,}758$. Concluyéndose el valor de la intensidad térmica como: $I_\theta = 46{,}23 \ kA$

La cantidad obtenida debe ser menor que la capacidad térmica, la cual en este caso, tratándose de un proceso adiabático, cuenta con una densidad de corriente de cortocircuito de 116 A/mm^2.

La capacidad térmica para el tubo es: $S \cdot \rho = 3569 \cdot 116 = 414\ kA$

El valor obtenido resulta ser bastante mayor, por lo que se cumple la condición.

2.6.6 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido, según fabricante es de 3.250 A con 30 ºC de temperatura ambiente y 65 ºC de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, esta intensidad debe ser corregida con distintos factores en función de la composición del tubo, la altitud, la temperatura máxima de trabajo (Según RAT 5).

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

k1 = 0,925 por la aleación elegida

k2 = 1,25 para temperatura final de 80 ºC

k3 = 1 por ser tubo

k4 = 0,98 para instalación a menos de 1000 m.s.n.m.

0,95 para instalación a más de 1000 m.s.n.m.

Según la citada norma, Imax = In * k1 * k2 * k3 * k4.

Así, Imax =3.758 A, equivalentes con 2.604 MVA, potencia muy superior a la necesaria.

3. Cálculo de efecto corona

3.1 Cálculo de la tensión disruptiva

Para el cálculo de la tensión crítica disruptiva (Uc) a partir de la cual el efecto corona puede manifestarse, y aplicada a conductores cilíndricos, puede aplicarse la fórmula de Peek:

$$Uc = m_0 \cdot \delta \cdot E_{0f} \cdot R \cdot \ln\left(\frac{D}{R}\right)$$

m_0: coeficiente de irregularidad del conductor que toma el valor de 1 para tubo cilíndrico y liso.

R: radio exterior del tubo en cm

D: distancia media geométrica entre conductores en cm. Dado que se encuentran situados en un mismo plano y partiendo de que estén equidistantes entre si 500 cm:

$$D = \sqrt[3]{2} \,.\, 500 = 629{,}96\ cm$$

Se obtiene un valor de 630 cm tanto para el embarrado principal como para el embarrado secundario.

· Embarrado A: $D = 630\ cm$

· Embarrado B: $D = 630\ cm$

Se realiza a continuación el cálculo de la densidad del aire:

$$\delta = \frac{3{,}92\ .\ H}{273 + ø}$$

H: Presión atmosférica del mercurio en cm

Ø: Temperatura del aire para las condiciones atmosféricas (tratándose de las más desfavorables 45 °C)

La subestación de 400kV se encuentra a una altura inferior a 1000m por lo que se utilizará una densidad para el mercurio 760 mm Hg. Obteniéndose $\delta = 0{,}9368$

Eof = valor eficaz de campo eléctrico crítico para la aparición del efecto corona. Para conductores paralelos el valor máximo de campo viene dado por:

$$E_0 = 30\ .\ m_0\ .\ \delta\ .\left(1 + \frac{0{,}301}{\sqrt{R\ .\ \delta}}\right)\ kV/cm$$

· Para el embarrado principal A: $E_0 = 30{,}58\ kV/cm$

· Para el embarrado secundario B: $E_0 = 31{,}30\ kV/cm$

Se obtiene, a continuación, el valor eficaz:

· Embarrado principal A: $E_{0f} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 21{,}62\ kV/cm$

· Embarrado secundario B: $E_{0f} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = 22{,}132\ kV/cm$

Gracias a los datos obtenidos:

· Embarrado A: $Uc = 1\ .\ 0{,}9368\ .\ 21{,}62\ .\ 12{,}5\ .\ \ln\left(\frac{630}{12{,}5}\right) = 992{,}42\ kV$

·Embarrado B: $Uc = 1 \,.\, 0{,}9368 \,.\, 22{,}132 \,.\, 7{,}5 \,.\, \ln\left(\frac{630}{7{,}5}\right) = 688{,}99 \;\; kV$

Estos cálculos están realizados para buenas condiciones ambientales, sin embargo, en el caso de que hubiera humedad, nieve o tempestad, se deberá multiplicar por un factor de 0,8 con la finalidad de disminuir un 20%.

·Embarrado A: $Uc = 992{,}42 \,.\, 0{,}8 = 793{,}94 \; kV$

·Embarrado B: $Uc = 992{,}42 \,.\, 0{,}8 = 551{,}2 \; kV$

Al encontrarse en el mismo plano los conductores, la tensión en el central deberá disminuirse en un 4% y aumentarse en un 6% en los conductores laterales. La tensión obtenida es lejana a la máxima de la subestación por lo que no se producirá el efecto corona.

4. Determinación de distancias mínimas en embarrados tendidos

Desde el punto de vista de las aproximaciones entre fases que puedan producirse cuando se desplacen de forma simultánea dos conductores contiguos en condiciones de flecha máxima y con viento de 140 km/h, las distancias mínimas se han establecido de la forma que se indica para un vano de las siguientes características:

Longitud del vano	L=47 m
Flecha máxima	3% (1,4 m)
Tipo de conductor	Dúplex Lapwing (ns=2)
Diámetro de conductor	$\text{Ø} = 38{,}16 \text{ mm}$
Sección del conductor	$\text{As} = 361{,}3 \text{ mm}^2$
Peso propio del conductor	$\text{ms} = 2{,}66 \text{ kg/m}$
Módulo de elasticidad	$\text{E} = 70.000 \text{ N/mm}^2$
Distancia entre fases	$\text{a} = 6 \text{ m}$
Longitud media de cadenas	4,5 m
Separación entre conductores de la misma fase	0,40 m
Rigidez de los soportes	$\text{S} = 7{,}5 \,.\, 10^4 \text{ N/m}$
Tiempo de despeje de defecto	$\text{T}_{k1} = 0.5 \text{ seg}$
Intensidad de cortocircuito	$\text{I}_{k3} = 50 \text{ kA}$
Relación R/X del sistema	$\frac{\text{R}}{\text{X}} = 0{,}07$
Tensión máxima	1050 kg a 50 °C (10300,5 N)

4.2 Normativa aplicable

Los cálculos que se realizan a continuación cumplen con la normativa vigente en España referente a este tipo de instalaciones y está basado en las siguientes Normas y Reglamentos:

-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.

-Reglamento técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (RLAT).- Real Decreto 3151/68 de 28 de noviembre de 1968, y modificaciones posteriores.

-Norma CEI 865 de 1986, "Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito".

-Norma UNE EN 60865-1, "Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo".

-Norma CEI 909-1988, "Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica".

-Norma VDE 0102.

-Norma DIN 43670.

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

4.3 Desplazamientos del vano con viento

La presión sobre el conductor debida al efecto del viento, según R.L.A.T., es de 68 kg/m2 (para 140 km/h). Para este caso, y por unidad de longitud, tendremos:

$$Fv = 68 \,.\, 0{,}03816 = 2{,}595 \frac{kg}{m} \; (\, a \; cada \; conductor \; Lapwing)$$

El desplazamiento máximo será:

$$\theta = arctg\left(\frac{Fv}{P}\right) = arctg\left(\frac{2{,}595}{2{,}66}\right) = 44{,}29^{o}$$

$$dmáx = fmáx\,.sen\Theta = 1{,}4\,.sen\,(44{,}29) = 0{,}978$$

En estas condiciones, dada la escasa probabilidad de simultaneidad de viento y sobretensión, la distancia de aislamiento fase - fase para conductores paralelos ya establecida en 3,6 m se puede reducir en un 25 %, por lo que la separación mínima entre conductores en reposo para que sea respetada dicha distancia eléctrica entre fases para los conductores extremos deberá ser de:

$$Dmin = (0{,}75\,.\,3{,}6) + 2\,.\,0{,}97 + 0{,}4 = 4{,}14\,m$$

Distancia inferior a la adoptada que es de 6 m para los conductores tendidos, superior incluso a la distancia teniendo en cuenta sobretensiones simultáneas con viento.

4.4 Efecto en conductores por corrientes de cortocircuito

4.4.1 Dimensiones y parámetros característicos

El esfuerzo debido a un defecto bifásico viene dado por la siguiente expresión:

$$F' = \frac{\mu_0}{2\pi}\,.0{,}75\,.\frac{(I''_{k3})^2}{a}\,.\frac{Ic}{l} = 50{,}53\;N/m$$

lc: longitud de vano sin cadenas

l: longitud total del vano

a: separación entre fases

μ_0: permeabilidad magnética del vacío (4π·10-7 N/A2)

I''_{k3}: Intensidad de cortocircuito trifásico

La proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito vale:

$$r = \frac{F'}{n\,.ms\,.g} = \frac{50{,}53}{2\;.\;2{,}66\,.9{,}81} = 0{,}968$$

n: número de conductores por fase

ms: peso de uno de los conductores

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s2)

La dirección resultante de la fuerza será: $\delta_1 = arctg(r) = 44{,}07^o$

La flecha estática en el conductor tendido vale:

$$bc = \frac{n\,.\,m_s\,.\,g\,.\,l^2}{8\,.\,F_{st}} = \frac{2\,.\,2{,}66\,.\,9{,}81\,.\,47^2}{8\,.\,10350} = 1{,}4\,m$$

F_{st}: fuerza de tracción estática del conductor para el caso más desfavorable, el de flecha máxima a 50 ºC.

Para esta flecha, el período de oscilación vale:

$$T = 2\pi\,.\,\sqrt{0{,}8\,.\frac{bc}{g}} = 2{,}123\;seg$$

El período resultante en caso de cortocircuito vale:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2}.\;(1-\frac{\pi^2}{64}\,.\left(\frac{\delta_1}{90}\right)^2)} = 1{,}869\;seg$$

El módulo de Young real vale, en función de la carga límite del cable (σ_{fin}):

$$E = \begin{cases} E \times \left[0{,}3 + 0{,}7 \times \text{sen}\left(90\frac{F_{st}}{nA_s\sigma_{fin}}\right)\right] & si \quad \frac{F_{st}}{nA_s} \le \sigma_{fin} \\ E & si \quad \frac{F_{st}}{nA_s} > \sigma_{fin} \end{cases}$$

donde, $\sigma_{fin} = 5 \cdot 10^7\ \text{N}/m^2$ (menor valor de la tensión de mecánica del conductor cuanto E llega a ser constante)

As: sección de un conductor

En este caso $\frac{F_{st}}{n\,.\,A_s} < \sigma_{fin}$

Por lo tanto: $E = 3{,}02\,.\,10^{10}\,N/m$

El factor de carga del conductor vale:

$$\xi = \frac{(n \,.\, m_s \,.\, g \,.\, l)}{24 \,.\, F_{st}^3 \,.\, N} = 0{,}76$$

donde N = rigidez del sistema mecánico compuesto, que vale:

$$N = \frac{1}{S \,.\, l} + \frac{1}{n \,.\, E \,.\, A_s} = 3{,}03 \,.\, 10^{-7} \,(\frac{1}{N})$$

El ángulo de oscilación del vano durante el paso, o al fin del mismo, de la corriente de cortocircuito viene dado por la expresión:

$$\delta_k \quad \begin{cases} (1 - \cos(360 \frac{T_{k1}}{T_{res}})) & si \; 0 \le \frac{T_{k1}}{T_{res}} \le 0{,}5 \\ 2\delta_1 & si \; \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0{,}5 \end{cases}$$

En este caso, $\frac{T_{k1}}{T_{res}} = \frac{0{,}5}{1{,}869} = 0{,}268$, con lo que $\delta_k = 48{,}77^o$

El ángulo máximo de oscilación que se puede producir corresponde a una duración de cortocircuito inferior o igual a la duración del cortocircuito establecida Tk1, y se calcula como:

$$\delta_m = \begin{cases} 1{,}25 \arccos \chi & si \quad 0{,}766 \le \chi \le 1 \\ 10^o + \arccos \chi & si \quad -0{,}985 \le \chi \le 0{,}766 \\ 180^o & si \quad \chi \le -0{,}985 \end{cases}$$

con

$$\chi = \begin{cases} 1 - r \,\mathrm{sen}\, \delta_k & si \quad 0 \le \delta_k \le 90^o \\ 1 - r & si \quad \delta_k > 90^o \end{cases}$$

En este caso, δk = 48,91 < 90º, con lo que χ = 0,2704 y δm = 84,31º

4.4.2 Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito

De acuerdo con la norma de referencia, la fuerza de tensión en cortocircuito, para conductores compuestos (haces), se calcula por:

$$Ft = 1{,}1 \,.\, Fst \,.\, (\,1 + \psi \,.\, \varphi)$$

F_{st}:fuerza estática en el conductor.

j : es el parámetro de carga, que tiene en cuenta el esfuerzo combinado de peso y cortocircuito en función del tiempo de despeje frente al período de oscilación del conductor, y vale :

$$\varphi = \begin{cases} 3(\sqrt{1+r^2} - 1) & si \;\; T_{k1} \geq T_{res} / 4 \\ 3(rsen\delta_k + \cos\delta_k - 1) & si \;\; T_{k1} < T_{res} / 4 \end{cases}$$

y : es un parámetro que combina los dos factores de carga, ζ y φ, y que se calcula como una solución real 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 reales a esta ecuación, en función de los parámetros ζ y φ, se encuentran tabulados en la figura 7 de la Norma CEI 865-1.

En este caso, como T_{k1} = 0,5 > Tres/4 = 0,067, φ = 1,17

Y con φ = 1,17, y ξ = 0,76, ψ (de acuerdo con la figura citada) = 0,52

En estas condiciones, $F_t = 1{,}1 \,.\, 10300{,}5 \,.\, (\,1 + 1{,}17 \,.\, 0{,}52) = 18225$ N

4.5 Aproximación de conductores

El valor del desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito:

$$bh = CF\,.CD\,.bC\,.sen\delta_1 \qquad \text{si } \delta m \geq \delta 1$$

$$bh = CF\,.CD\,.bC\,.sen\delta_m \qquad \text{si } \delta m < \delta 1$$

en donde CF es un factor experimental que cubre las variaciones de la curva de equilibrio del cable durante el defecto, y su valor es:

$$C_f = \begin{cases} 1{,}05 & si \quad r \leq 0{,}8 \\ 0{,}97 + 0{,}1\,r & si \quad 0{,}8 \leq r \leq 1{,}8 \\ 1{,}15 & si \quad r \geq 1{,}8 \end{cases}$$

En este caso, con r = 0,968, Cf = 1,067

El factor CD considera los aumentos de la flecha debidos a la elongación elástica y térmica y puede obtenerse por la expresión:

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

La deformación elástica viene dada por:

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

y la deformación térmica:

$$\varepsilon_{th} = \begin{cases} c_{th}\left(\frac{I''_{k3}}{nA_s}\right)^2 T_{res}/4 & si \quad T_{k1} \geq T_{res}/4 \\ c_{th}\left(\frac{I''_{k3}}{nA_s}\right)^2 T_{k1}/4 & si \quad T_{k1} < T_{res}/4 \end{cases}$$

C_{th}: factor de dilatación térmica, que para el cable Lapwing vale 0,27*10^{-18} m^4/A^{2}s, debido a que: Sección Al / Sección acero > 6.

$$\varepsilon_{ela} = 24{,}01 \,.\, 10^{-4} m$$

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

Entonces, $C_d = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \,.\, (\frac{47}{1{,}4})^2 . (24{,}01 \,.\, 10^{-4} \,.1{,}02 \,.\, 10^{-4}\,)} = 1$

Se cumple que si $\delta m > \delta 1$ (84,31°> 44,07°), por lo tanto:

$$bh = 1{,}067 \,.\, 1 \,.\, 1{,}4 \,.\, sen\,(44{,}07°) = 1{,}4\, m$$

4.6 Distancia mínima

Distancia mínima entre conductores de cortocircuito:

$$D = a - bh \,.\, 2 - 0{,}4 = 6 - 1{,}4 \,.\, 2 - 0{,}4 = 2{,}8\, m$$

Es por lo tanto apropiada la dimensión de 20 m de anchura de calle y la de separación entre conductores, 6 m, para cumplir los requisitos de aislamiento permanente y temporal, en los casos más desfavorables y para la configuración propuesta, dado que estamos muy por encima de los 1,55 m de distancia de aislamiento temporal recomendada por la CIGRE.

4.7 Distancias mínimas a adoptar

En base a lo anteriormente expuesto y teniendo en cuenta lo que al respecto se indica en la MIE-RAT 12 e IEC-71 se proponen las siguientes distancias mínimas que deberán ser respetadas en la presente subestación:

DISTANCIAS FASE TIERRA

Conductor - estructura	2,60 m
Punta - estructura	3,40 m

DISTANCIAS FASE-FASE

Conductores paralelos	3,60 m
Punta conductor	4,20 m

5. Selección de autoválvulas

El criterio de selección será el siguiente:

-Tensión de funcionamiento continuo: dependerá del límite de tensión al que podrá estar sometido el material, y es el valor eficaz máximo al que se puede someter de manera prolongada.

$$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

Por lo tanto, $U_c \geq 242{,}5kV$

-Tensión asignada: está sujeto al valor k, el cual tendrá el valor 1,4 al estar puesto rígidamente a tierra. Es la tensión máxima a la que podrá estar sometida la autoválvula en un corto periodo de tiempo sin cebarse.

$$U_R \geq k \,.\, \frac{U_M}{\sqrt{3}} \,.\, (\frac{T}{10})^{0{,}02}$$

Conociendo el valor de la duración máxima de la falta en segundos (0,5s), obtenemos $U_R \geq 319{,}74$

-Clase de descarga de la línea: representa la corriente máxima a la que puede estar sometido el pararrayos sin que se causen daños o se pierda protección.

La clasificación siguiendo UNE-EN 60099-4 es la siguiente:

Tensión nominal del Sistema	Tensión máxima del Sistema	Clasificación de Autoválvulas					
		5 kA	10 kA			20 kA	
			Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Un ≤ 66 kV	Us ≤ 72,5 kV	X	X	X			
66 < Un ≤220 kV	72,5 < Us ≤ 245 kV			X	X		
220 < Un≤380 kV	245 < Us ≤ 420 kV				X	X	
Un > 380 kV	Us > 420 kV					X	X

Figura 2: Clasificación de descarga de línea

Los pararrayos a utilizar podrán ser de clase 4 o 5, y tendrán una intensidad de descarga de 20kA. Finalmente se escogerá del proveedor ABB, el modelo PEXLIM P420.

Tendrá una tensión residual de 823kV, obtenemos la máxima distancia entre equipos.

Se utilizará un valor de margen de protección de 15% bajo normativa IEC y del 20% bajo normativa ANSI, cogemos por tanto la más restrictiva. Y entonces $U_p \leq 1187{,}5$

Obtenemos una la distancia máxima entre los equipos y el parrayos:

$$L = \frac{\frac{NA}{MP} - NP}{2\,.\,S}\,.V = 54{,}67m$$

Na: nivel de aislamiento de aquello que queremos proteger

Np: nivel de aislamiento del pararrayos

S: pendiente de onda de sobretensión (1000kV/µs)

V: velocidad de la onda (300m/ µs)

6. Red de tierras inferiores

Para el cálculo de la red de tierras se tendrán en cuenta los valores máximos de tensiones de paso y contacto que establece el reglamento de Centros de Transformación, en su artículo MIE-RAT 13, así como la norma IEEE-80-2000: "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

VALOR DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Se considera como valor de la resistividad del terreno, a efectos de cálculo, 300 Ω·m, debido a que predomina la pizarra alternando con areniscos, grauwackas y calizas.

Naturaleza del terreno	Resistividad en ohmios.m.
Terrenos pantanosos.	de algunas unidades a 30
Limo.	20 a 100
Humus.	10 a 150
Turba húmeda.	5 a 100
Arcilla plástica.	50
Margas y arcillas compactas.	100 a 200
Margas del jurásico.	30 a 40
Arena arcillosa.	50 a 500
Arena silícea.	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped.	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo.	1500 a 3000
Calizas blandas.	100 a 300
Calizas compactas.	1000 a 5000
Calizas agrietadas.	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo.	800
Granitos y gres procedentes de alteración.	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados.	100 a 600
Hormigón.	2000 a 3000
Basalto o grava.	3000 a 5000

Figura 3: Resistividad del terreno según su naturaleza

TENSIONES DE PASO Y CONTACTO MÁXIMAS ADMISIBLES

Los datos utilizados para el cálculo de la red de tierras para la subestación de 400 kV son:

Tiempo de despeje de la falta (t):	0,5 s.
Intensidad de falta monofásica a tierra:	20 kA.
Resistividad de la capa superficial (grava) (ρs):	300 Ω·m.

Según el MIE-RAT 13, las tensiones de paso y contacto máximas admisibles aplicadas son:

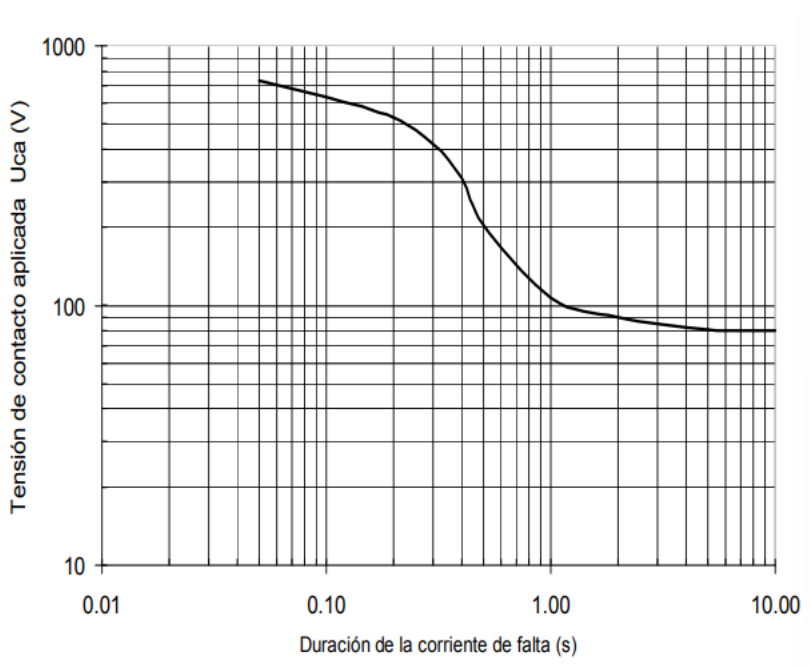


Figura 4: Tensión de contacto aplicada según la duración de falta

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

Figura 5: Tensión de contacto aplicada según la duración de falta (tabla)

$$U_{ca} = 204\ V$$

$$U_{pa} = 2040\ V$$

Por lo tanto, siguiendo la norma ITC-RAT 13, las tensiones máximas admisibles en la subestación serán:

Tensión de contacto: $U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1{,}5 \cdot \rho_s}{1000}\right) = 588\ V$

Tensión de paso: $U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{1000}\right) = 1632\ V$

Donde ρ_s es la resistividad del suelo, como mencionado anteriormente, y R_{a1} es el valor de la suela del zapato de una persona que anduviera en la subestación suele tomar el valor de 2000Ω.

Según la norma IEE-80-2013 se pueden calcular los valores para una persona (70kg de peso):

Siendo C_s el factor de reducción,: $C_s = 1 - \frac{0.09 \cdot (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \cdot h_s + 0{,}09}$

$$E_{paso} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{contacto} = (1000 + 1{,}5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

ρ: resistividad del terreno (Ω·m) = 300 Ω·m

ρs: resistividad de la gravilla (Ω·m) = 3000 Ω·m

hs: espesor capa de gravilla (m) = 0,1 m

Con lo que:

$$C_s = 0{,}72$$

$$E_{paso} = 2290{,}12\ V$$

$$E_{contacto} = 695{,}567\ V$$

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Para calcular la resistencia de la red de tierra se utiliza la siguiente expresión:

$$R_g = \rho \cdot \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right) = 0{,}8814\Omega$$

donde:

ρ: resistividad del terreno (Ω·m) = 300 Ω·m

L: Longitud total de conductor enterrado (m) = 8042,39 m

h: Profundidad de enterramiento del conductor (m) = 0,8 m

A: Superficie ocupada por la malla (m^2) =24700 m^2

Se ha considerado la malla compuesta por cable de Cu de 120 mm^2 con un diámetro de 0,0143 mm. Las retículas que conforman la malla serán de 6mx6m, obteniendo una longitud total de 8042,39m que ocupará la superficie total de la subestación 24700 m^2.

INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA

El valor tomado de la intensidad monofásica de cortocircuito para la subestación es de 20 kA.

El MIE-RAT 13 establece una reducción de un 30% de ese valor al tener neutro rígido a tierra en la instalación. De acuerdo con la IEEE-80-2000 se puede aplicar un factor de reducción Sf en función de los caminos de retorno adicionales que suponen los hilos de guarda de las líneas de distribución y de transmisión que llegan a la subestación.

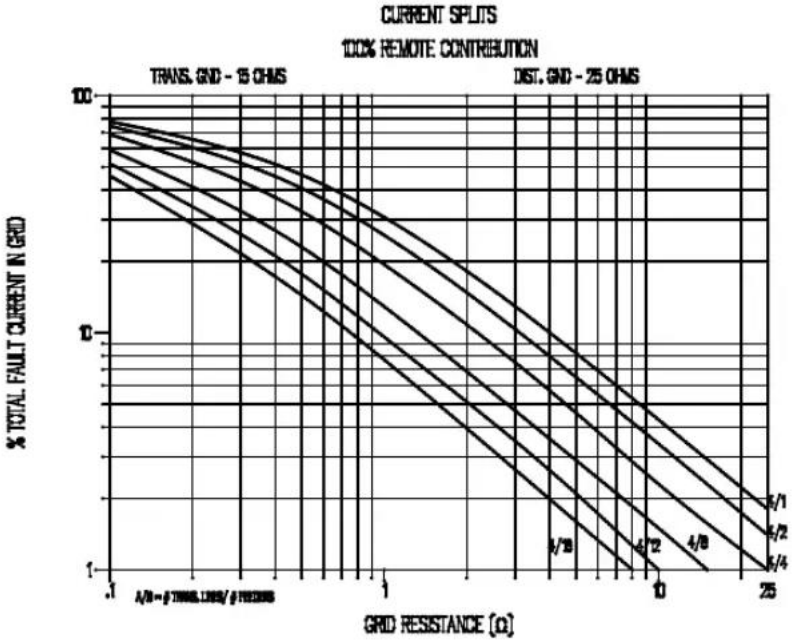


Figura 6: Corriente de falta frente a resistencia

Debido a que en la subestación hay 5 líneas se opta por un 100% de contribución remota y un 0% local.

Con el objetivo de determinar la reducción, se dispondrá del gráfico anterior, partiendo de la resistencia de puesta a tierra (Rg) y el número de líneas de transmisión y distribución.

Se escogerá el valor de resistencia a tierra de 15Ω frente al de 100Ω, debido a que es el más habitual, a través del gráfico y debido al valor de 0,8814, escogemos a la curva que representa que hay 4 líneas de transmisión y una línea de distribución procedente de la generación y se obtiene un factor del 35%.

Por tanto, la intensidad total disipada a tierra por la malla: $I_g = 20000\,.\,0{,}7.\,0{,}35 = 4{,}9kA$

EVALUACIÓN DE LAS TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO

Utilizando el estándar IEEE 80, se pueden calcular unos valores previstos de tensiones de paso y contacto para unos determinados niveles de falta, y para un diseño previo de la malla de red de tierras.

Los datos iniciales utilizados para el cálculo han sido:

ρ: resistividad del terreno (Ω·m) = 300 Ω·m

D: espaciado entre conductores (m)= 6m

H: profundidad del conductor enterrado=8m

d: Diámetro del conductor=0,0143m

L: longitud del conductor enterrado=8042,39m

Ig: intensidad de defecto= 4,9kA

Partiendo de los valores indicados, e introducidos en las fórmulas desarrolladas en el estándar IEEE 80, se obtienen los siguientes valores intermedios:

$$K_h = \sqrt{1+h} = 1{,}3416$$

$$n_a = \frac{2\,.\,L_c}{L_p} = 24{,}08$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\,.\sqrt{A}}} = 3{,}577$$

$$n_c = \left[\frac{L_x\,.\,L_y}{A}\right]^{\frac{0.7\,.\,A}{L_x\,.\,L_y}} = 1{,}068$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} = 0{,}946$$

$$n = n_a \,.\, n_b \,.\, n_c \,.\, n_d = 87$$

$$K_i = 0{,}644 + 0{,}148 \,.\, n = 16{,}13$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} = 0{,}888$$

L_c: longitud del conductor de la malla =8042,39 m

L_p: longitud del perímetro de la malla = 667,96 m

L_x: longitud máxima de la malla en la dirección x =187,68 m

L_y: longitud máxima de la malla en la dirección y = 146,3 m

D_m: máxima distancia entre dos puntos en la malla =225,17 m

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \,.\, \left[Ln\left(\frac{D^2}{16h \,.\, d} + \frac{(D+2h)^2}{8D \,.\, d} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \,.\, Ln\left(\frac{8}{\pi \,.\, (2n-1)} \right) \right] = 0{,}845$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \,.\, \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} \,.\, (1 - 0{,}5^{n-2}) \right] = 0{,}2988$$

De acuerdo con la IEEE-80-2000, la fórmula que permite obtener el valor de la tensión de contacto es:

$$E_{contacto} = \rho \,.\, K_m \,.\, K_i . \frac{I_g}{L} = 2491{,}4V$$

Y la fórmula que permite obtener la tensión de paso:

$$E_{paso} = \rho \,.\, K_s \,.\, K_i . \frac{I_g}{L} = 882{,}5$$

Los valores obtenidos son menores que los valores límite tanto de la IEEE-80-2000 como de la MIE-RAT13.

<u>CONDUCTOR</u>

Para determinar la sección mínima del conductor se utiliza la expresión que indica el estándar IEEE 80, para conductores de cobre:

$$A = I \,.\, \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \,.\, 10^{-4}}{t_c \,.\, \alpha_r \,.\, \rho_r} \right) \,.\, \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}} = 7{,}15 mm^2$$

I: Mitad de la intensidad de falta a tierra =2,45 kA

tc: Tiempo máximo de falta = 0,5 s

Tm: Temperatura máxima que pueden alcanzar el conductor y las uniones = 300 ºC

Ta: Temperatura ambiente = 40 ºC

TCAP: Capacidad Térmica del conductor = 3,42 J/cm3·ºC

α_r: coeficiente térmico de resistividad a 20 ºC= 0,00381 1/ºC

ρ_r: resistencia del conductor a 20 ºC= 1,78 μΩ . cm

K_0: inversa del coeficiente Térmico de resistividad a 0 ºC= 242

A: Sección mínima del conductor (mm2)

Los valores se pueden encontrar en la tabla 1 de IEE-80-2000.

La sección mínima necesaria es mucho menor que los 120 mm2 del cable de Cu que se va a utilizar, por lo que no habría problemas. Se utiliza este cable por ser el normalizado de Red Eléctrica.

Por otro lado, la densidad de corriente máxima que puede soportar el cable de Cu es de 192 A/mm2. Entonces para el cable de 120 mm2 la máxima intensidad que puede circular es de:

Imax = 2·192·120 = 46 kA.

Este valor es mucho mayor que la mitad de la corriente de falta a tierra, que era de 4,5 kA. Se utiliza la mitad del valor, ya que el diseño de la malla se establece de forma que en cada punto de p. a t. llegan al menos dos conductores.

CONCLUSIONES

Se puede concluir entonces, que el diseño de la malla se puede considerar válido ya que las tensiones de paso y de contacto se encuentran por debajo de las tensiones permitidas por MIE-RAT 13 e IEEE-80-2000.

De todas formas, se medirán de forma práctica los valores de las tensiones de paso y contacto, una vez construida la Subestación, para asegurarse de que no hay peligro en ningún punto de la instalación.

7. Red de tierras superiores

El cometido del sistema de tierras superiores es la captación de las descargas atmosféricas y su conducción a la malla enterrada para que sean disipadas a tierra sin que se ponga en peligro la seguridad del personal y de los equipos de la subestación.

El sistema de tierras superiores consiste en un conjunto de hilos de guarda y/o de puntas Franklin sobre columnas. Estos elementos están unidos a la malla de tierra de la instalación a través de la estructura metálica que los soporta, que garantiza una unión eléctrica suficiente con la malla.

Para el diseño del sistema de protección de tierras superiores se ha adoptado el modelo electro geométrico de las descargas atmosféricas y que es generalmente aceptado para este propósito.

El criterio de seguridad que se establece es el de apantallamiento total de los embarrados y de los equipos que componen el aparellaje, siendo este criterio el que establece que todas las descargas atmosféricas que puedan originar tensiones peligrosas y que sean superiores al nivel del aislamiento de la instalación, deben ser captadas por los hilos de guarda.

Este apantallamiento se consigue mediante una disposición que asegura que la zona de captación de descargas peligrosas de los hilos de guarda y de las puntas Franklin contiene totalmente a la correspondiente a las partes bajo tensión.

La zona de captura se establece a partir del radio crítico de cebado (r) y que viene dado por la siguiente expresión:

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

Donde: $I = 1{,}1 \,.\, U \,.\, N/Z$

U: tensión soportada a impulsos tipo rayo (1425kV)

N: número de líneas conectadas a la subestación (5)

Z: Impedancia característica de las líneas (400Ω)

Por lo que, $I = 19{,}59\ kA$

Entonces, $r = 55{,}33m$

El radio crítico (r en la figura 7) de 55,33 m con centro en las puntas Franklin, en el centro en los amarres de los hilos de guarda y en su punto más bajo, cuyo emplazamiento se refleja en los planos correspondientes, garantiza el apantallamiento total de la instalación.

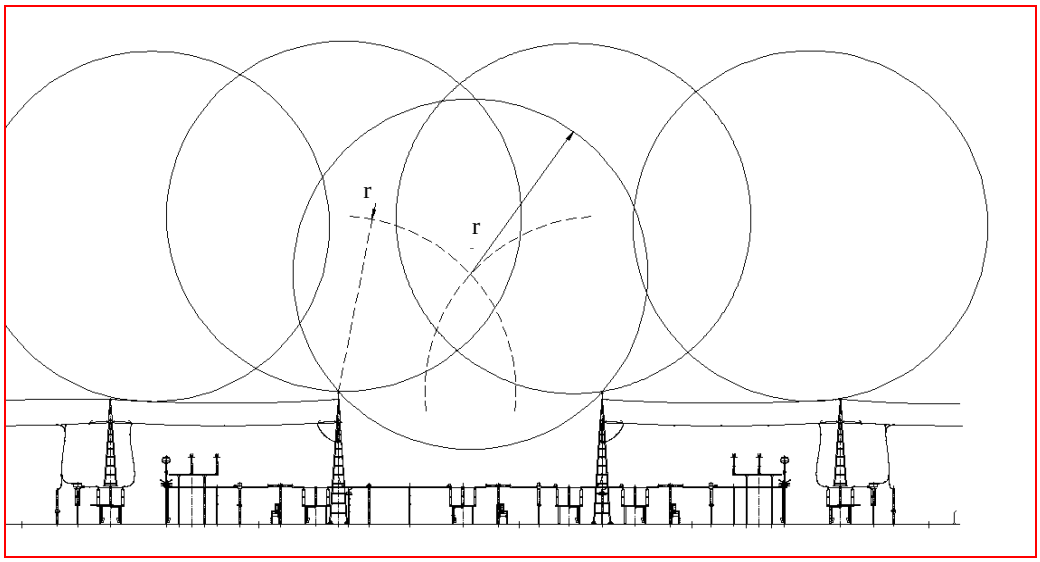


Figura 7: Alzado con los radios críticos

3. Estudio económico

En este apartado se estudiará la rentabilidad de la subestación eléctrica considerando que será necesaria una inversión inicial de 7.410.571€, dato obtenido del Documento de presupuesto.

La empresa encargada de la misma se trata de una empresa privada, por lo cual se obtendrán subvenciones del Estado. Las presentadas a continuación:

·Se recibirá por posición convencional equipada en un parque de 400kV,50kA: 1.043.909€

·Se recibirá por posición de reserva convencional sin equipar: 41,4% del precio unitario correspondiente.

Se contará con 8 posiciones de interruptor y 4 posiciones de interruptor de reserva por lo que se calcula la rentabilidad sin mantenimiento:

$$Subvención\ recibida = 8\,.\,(\,1.043.909) + 4\,.\frac{41{,}4}{100}\,.\,(\,1.043.909) = 10.079.985{,}3$$

$$Rentabilidad = \frac{10.079.985{,}3 - 7.410.571}{7.410.571}\,.\,100 = 36\%$$

4. Anejos

·Interruptor

Datos técnicos según IEC
(Datos generales, pueden existir desviaciones)

		LTB 72,5D1/B	LTB 145D1/B	LTB 170D1/B	LTB 72,5E1	LTB 170E1	LTB 245E1	LTB 420E2	LTB 550E2	LTB 800E4
Número de cámaras de corte por polo		1	1	1	1	1	1	2	2	4
Tensión nominal	kV	72,5	145	170	72,5	170	245	420	550	800
Frecuencia nominal	Hz	50/60	50/60	50/60	50 60	50 60	50 60	50 60	50 60	50
Nivel soportado a la frecuencia industrial [1]										
- A tierra y entre fases	kV	140	275	325	140	325	460	520	620	830
- A través de polo abierto	kV	140	275	325	140	325	460	610	800	1150
Nivel soportado a impulso tipo atmósferico (LIWL)										
- A tierra y entre fases	kV	325	650	750	325	750	1050	1425	1550	2100
- A través de polo abierto	kV	325	650	750	325	750	1050	1425 (+240)	1550 (+315)	2100 (+455)
Nivel soportado a impulsos tipo operación (SIWL)										
- A tierra/entre fases	kV	-	-	-	-	-	-	1050/1575	1175/1760	1550/2480
- A través de polo abierto	kV	-	-	-	-	-	-	900 (+345)	900 (+450)	1175 (+650)
Corriente nominal de servicio	A	3150	3150	3150	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Corriente nominal de servicio en cortocircuito	kA	40	40	40	50 40	50 40	50 40	50 40	50 40	50
Factor de primer polo		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3
Cresta de corriente de cierre	kA	100/104	100/104	100/104	125 104	125 104	125 104	125 104	125 104	125
Duración de cortocircuito	s	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tiempo de cierre	ms	< 40 [2]	< 40 [2]	< 40 [2]	< 55	< 55	< 55	< 70	< 70	< 65
Tiempo de apertura	ms	22 [2]	22 [2]	22 [2]	17	17	17	18	18	20
Tiempo de corte	ms	40 [2]	40 [2]	40 [2]	40	40	40	40	40	40
Tiempo muerto	ms	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Secuencia de operación nominal	-	O-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO								

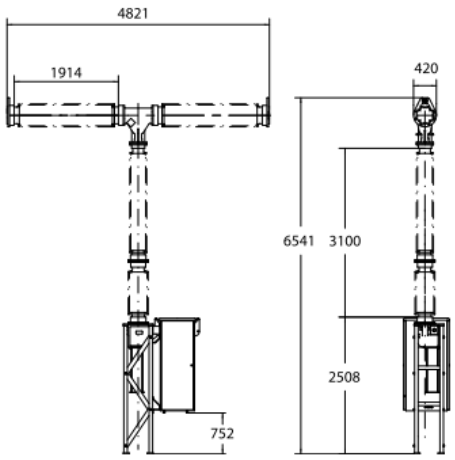
Dimensiones — LTB E

LTB 420E2
Operación monopolar
Tensión nominal: 362 - 420 kV
Todas las dimensiones en mm

Dimensiones disponibles para distancias de fase y alturas hasta la parte inferior del aislador (mm)

Tensión nominal	Altura hasta la parte inferior del aislador				
420 kV	1950	2508*)	2992	3642	4142

*) Estándar



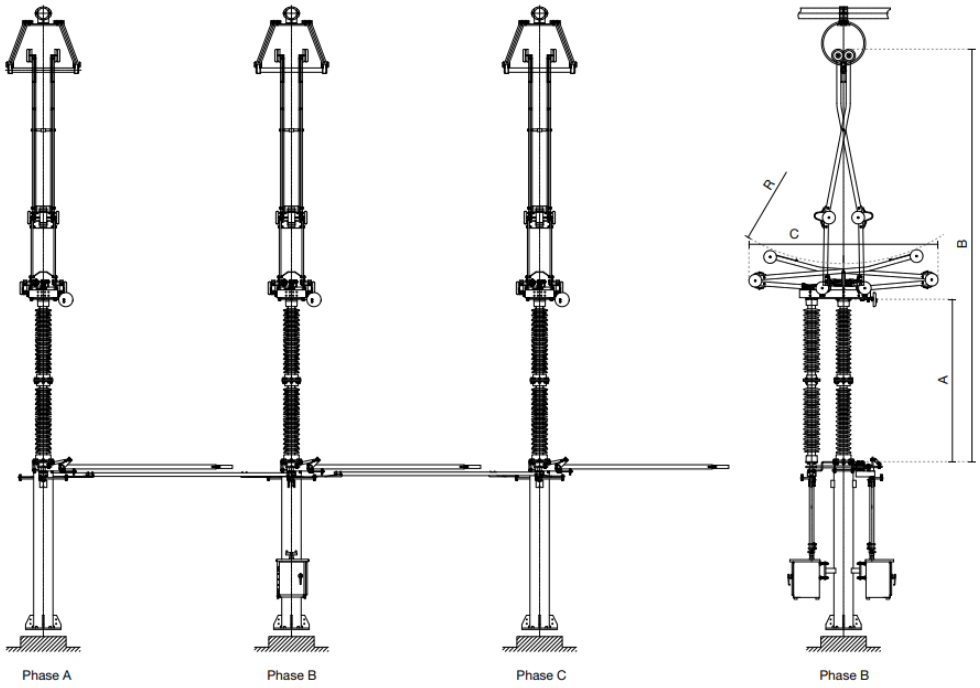
·Seccionador de barras

Technical data – GW54

Disconnector without earth switch Disconnector with one earth switch		Units						
Rated voltage		kV	126	145				
Rated current		A	upto 4000	upto 4000	upto 4000	upto 4000	upto 4000	upto 5000
Rated peak withstand current for disconnector and earth switch		kA(peak)	100	100	125	125	160	160
Rated short time withstand current for disconnector and earth switch		kA (rms)	40	40	50	50	63	63
Rated power frequency withstand voltage at 50 Hz for 1 min	To earth and between phases	kV(rms)	230	275	460	460	560	740
	Across the isolating distance	kV(rms)	265	315	530	606	750	740+315
Rated lightning impulse withstand voltage (1.2/50µs)	To earth and between phases	kV	550	650	1050	1050	1425	1675
	Across the isolating distance	kV	630	750	1200	1250	1425+240	1675+450
Rated switching impulse withstand voltage	To earth	kV	-	-	-	850	1050	1300
	Across the isolating distance	kV	-	-	-	700+245	900+345	1175+450
Resistance of circuit		µΩ	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100
Radio interference voltage		µV	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000	≤2000

Other values on request

Hitachi Energy



Dimensions - GW54

	126 kV	145 kV	252 kV	300 kV	420 kV	550 kV
A	1220	1500	2300	2900	3350	4400
B	3956	4236	5825	6425	8258	10726
C	2235	2235	2668	2668	3940	4965
R	1650	1650	2550	2550	3200	4550

All dimensions are in mm.

·Seccionador de línea

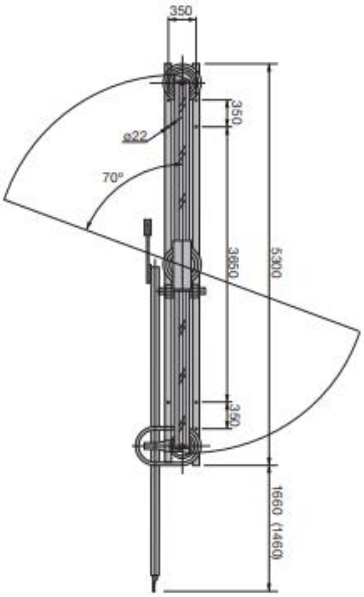
Referencia	Peso	Referencia	Peso	Tensión Nominal	Intensidad Nominal	Tensión de ensayo						Intensidad de corta duración (Valor eficaz)	Valor cresta de la intensidad	Tipo de aislador
						A tierra y entre polos			Sobre la distancia de seccionamiento					
						A frecuencia industrial bajo lluvia	A impulso tipo rayo	A impulso tipo maniobra	A frecuencia industrial bajo lluvia	A impulso	A impulso tipo maniobra			
	kg		kg	kV	A	kV	kV	kV	kV	kV	kV	(RMS)		
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

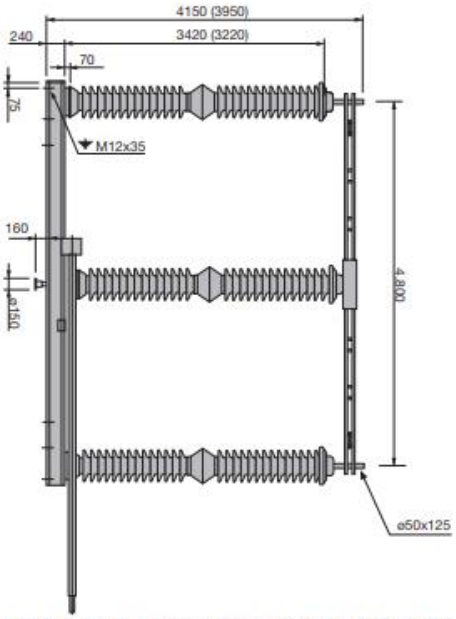
Generalidades

SG3C









Las medidas entre paréntesis, corresponden a aislador C6 ó C8-1425.

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 linea 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 posicion. 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).

·Transformador de intensidad

Aislamiento de papel-aceite > Modelo CA

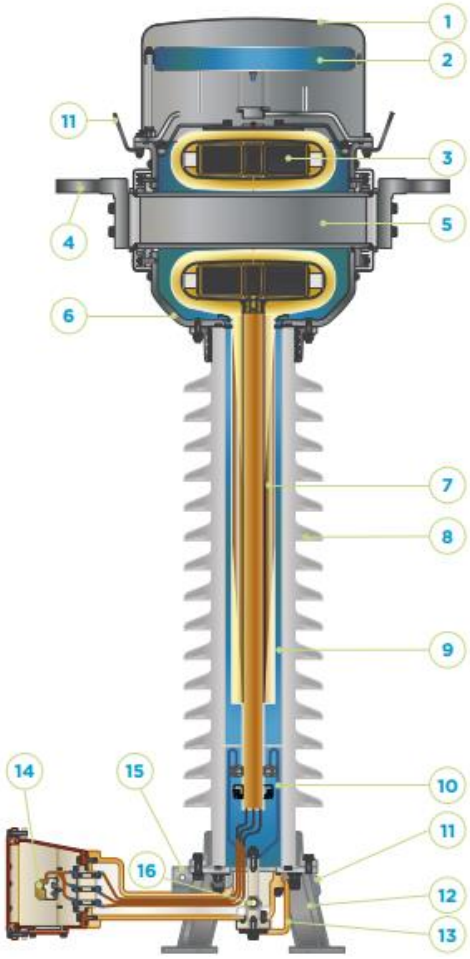
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1350	1750	220
CA-52	52	95	250	-	1300	350	1350	1750	220
CA-72	72.5	140	325	-	1825	350	1350	1750	220
CA-100	100	185	450	-	2500	350	1350	1750	220
CA-123	123	230	550	-	3075	350	1785	2230	265
CA-145	145	275	650	-	3625	350	1785	2230	265
CA-170	170	325	750	-	4250	350	1945	2390	305
CA-245	245	460	1050	-	6125	350	2590	2975	375
		395	950						
CA-300	300	460	1050	850	7500	450	3070	3455	600
CA-362	362	510	1175	950	9050	600	4015	4495	1090
CA-420	420	630	1425	1050	10500	600	4015	4495	1090
		575	1300						
CA-525	550	680	1550	1175	13125	600	4525	5195	1150
CA-550	550	800	1800	1175	13750	600	5205	5960	1700
CA-765	800	880	1950	1425	15300	600	5720	6650	2250
		975	2100	1550					

SERIE CA

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



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



·Transformador de tensión capacitivos

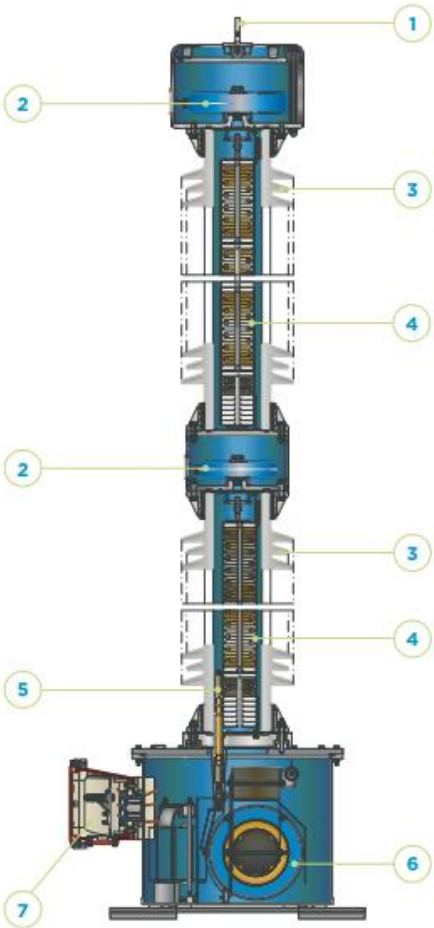
Transformadores de tensión capacitivos

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

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



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



Transformadores de Medida | Alta Tensión

Aisladores

4.1.1 AISLADORES DE SOPORTE EXTERIOR CON HERRAJES EXTERNOS
OUTDOOR POST INSULATORS WITH EXTERNAL METAL PARTS

TENSIÓN NOMINAL MÁXIMA DE 245 A 420 kV
MAXIMUM NOMINAL VOLTAGE 245 A 420 kV

Según CEI 60273. *According to IEC 60273.*

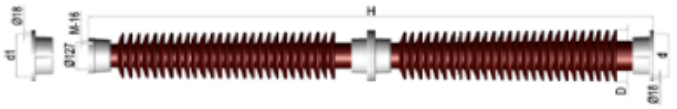
CARACTERISTICAS TÉCNICAS / *TECHNICAL SPECIFICATIONS*

Vidriado color marrón o gris
Brown or grey glazed

Herrajes: Fundición maleable galvanizada en caliente.
Fittings: Cast iron hot dip galvanized.

Montaje: Hasta 80 °C - cemento Sulfuroso
Cementing: Up to 80 °C Sulphur cement
Montaje: Hasta 150 °C - cemento Portland
Cementing: Up to 150 °C Portland cement

Ensayos según CEI 60168v
Tests according to IEC 60168



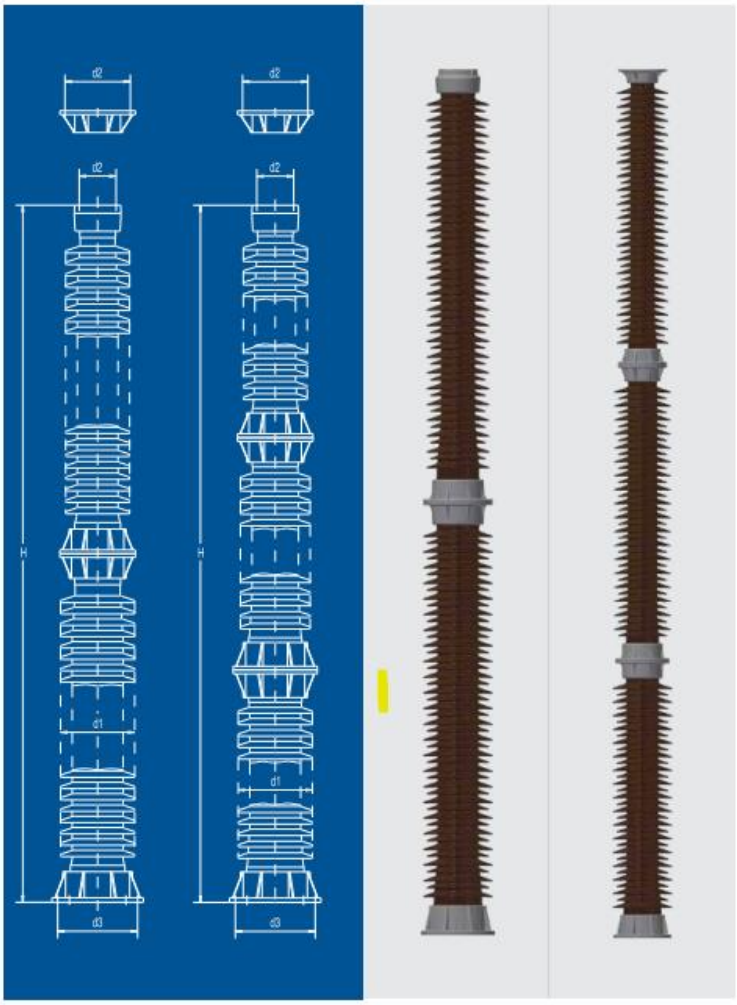
DESIGNACION / *REFERENCE*		C4-1050	C6-1050	C8-1050	C10-1050	C8-1425	C8-1550
Línea de fuga mínima según nivel de polución CEI 60815 (mm.) *Minimum creepage distance according to pollution level IEC 60815 (mm.)*	I	3920	3920	3920	3920	6720	6720
	II	4900	4900	4900	4900	8400	8400
	III	6125	6125	6125	6125	10500	10500
	IV	7595	7595	7595	7595	13020	13020
DIMENSIONES / *DIMENSIONS*							
Altura del aislador montado *Height of the post insulator once assembled*	H mm	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	3150±4,5	3350±4,5
Diámetro máximo parte aislante *Maximum diameter of insulating part*	D mm	450	450	450	450	450	450
Diámetro Círculo de fijación *Bolt circle*	d1 mm	•	225	225	225	225	225
Diámetro Círculo de fijación *Bolt circle*	d mm	200	225	254	275	275	275
DATOS ELECTRICOS / *ELECTRICAL VALUES*							
Tensión nominal / máxima *Nominal voltage /maximum voltage*	- kV	245	245	245	245	420	420
Tensión soportada al choque *Lightning impulse withstand voltage*	- kV	1050	1050	1050	1050	1425	1550
Tensión sop. al choque de maniobra bajo lluvia (kV) *Switching impulse withstand voltage wet (kV)*	- kV	750	750	750	750	950	1050
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz *Power frequency withstand voltage, wet* 50Hz	- kV	460	460	460	460	•	•
DATOS MECANICOS / *MECHANICAL VALUES*							
Mínima carga de rotura a Flexión *Minimum bending failing load*	- N	4000	6000	8000	10000	8000	8000
Mínima carga de rotura a la Torsión *Minimum bending failing load*	- N	3000	3000	4000	4000	4000	4000

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

Higher mechanical strength possible on customer request!

Will be offered as two unit column

IEC POST INSULATOR DESIGNATION	C4-1425	C6-1425	C8-1425	C10-1425	C12.5-1425	C16-1425	C20-1425
Dimensions							
Height H [mm]	3150 ± 4.5	3150 ± 4.5	3150 ± 4.5	3150 ± 4.5	3150 ± 4.5	3150 ± 4.5	3150 ± 4.5
Max. nom. diameter of insulating part d1 [mm]	260	280	290	310	325	325	330
Top fitting p.c.d. d2 [mm] / hole pattern	127/4x M16 225/4x18	127/4x M16 225/4x18	127/4x M16 225/4x18	127/4x M16 225/4x18	127/4x M16 225/4x18 254/8x18	225/4x18 254/8x18	225/4x18 254/8x18
Bottom fitting p.c.d. d3 [mm] / hole pattern	225/4x18	254/8x18	275/8x18	300/8x18	325/8x18	356/8x18	356/8x18
Mechanical Values							
Minimum failing load - Bending [kN]	4	6	8	10	12.5	16	20
Minimum failing load - Bending moment underhung [kNm]	2.52	3.78	5.04	6.3	7.88	10.08	12.6
Minimum failing load - Bending moment upright [kNm]	12.6	18.9	25.2	31.5	39.38	50.4	63
Minimum failing load - Torsion [kNm]	3	3	4	4	6	6	6
Electrical Values							
Lightning impulse withstand voltage, dry [kV peak value]	1425	1425	1425	1425	1425	1425	1425
Switching impulse withstand voltage, wet [kV peak value]	950	950	950	950	950	950	950



Autoválvulas pararrayos

Gama de productos

Familia de productos	Clasificación de descargadores [1]	Modelo	Tensión de red máxima [2] U_m kV_{rms}	Tensión nominal [2] U_r kV_{rms}	Requisitos energéticos/ Intensidad de descarga eléctrica	Resistencia mecánica [3] Nm
PEXLIM - Descargadores con revestimiento de polímero de silicona Excelentes para aplicaciones con requisitos de bajo peso, espacios reducidos, montaje flexible, robustez y seguridad adicional del personal Componente principal del concepto PEXLINK™ para protección de líneas de transporte de energía.	10 kA, IEC clase 2	PEXLIM R	24 - 170	18 - 144	Moderada	1 600
	10 kA, IEC clase 3	PEXLIM Q	52 - 420	42 - 360	Alta	4 000
	20 kA, IEC clase 4	PEXLIM P	52 - 420	42 - 360	Muy alta	4 000

Zinc-Oxide Surge Arrester PEXLIM P

Protection of switchgear, transformers and other equipment in high voltage systems against atmospheric and switching overvoltages.

- in areas with very high lightning intensity
- where grounding or shielding conditions are poor or incomplete
- for important installations
- where energy requirements are very high (e.g. very long lines, capacitor protection).

Superior where low weight, reduced clearances, flexible mounting, non-fragility and additional personnel safety is required.

Major component in PEXLINK™ concept for transmission line protection.



Brief peformance data

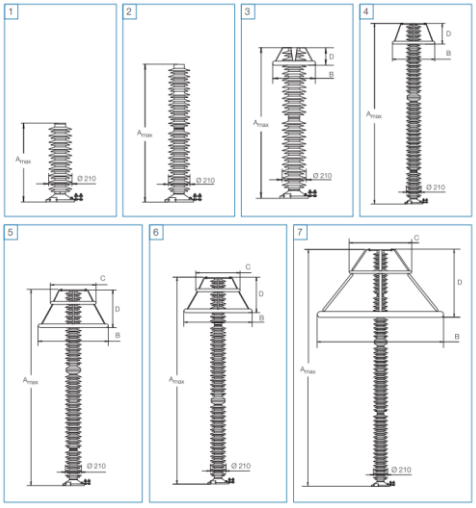
System voltages (U_{ss})	52 - 420 kV
Rated voltages (U_r)	42 - 360 kV
Nominal discharge current (IEC)	20 kA_{peak}
Classifying current (ANSI/IEEE)	15 kA_{peak}
Discharge current withstand strength:	
High current 4/10 µs	100 kA_{peak}
Low current 2000 µs	1 500 A_{peak}
Energy capability:	
Line discharge class (IEC)	Class 4
[2 impulses, (IEC Cl. 8.5.5)	12.0 kJ/kV (U_r)]
Fulfils/exceeds requirements of ANSI transmission-line discharge test for 362 kV systems.	
Short-circuit / Pressure relief capability	65 kA_{sym}
External insulation	Fulfils/exceeds standards
Mechanical strength:	
Specified continuous load (SCL)	2 500 Nm
Specified short-term load (SSL)	4 000 Nm
Service conditions:	
Ambient temperature	-50 °C to +45 °C
Design altitude	max. 1 000 m
Frequency	15 - 62 Hz

Guaranteed protective data

Max. System Voltage	Rated Voltage	Max. continuous operating voltage 1)		TOV capability 2)		Max. residual voltage with current wave						
		as per IEC	as per ANSI/IEEE			30/60 µs			8/20 µs			
U_m kV_{rms}	U_r kV_{rms}	U_c kV_{rms}	MCOV kV_{rms}	1 s kV_{rms}	10 s kV_{rms}	1 kA kV_{peak}	2 kA kV_{peak}	3 kA kV_{peak}	5 kA kV_{peak}	10 kA kV_{peak}	20 kA kV_{peak}	40 kA kV_{peak}
145	108	86	86.0	125	118	211	219	224	234	246	270	295
	120	92	98.0	139	132	234	243	249	260	273	299	328
	132	92	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361
	138	92	111	160	151	270	279	286	299	314	344	377
	144	92	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394
	150	92	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410
	162	92	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443
	168	92	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459
170	132	106	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361
	144	108	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394
	150	108	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410
	162	108	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443
	168	108	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459
	180	108	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492
	192	108	152	222	211	375	388	398	415	437	479	525
245	180	144	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492
	192	154	154	222	211	375	388	398	415	437	479	525
	198	156	160	229	217	387	400	410	428	451	494	541
	210	156	170	243	231	410	425	435	454	478	524	574
	214	156	173	248	235	419	434	445	464	488	535	586
	216	156	175	250	237	422	437	448	467	492	539	590
	219	156	177	254	240	427	443	454	474	499	546	598
	222	156	179	257	244	433	449	460	480	506	554	607
	228	156	180	264	250	445	461	473	493	519	568	623
300	216	173	175	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
	276	191	220	320	303	539	558	572	597	628	688	754
362	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
420	330	264	267	382	363	644	667	684	714	751	823	901
	336	267	272	389	369	656	679	696	727	765	838	918
	342	267	277	396	376	667	691	709	740	779	852	934
	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983

Technical data for housings

Max. system voltage	Rated Voltage	Housing	Creepage distance	External insulation *)				Dimensions					
				1.2/50 µs dry	50 Hz wet (60s)	60 Hz wet (10s)	250/2500 µs wet						
U_m kV_{rms}	U_r kV_{rms}		mm	kV_{peak}	kV_{rms}	kV_{rms}	kV_{peak}	Mass kg	A_{max}	B	C	D	Fig.
24	18-24	XV024	1363	283	126	126	242	18	481	-	-	-	1
36	30-36	XV036	1363	283	126	126	242	18	481	-	-	-	1
	39	XV036	2270	400	187	187	330	29	736	-	-	-	1
52	42-72	XV052	2270	400	187	187	330	29	736	-	-	-	1
72	54-72	XV072	2270	400	187	187	330	28	736	-	-	-	1
	75-84	XV072	3625	578	293	293	462	43	1080	-	-	-	1
100	75-96	XV100	3625	578	293	293	462	43	1080	-	-	-	1
123	90-120	XH123	3625	578	293	293	462	42	1080	-	-	-	1
	90-144	XV123	4540	800	374	374	660	53	1397	-	-	-	2
	150	XV123	4988	861	419	419	704	54	1486	-	-	-	2
145	108-120	XH145	3625	578	293	293	462	41	1080	-	-	-	1
	108-144	XV145	4540	800	374	374	660	52	1397	-	-	-	2
	150	XV145	4988	861	419	419	704	54	1486	-	-	-	2
	162-168	XV145	5895	978	480	480	792	65	1741	-	-	-	2
170	132-144	XH170	4540	800	374	374	660	52	1417	400	-	160	3
	150	XH170	4988	861	419	419	704	56	1506	400	-	160	3
	132-192	XV170	5895	978	480	480	792	69	1761	400	-	160	3
245	180-192	XM245	5895	978	480	480	792	65	1761	400	-	160	3
	180-228	XH245	7250	1156	586	586	924	82	2105	400	-	160	3
	180-198	XV245	8613	1439	712	712	1166	100	2617	800	600	400	5
	210-228	XV245	8613	1439	712	712	1166	97	2617	600	-	300	4
300	216-264	XH300	8613	1439	712	712	1166	101	2617	900	600	500	5
	276	XH300	8613	1439	712	712	1166	97	2617	900	600	500	6
	216-276	XV300	9520	1556	773	773	1254	109	2872	900	600	500	5
362	258-288	XH362	9520	1556	773	773	1254	117	2872	1200	800	600	5
	258-288	XV362	11790	1956	960	960	1584	146	3533	1400	800	700	7
420	330-360	XH420	10875	1734	879	879	1386	130	3216	1400	800	700	5



Procedimiento de selección simplificado

Para una guía de selección detallada, véanse las publicaciones de ABB PTHVP/A 2300E y PTHVP/A 2310E.

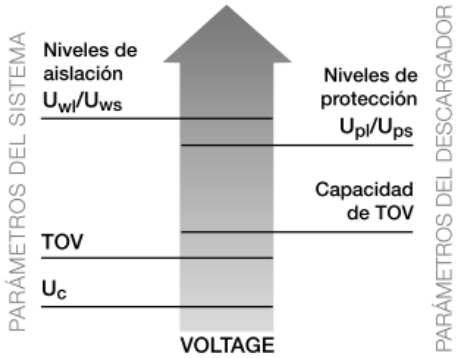
Estos catálogos contienen una lista de los descargadores normales ABB disponibles; con revestimiento de porcelana tipo EXLIM y con revestimiento de polímero de silicona tipo PEXLIM.

La selección se hace con dos pasos principales:

- Contrastando las características eléctricas de los descargadores con los requisitos eléctricos de la red
- Contrastando las características mecánicas de los descargadores con los requisitos mecánicos y medioambientales de la red

La selección final se refleja en la designación de tipo del descargador.

Parámetros del sistema y del descargador



Glosario

U_m	Tensión máxima de red
U_c	Tensión de trabajo continuo
U_r	Tensión nominal
TOV	Sobretensión temporal
T	Factor de resistencia de sobretensión temporal

k	Factor de pérdida a tierra
U_{ps}	Nivel de protección de impulso de funcionamiento
U_{pl}	Nivel de protección de impulso de descarga
U_{ws}	Nivel de resistencia de impulso de funcionamiento
U_{wl}	Nivel de resistencia de impulso de descarga

Objetivos de desarrollo sostenible

El proyecto se desarrollará de forma que uno de los objetivos sea no poner en compromiso al medioambiente, ni a los recursos naturales que este mismo ofrece, respetando en todo momento a futuras generaciones sin poner en riesgo su salud y bienestar. Se prestará principal atención a los siguientes:

- *Objetivo 7 " Energía asequible y no contaminante"* : se trata de uno de los principales objetivos de este proyecto, buscando promover las energías renovables haciendo más accesible la energía procedente del sol. La idea se basa en no desperdiciar toda aquella energía que no es consumida a los alrededores de la generación de forma que esta se pueda volcar a la red de transporte, reduciendo el uso de otras generaciones más contaminantes.

- *Objetivo 9 "Industria, innovación e infraestructura"*: se procurará la resolución del proyecto con infraestructura resiliente e innovadora, seleccionando aparamenta de nueva tecnología, la menos contaminante y resistente ante adversidades. Se implementará también el desarrollo económico de la localidad, generando empleo para la construcción de la subestación, mejora y construcción de vías de acceso, y finalmente para el mantenimiento posterior de la misma.

- *Objetivo 13 " Acción por el clima":* se diseñará la subestación reduciendo el impacto ambiental de la misma, se buscará la eficiencia de manera que haya poca pérdida energética y se reduzcan las emisiones de efecto invernadero. Se limitará también el ruido que se podrá producir.



Documento nº 2: Planos

Índice del documento 2

1.Listado de planos ***85***

2.Planos ***87***

1. Listado de planos

Listado

1. Diagrama unifilar

2. Planta

3. Alzado calles 1 y 2

4. Alzado calle 3

5. Red de tierras

6. Implantación

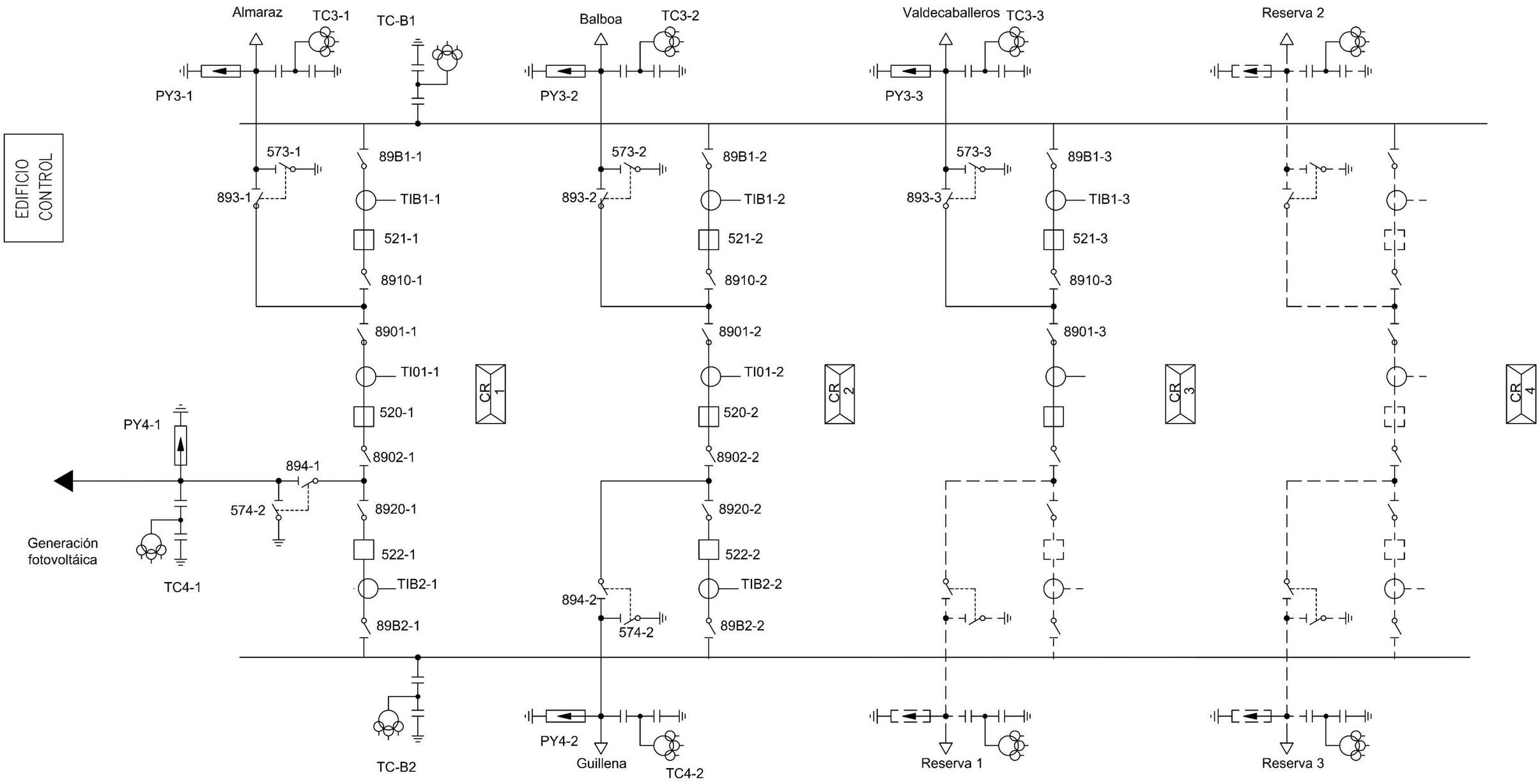
7. Edificio de control

8. Caseta de relés – CR1

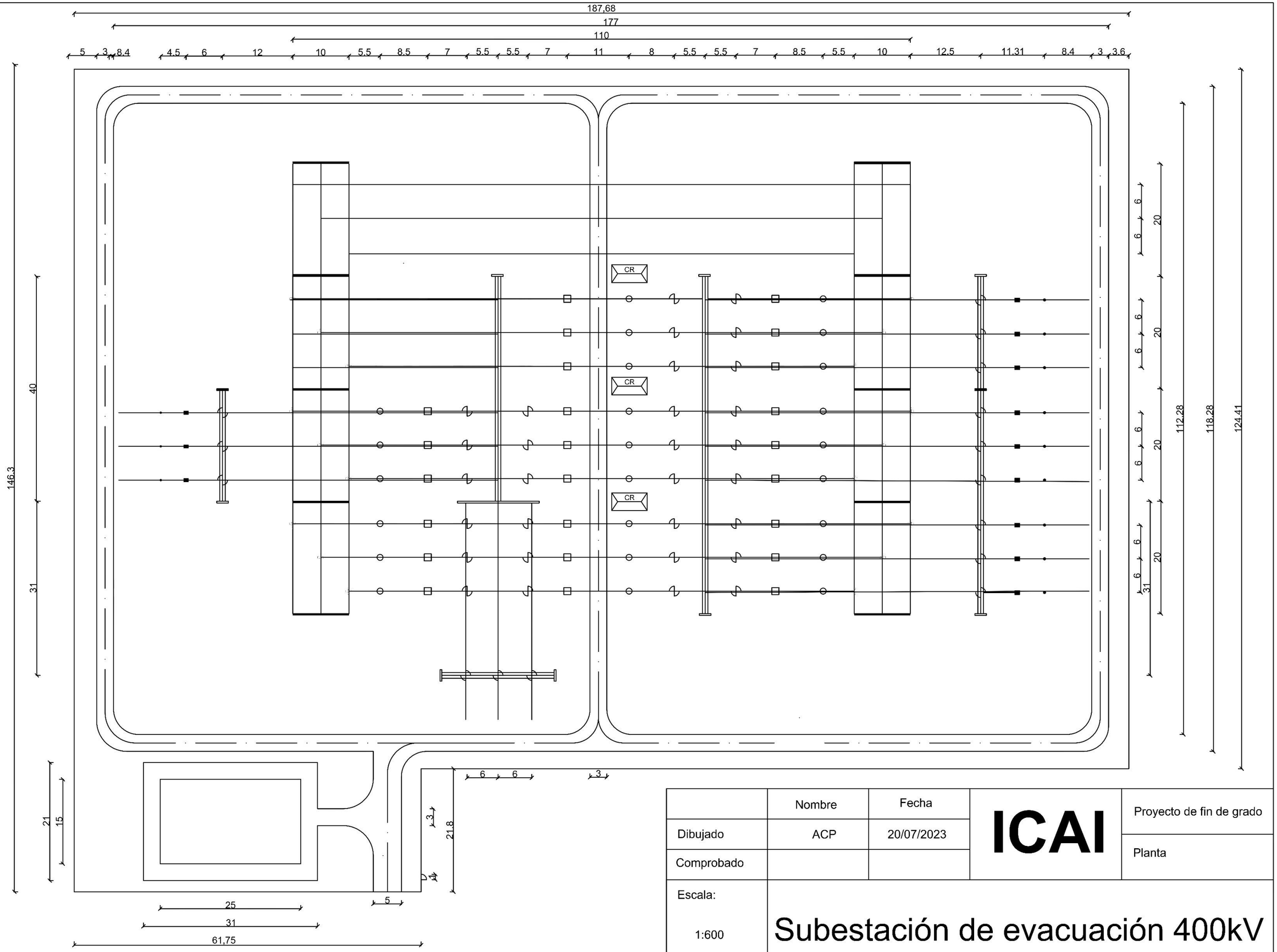
9. Caseta de relés – CR2

10. Caseta de relés – CR3

2. Planos

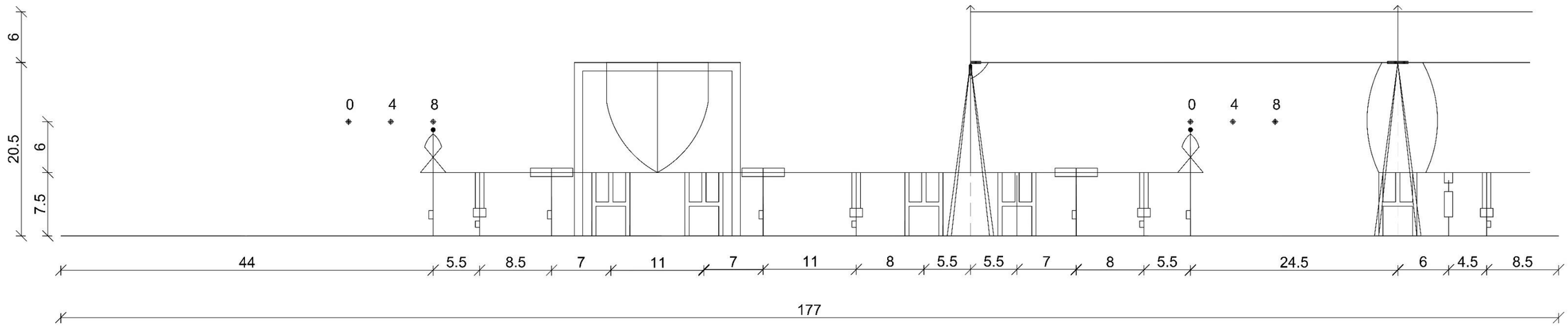


	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	15/07/2023		Esquema unifilar
Comprobado				
Escala:	Subestación de evacuación 400kV			

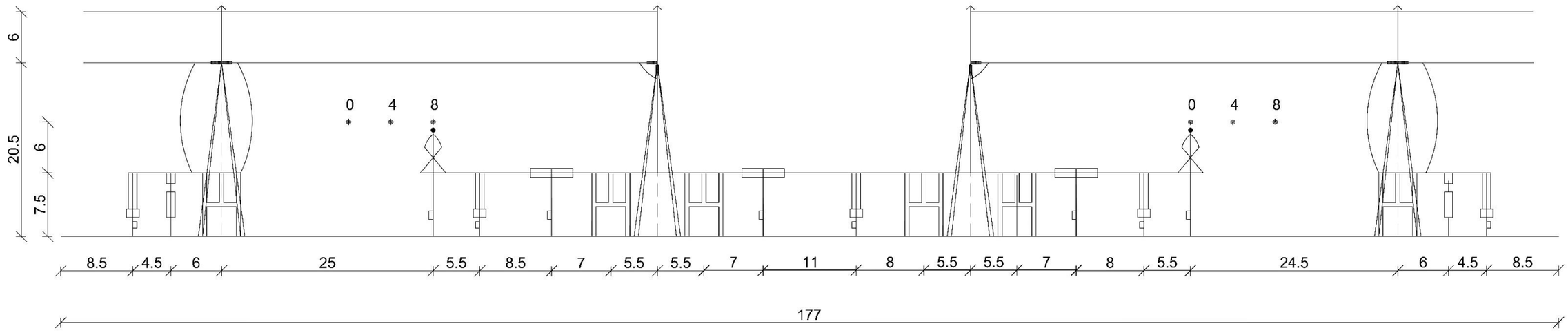


	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	20/07/2023		Planta
Comprobado				
Escala: 1:600	Subestación de evacuación 400kV			

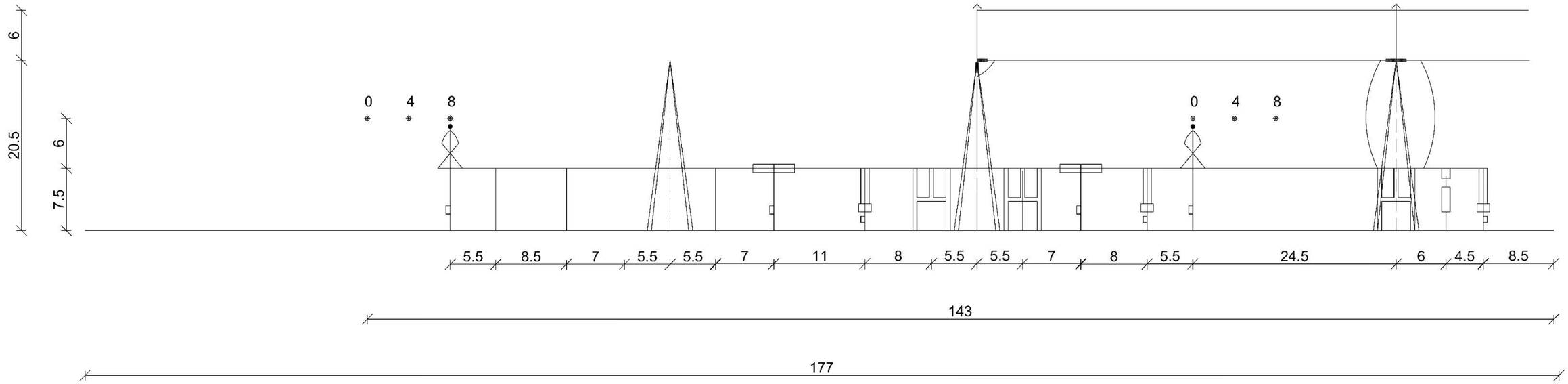
Calle 1



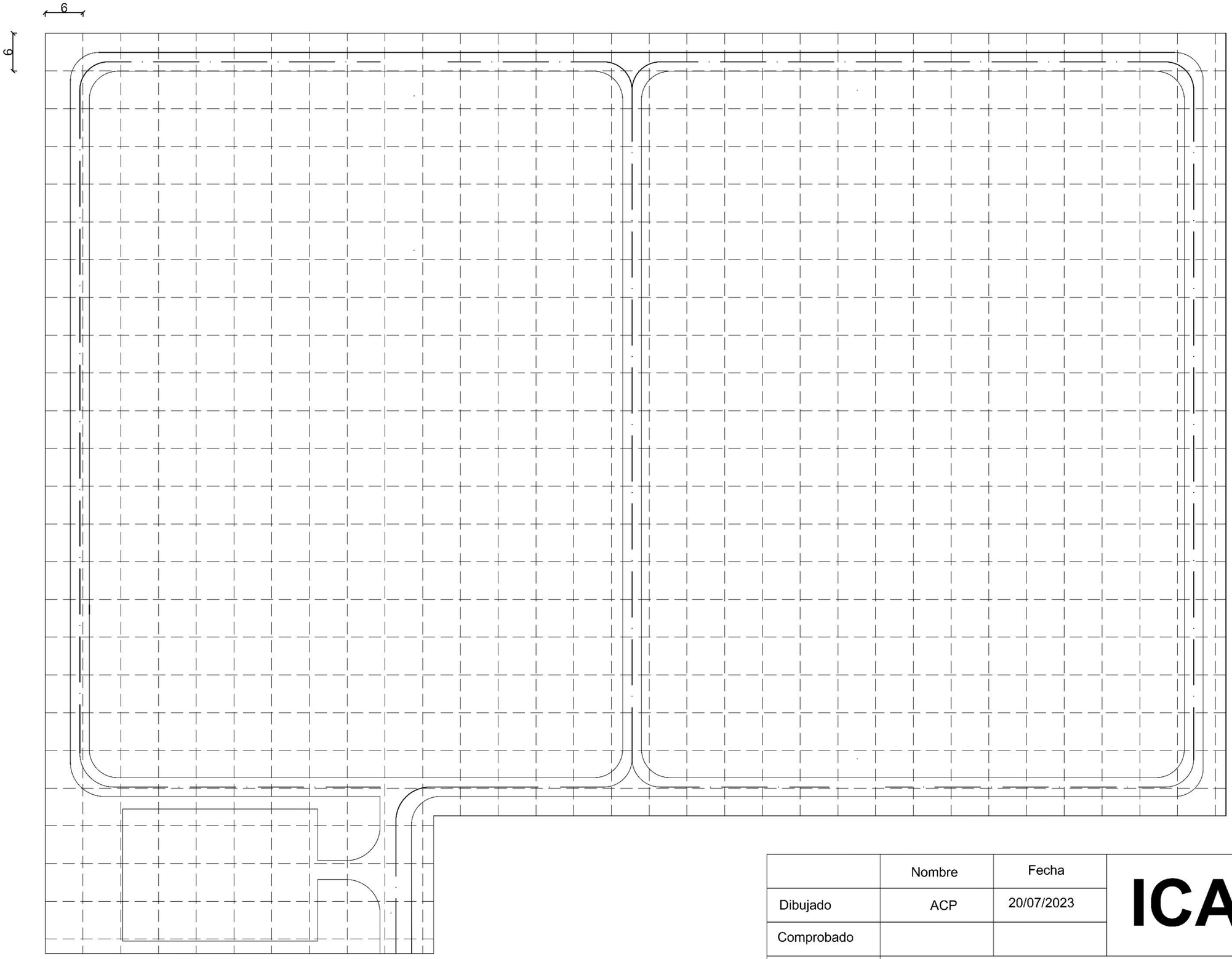
Calle 2



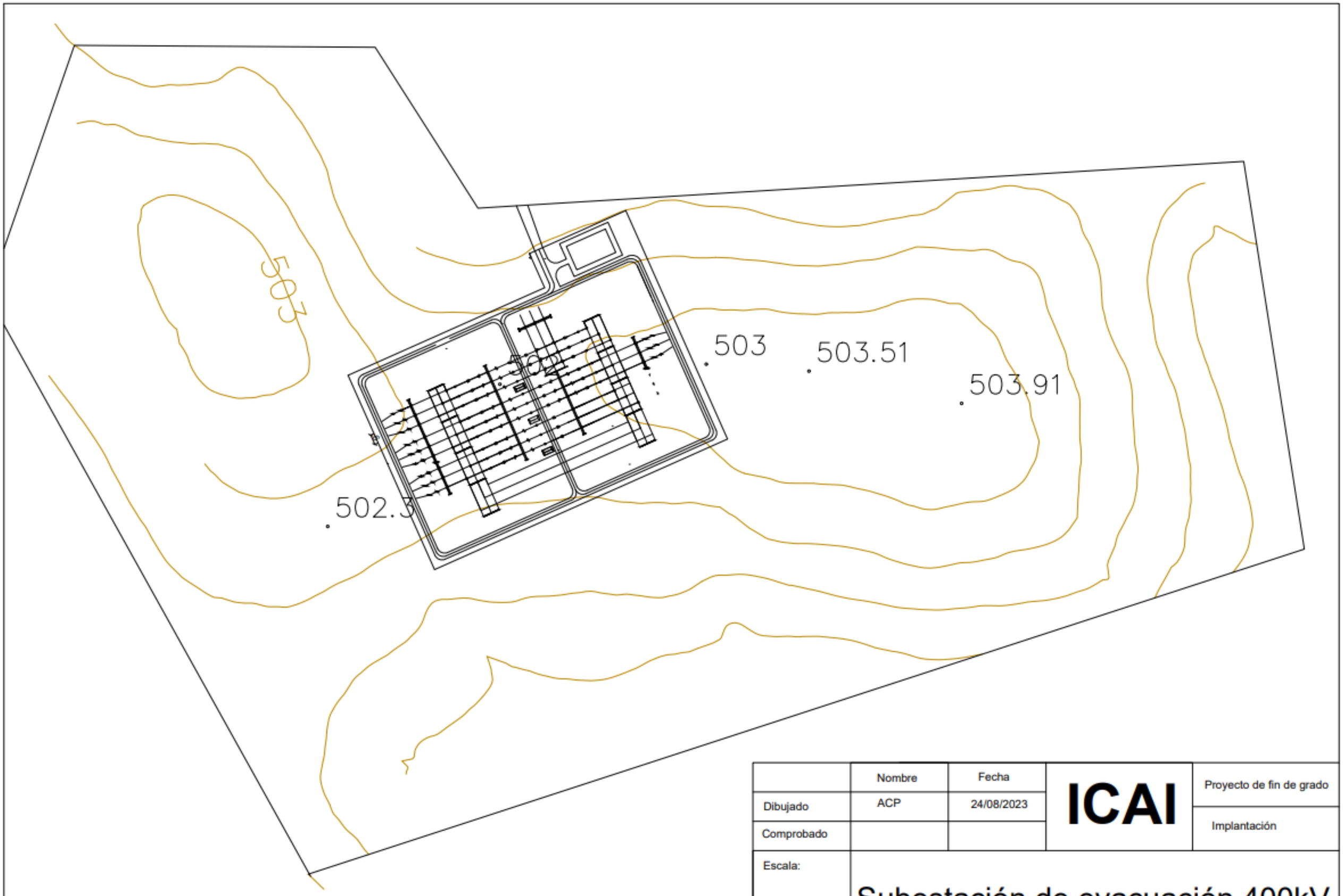
	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	20/07/2023		Alzado calles 1 y 2
Comprobado				
Escala: 1:500	Subestación de evacuación 400kV			



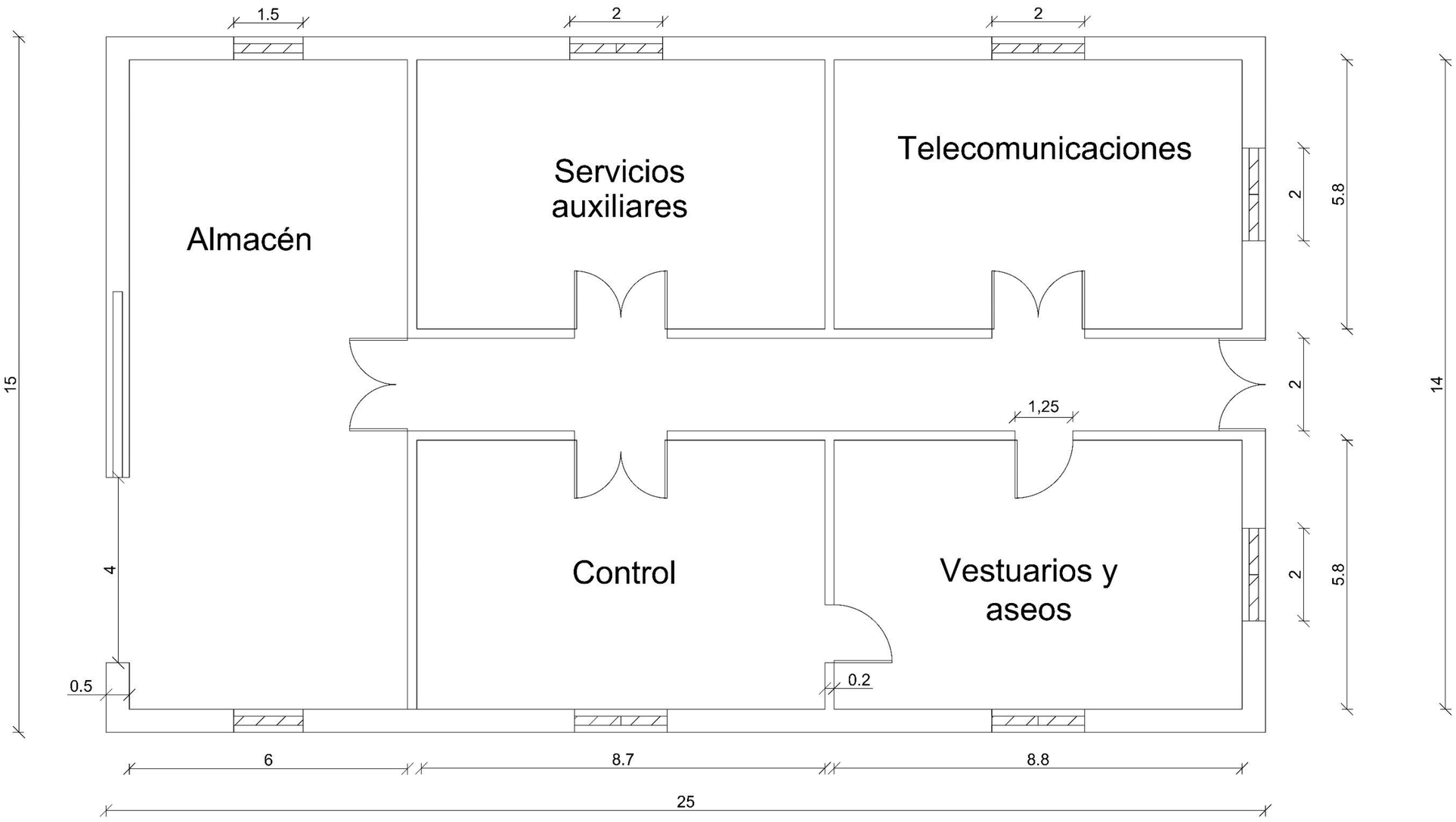
	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	20/07/2023		Alzado calle 3
Comprobado				
Escala: 1:500	Subestación de evacuación 400kV			



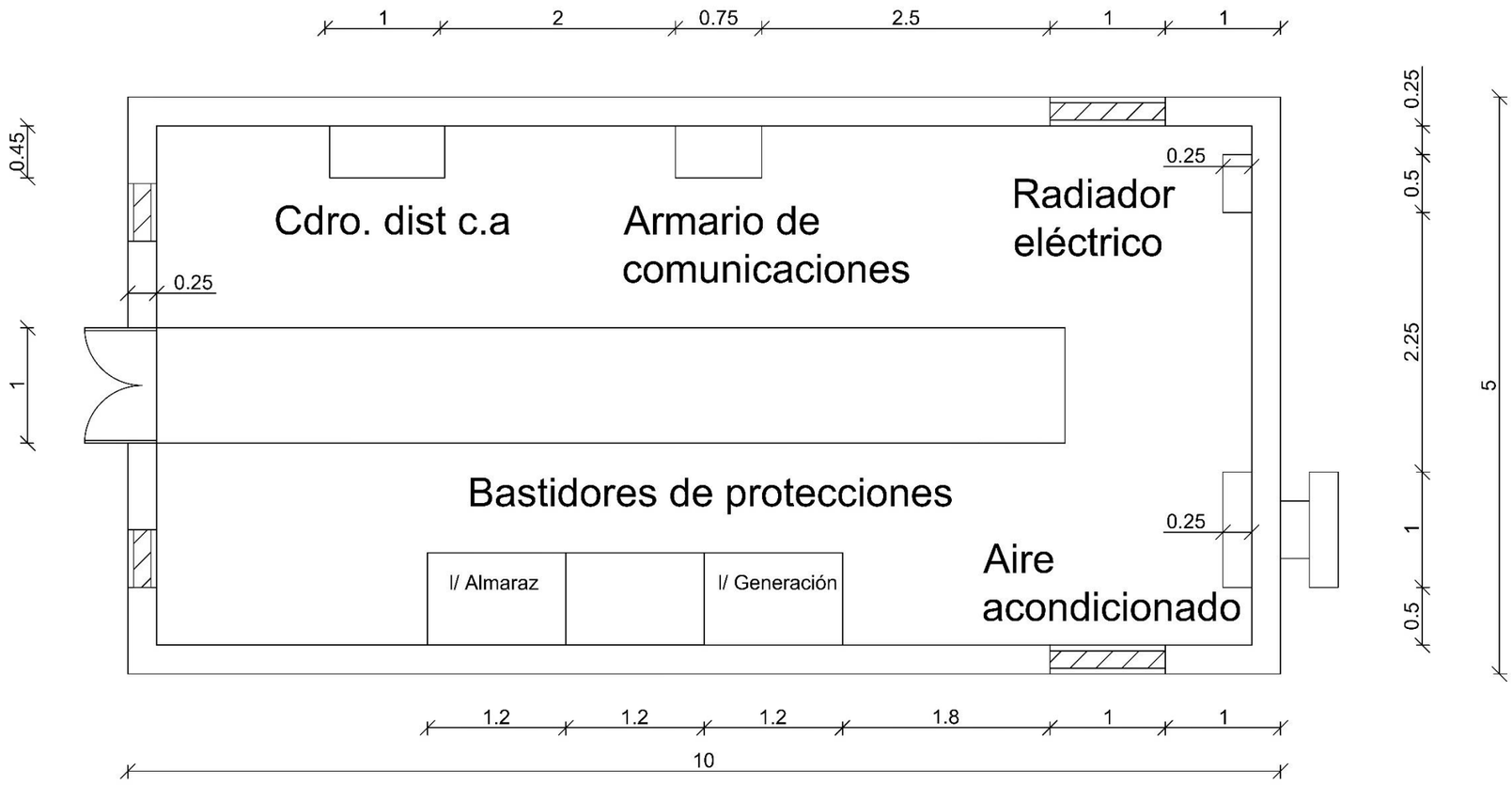
	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	20/07/2023		Red de tierras inferiores
Comprobado				
Escala:	Subestación de evacuación 400kV			



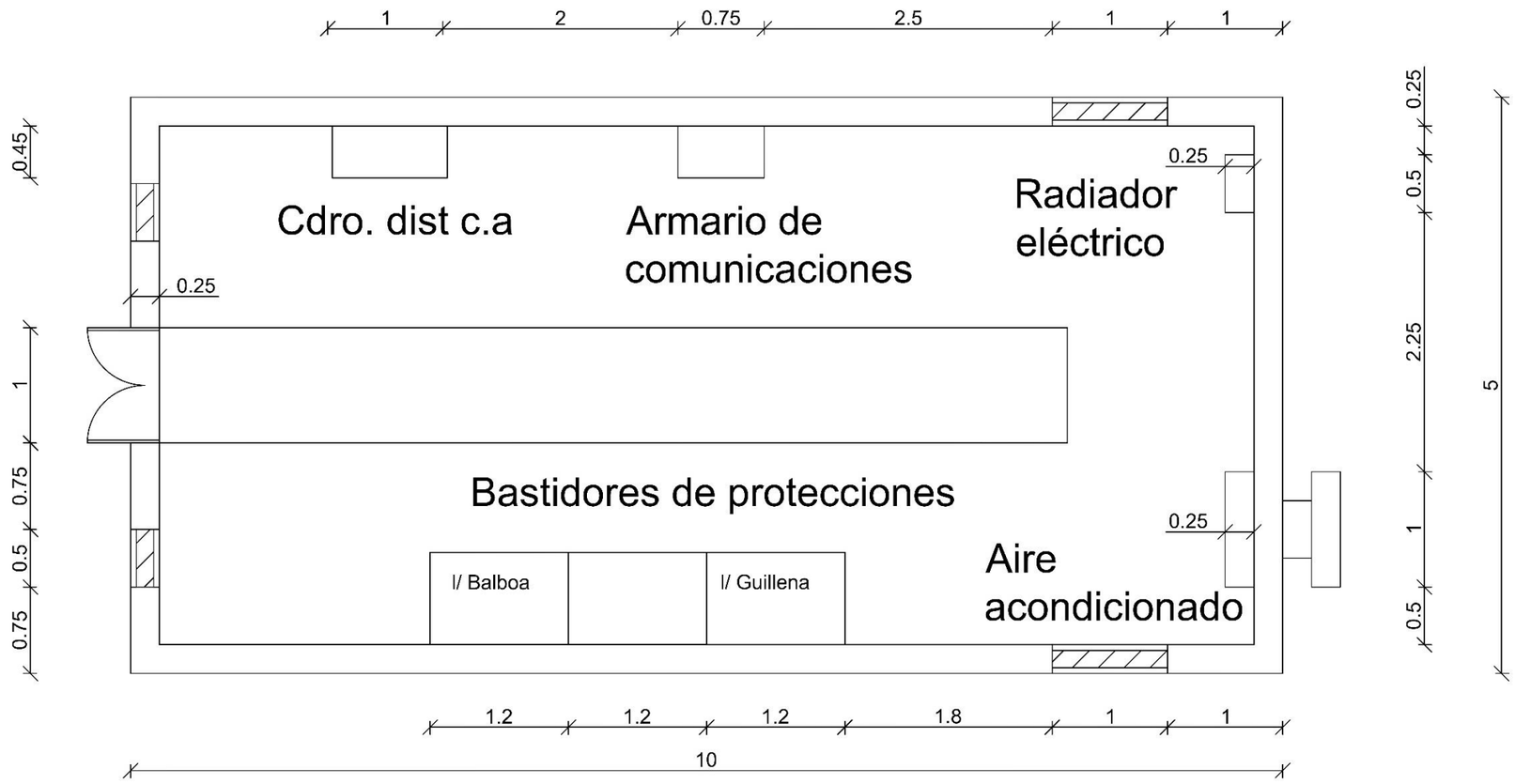
	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	24/08/2023		Implantación
Comprobado				
Escala:	Subestación de evacuación 400kV			



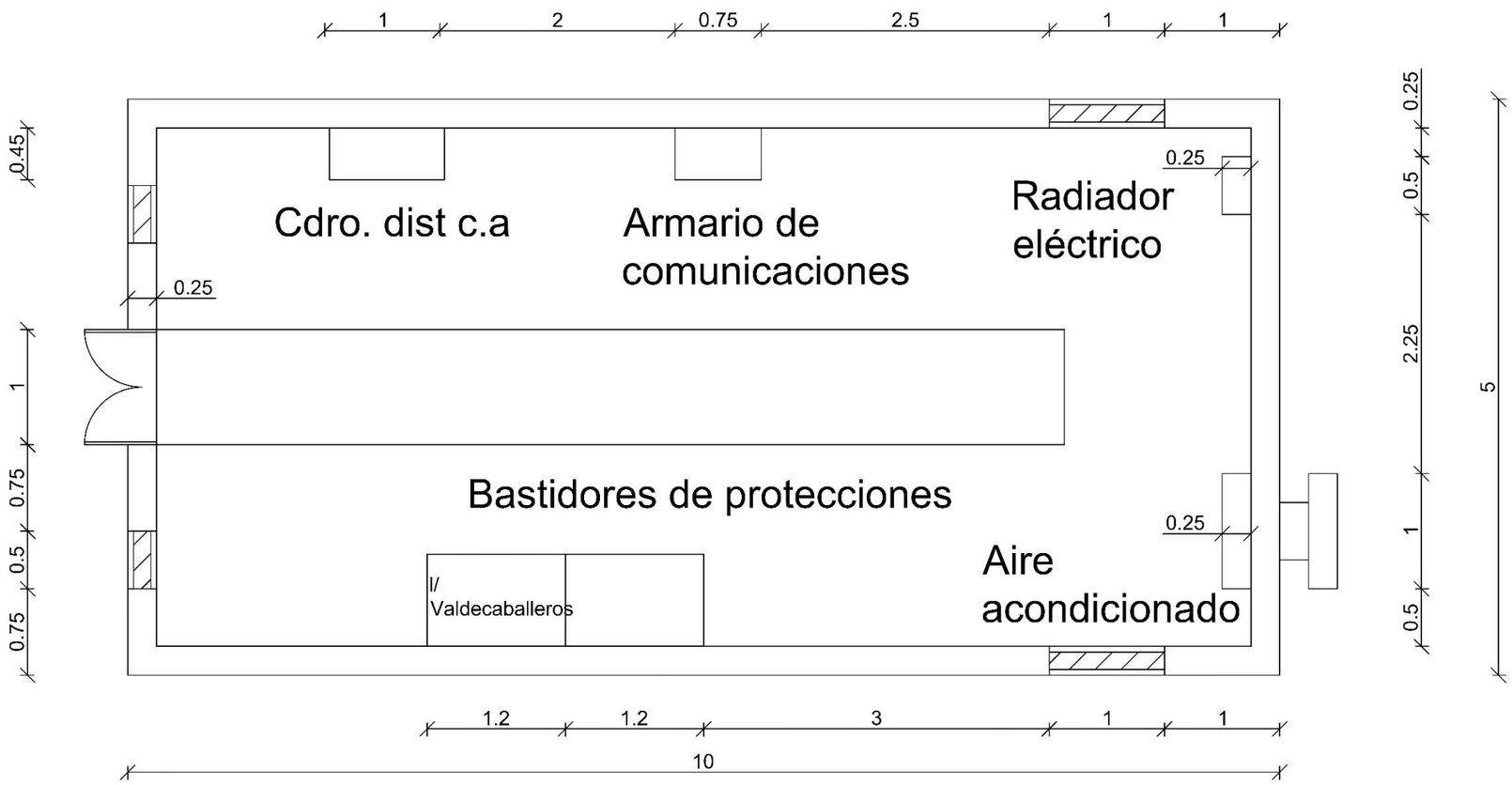
	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	24/08/2023		Edificio de control
Comprobado				
Escala: 1:100	Subestación de evacuación 400kV			



	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	24/08/2023		Caseta de relés - CR1
Comprobado				
Escala: 1:50	Subestación de evacuación 400kV			



	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	24/08/2023		Caseta de relés - CR2
Comprobado				
Escala: 1:50	Subestación de evacuación 400kV			



	Nombre	Fecha	ICAI	Proyecto de fin de grado
Dibujado	ACP	24/08/2023		Caseta de relés - CR3
Comprobado				
Escala: 1:50	Subestación de evacuación 400kV			

Documento nº 3:
Pliego de condiciones

Índice del documento 3

1.Generales y económicas 100

2.Técnicas y particulares 121

1. Generales y económicas

Índice

1. Objeto…….. 103

2. Normativa aplicable.....103

2.1 Equipamiento y montaje.....104

2.2 Obra civil.....106

2.2.1 Estructuras 106

2.2.2 Instalaciones.....107

2.2.3 Protecciones 108

2.2.4 Varios 108

3. Gestión de calidad.....110

4. Gestión medioambiental 110

5. Seguridad en el trabajo.....110

6. Verificación y validación.....110

7. Estudio de Seguridad.....111

7.1 Situación y descripción.....111

7.2 Control de accesos 111

7.3 Unidades constructivas 111

7.4 Montajes de estructuras y equipos.....112

7.5 Identificación de riesgos 112

7.6.1 Organización de la seguridad 115

7.6.2 Principios generales aplicables durante la obra 115

7.6.3 Formación 116

7.6.4 Medicina preventiva 116

7.6.5 Medios de protección 116

7.7 Locales de descanso y servicios higiénicos.....117

7.8 Disposiciones de emergencia.....117

7.8.1 Vías de evacuación 117

7.8.2 Iluminación *117*
7.8.3 Instalaciones de suministro y reparto de energía *117*
7.8.4 Ventilación *117*
7.8.5 Ambientes nocivos y factores atmosféricos *118*
7.8.6 Detección y lucha contra incendios *118*
7.8.7 Primeros auxilios *119*
7.9 Plan de seguridad 119
7.10 Normativa legal de aplicación 119
7.10 Normativa interna de Red Eléctrica 120

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.

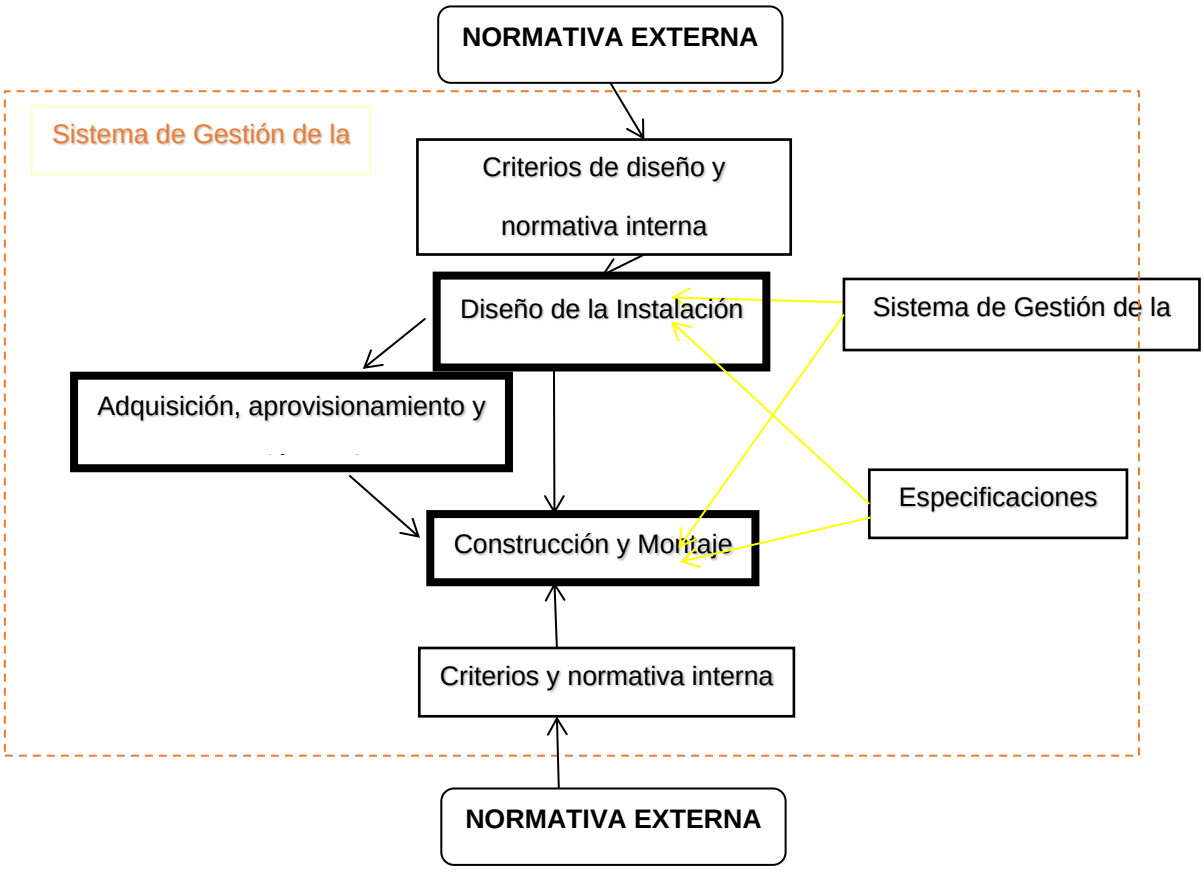


Figura 8: Aspectos del Pliego de Condiciones

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. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.

En especial las ITC del “Reglamento sobre Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación”:

- ITC-MIE-RAT-09: "PROTECCIONES".

- ITC-MIE-RAT-12: "AISLAMIENTO".

- ITC-MIE-RAT-13: "INSTALACION DE PUESTA A TIERRA".

- ITC-MIE-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 Protecciones

• **Aislamiento Acústico**

Documento Básico HR "Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación.

REAL DECRETO 1371/2007 de 19-Octubre, 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 nº 3655/72,

de 23-DIC B.O.E. 15-ENE-73.

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

-Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.

-Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.

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

-R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los

trabajadores frente al riesgo eléctrico.

-R.D. 1215/97 de 18 de Julio sobre EQUIPOS DE TRABAJO.

-R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los

lugares de trabajo.

-R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación manual de cargas.

-R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección

individual.

-Ley 32/2006 de 18 de Octubre Reguladora de la subcontratación en el sector de la

construcción.

-Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la

Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de

UNESA.

-Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos,

como en lo relativo a mediciones.

-Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

En 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

El Estudio de Seguridad y Salud se realizará de forma necesaria para preservar la seguridad en lo relevante a la explanación, obra civil y montaje electromecánico a realizar en la subestación de Campillo de Llerena. Facilitando los medios necesarios para que la Dirección Facultativa pueda implementar las medidas según establece en el R.D.1627/97.

Todas las empresas participantes en la obra deberán acatar las responsabilidades y normas declaradas en el Estudio. La empresa contratista será la encargada de elaborarlo, sin embargo, Red Eléctrica tendrá el derecho a la última interpretación.

Características de la obra

7.1 Situación y descripción

La subestación se encuentra emplazada en la comunidad autónoma de Extremadura en el término municipal de campillo de Llerena.

La obra a realizar consistirá en la construcción de un parque de intemperie a una tensión de 400kV con una configuración de interruptor y medio de tres calles.

7.2 Control de accesos

Al encontrarse la subestación en una zona rural, el paso de personas ajenas al personal se considera improbables, sin embargo, esta estará vallada y se señalizará en la entrada el peligro al que podría estar expuesta una persona.

7.3 Unidades constructivas

Movimiento de tierras

Se preparará el terreno para la posterior construcción del parque. Cubrirá la zona en la que esta dispuesta la subestación además del edificio de control y los accesos. Se empleará maquinaria de gran tamaño para nivelar y remover tierra.

·Acopio: los suministros serán descargados utilizando maquinaria y almacenados en la campa de la subestación en un lugar estable y apartado de área de construcción de manera que no interfiera con los trabajos posteriores.

·Drenajes y saneamientos: se utilizará una red que cubra todo el parque, utilizando tuberías distribuidas de manera que no se genere un flujo excesivo de agua.

Obra civil

Consistirá en la construcción del edificio de control y casetas de relés. Se dispondrá de la campa de almacenamiento para que los materiales no interfieran con otros trabajos. La preparación de armaduras y encofrados se realizará fuera de las zonas de paso.

·Cimentación de soportes: para pórticos y estructuras soportantes se realizará en dados de hormigón armado.

·Canales de cables: con el fin de salvaguardar los cables de control y alimentación.

·Casetas de relés: encontramos dos en la subestación con muros formados por hormigón armado y forjado plano, en el suelo hormigón industrial.

·Edificio de control: sus muros estarán de nuevo formados por hormigón armado y forjado plano, sin embargo, el suelo será de falso suelo.

7.4 Montajes de estructuras y equipos

A continuación, se producirá la instalación de pórticos, estructuras de soporte, los equipos y embarrados de conexión. Se elaborarán perfiles normalizados.

Trabajos en cableado y b.t

El cableado se llevará a las casetas de relés por los canales.

A la misma vez, se producirá el montaje de equipos de Control, Protecciones, Comunicaciones y medidas.

Puesta en servicio

Se producirá por fases terminadas.

7.5 Identificación de 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.

Los riesgos que se pueden presentar son:

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Caídas de personas al mismo nivel	Caída por deficiencias en el suelo, por pisar o tropezar con objetos, por existencia de vertidos o líquidos, por superficies en mal estado por condiciones atmosféricas (heladas, nieve, agua, etc.).
Caídas de personas a distinto nivel	Caída desde escaleras portátiles, desde andamios y plataformas temporales, desniveles, huecos, zanjas, taludes, desde estructuras pórticos.
Caídas de objetos	Caída por manipulación manual de objetos y herramientas o de elementos manipulados con aparatos elevadores.
Desprendimientos desplomes y derrumbes	Desprendimientos de elementos de montaje fijos, desplome de muros o hundimiento de zanjas o galerías
Choques y golpes	Choques contra objetos fijos, contra objetos móviles, golpes por herramientas manuales y eléctricas.
Maquinaria automotriz y vehículos	Atropello a peatones, choques y golpes entre vehículos, vuelco de vehículos y caída de cargas
Atrapamientos por mecanismos en movimiento	Atrapamientos por herramientas manuales, portátiles eléctricas. Atrapamientos por mecanismos en movimiento.

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Cortes	Cortes por herramientas portátiles eléctricas o manuales y cortes por objetos superficiales o punzantes.
Proyecciones	Impacto por fragmentos, partículas sólidas o líquidas.
Contactos térmicos	Contactos con fluidos o sustancias calientes / fríos. Contacto con proyecciones.
Contactos químicos	Contacto con sustancias corrosivas, irritantes/ alergizantes u otras.
Contactos eléctricos	Contactos directos, indirectos o descargas eléctricas
Arcos eléctricos	Calor, proyecciones o radiaciones no ionizantes.
Sobreesfuerzos	Esfuerzos al empujar, tirar de objetos. Esfuerzos al levantar, sostener o manipular cargas.
Explosiones	Máquinas, equipos y botellas de gases.
Incendios	Acumulación de material combustible. Almacenamiento y trasvase de productos inflamables. Focos de ignición, proyecciones de chispas o partículas calientes.
Confinamiento	Golpes, choques, cortes o atrapamientos por espacio reducido. Dificultades para rescate.
Tráfico	Choques entre vehículos o contra objetos fijos Atropello de peatones o en situaciones de trabajo Vuelco de vehículos por accidente de tráfico.
Agresión de animales	Picadura de insectos, ataque de perros o agresión por otros animales.

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Estrés térmico	Exposición prolongada al calor o al frío Cambios bruscos de temperatura.
Radiaciones no ionizantes	Exposición a radiación ultravioleta, infrarroja o visible.
Carga física	Movimientos repetitivos. Carga estática o postural (espacios de trabajo) o dinámica (actividad física). Condiciones climáticas exteriores.
Carga mental	Distribución de tiempos. Horario de trabajo

7.6.1 Organización de la seguridad

Coordinador en Materia de Seguridad y Salud

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

Jefes de Trabajo de las Empresas Contratistas

Las personas que ejerzan in situ las funciones 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.

7.6.2 Principios generales aplicables durante la obra

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

a) Garantizar que solo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada pueden acceder a las zonas de riesgo grave o específico.

b) Dar las debidas instrucciones a los empleados.

c) El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.

d) La manipulación de los distintos materiales y la utilización de los medios auxiliares.

e) El mantenimiento de los medios y dispositivos necesarios para la ejecución de la obra.

f) La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de trabajo.

g) La recogida de los materiales peligrosos utilizados.

h) La adaptación, en función de la evolución de obra, del periodo de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.

i) La cooperación entre RED ELÉCTRICA y el Contratista.

7.6.3 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.

7.6.4 Medicina preventiva

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

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

7.6.5 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.

7.7 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.

7.8 Disposiciones de emergencia

7.8.1 Vías de evacuación

Dados los atributos que caracterizan la obra, no resultará necesario la definición de vías o salidas de emergencia. En el caso de que cuando se estuviera construyendo el edificio de control entre más de 20 trabajadores será necesario planear las vías de evacuación. En caso de evacuación la decisión será tomada por el Coordinador de Seguridad y en caso de que no se encontrara presente, el supervisor de REE.

7.8.2 Iluminación

Los trabajos de construcción se realizarán a lo largo del día aprovechando la luz natural, por lo que no resultará necesaria otro tipo de iluminación.

Si se realizaran trabajos durante el horario nocturno sería necesaria la implantación de alumbrado suficiente para obtener completa visibilidad durante el trabajo que se vaya a realizar, además de las vías que ofrezcan el acceso al punto.

7.8.3 Instalaciones de suministro y reparto de energía

Se instalará un grupo electrógeno. Se tomará suministro eléctrico de la red existente.

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

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

7.8.4 Ventilación

No será necesaria la realización de controles debido al tipo de obra.

En los trabajos en galerías, centros subterráneos, etc. Previo al acceso al recinto y durante su permanencia en el mismo, se procederá a las determinaciones higiénicas oportunas de la atmósfera confinada que posibiliten conocer si los valores de oxigeno son suficientes o si los niveles de contaminantes tóxicos o inflamables están por encima de los niveles máximos permitidos.

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

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

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

7.8.5 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 planificarán para que no coincidan con los periodos de temperatura extremos.

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

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

7.8.6 Detección y lucha contra incendios

No se prevé en la obra la existencia de carga térmica elevada, para facilitarlo 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.

7.8.7 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 primero 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.

7.9 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.

Pliego de condiciones

7.10 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.

7.10 Normativa interna de Red Eléctrica

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

-TM-001 Organización de la Seguridad en los Trabajos en instalaciones de A.T.

-IM-002 Medidas de Seguridad en instalaciones de A.T. para trabajos sin tensión.

-IM-013 Medidas de seguridad en trabajos en instalaciones de BT

-AM-004 Aplicación de la línea de seguridad para trabajos en alturas

-AM-005 Trabajos de manutención manual y mecánica

-IC-003 Subcontratación por proveedores de Red Eléctrica a terceros

2. Técnicas y particulares

Índice

1. Ámbito de aplicación 123

2. Requisitos ambientales 123

2.1 Requisitos generales 123

2.2.1 Condicionados de los organismos de la administración 123

2.2.2 Áreas de almacenamiento temporal 123

2.2.3 Cambios de aceite y grasas 124

2.2.4 Campamento de obra 124

2.2.5 Gestión de residuos 124

2.2.6 Incidentes con consecuencias ambientales 124

3. Requisitos especiales para los movimientos de tierras 125

3.1 Zonificación de trabajos 125

3.2 Accesos 125

3.3 Retirada de la cubierta vegetal 125

3.4 Patrimonio cultural 125

3.5 Movimiento de tierras para la explanación 125

4. Requisitos específicos para la obra civil 126

5. Requisitos específicos para el montaje electromecánico 126

5.1 Llenado de equipos con aceite 126

5.2 Llenado de equipos con SF6 126

6. Acondicionamiento final de la obra 127

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 construcción de la subestación de 400 kV de Campillo de Llerena, 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 ambientales

2.1 Requisitos generales

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.

2.2.1 Condicionados de los organismos de la administración

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

2.2.2 Áreas de almacenamiento temporal

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

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

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

2.2.3 Cambios de aceite y grasas

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

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

2.2.4 Campamento de obra

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

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

2.2.5 Gestión de residuos

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

-Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición. Incluido como anexo 2.1. 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 REE.

2.2.6 Incidentes con consecuencias ambientales

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

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

El riesgo de incendios viene asociado principalmente al almacenamiento y manipulación de productos inflamables. Se establecerán todas las medidas de prevención de incendios y se prestará especial atención para que los productos inflamables no entren en contacto con fuentes de calor: trabajo de soldaduras,

recalentamiento de máquinas, cigarros 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 especiales para los movimientos de tierras

3.1 Zonificación de 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 señalizar de forma temporal mediante estacas o cintas de plástico de colores vistosos.

3.2 Accesos

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 señalizar de forma temporal mediante estacas o cintas de plástico de colores vistosos.

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 Movimiento de tierras 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

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 electromecánico

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 nº 4: Presupuesto

Índice del documento 4

1. Mediciones ***130***

2. Precios unitarios ***133***

3. Sumas parciales ***136***

1. Mediciones

1. Aparamenta

Equipo	Unidades
Interruptores de potencia	8
Seccionadores de barras	6
Seccionadores de columnas	7
Seccionadores de columnas con puesta a tierra	4
Transformadores de intensidad	24
Transformadores de tensión	26
Autoválvulas	24

2. Embarrados

Equipo	Unidades
Embarrado principal	480m
Embarrado secundario	1500m
Embarrado de tendido alto	600m
Aisladores	24

3. Red de tierras

Equipo	Unidades
Puntas Franklin	9
Conductor de cobre 120	8042,39m

4. Soportes y estructuras

Equipo	Unidades
Estructura metálica	365.000kg

5. Sistemas secundarios

Equipo	Unidades
Sistema de protección	1
Sistema de control	1
Sistema de telecomunicaciones	1
Servicios auxiliares	1

6. Obra civil

Equipo	Unidades
Movimiento de tierras	1
Caseta de relés	3
Edificio de control	1
Vallado	668m
Cimentaciones	27500
Drenajes	1

7. Montaje

Equipo	Unidades
Montaje electromecánico	1

8. Pruebas y puesta en servicio

Equipo	Unidades
Pruebas y puesta en servicio	1

9. Seguridad y salud laboral

Equipo	Unidades
Seguridad y salud laboral	1
Vigilancia	1

2. Precios unitarios

1. Aparamenta

Equipo	Precio
Interruptores de potencia	90000€/unidad
Seccionadores de barras	39000€/unidad
Seccionadores de columnas	47000€/unidad
Seccionadores de columnas con puesta a tierra	51000€/unidad
Transformadores de intensidad	15000€/unidad
Transformadores de tensión	9500€/unidad
Autoválvulas	7000€/unidad

2. Embarrados

Equipo	Precio
Embarrado principal	103€/m
Embarrado secundario	55€/m
Embarrado de tendido alto	7,4€/m
Aisladores	950€/m

3. Red de tierras

Equipo	Precio
Puntas Franklin	550€/unidad
Conductor de cobre 120	3,5€/m

4. Soportes y estructuras

Equipo	Precio
Estructura metálica	1,95€/kg

5. Sistemas secundarios

Equipo	Precio
Sistema de protección	325.000€/unidad
Sistema de control	580.560€/unidad
Sistema de telecomunicaciones	90.000€/unidad
Servicios auxiliares	730.000€/unidad

6. Obra civil

Equipo	Precio
Movimiento de tierras	898.500€/unidad
Caseta de relés	45.000€/unidad
Edificio de control	135.000€/unidad
Vallado	27€/m
Cimentaciones	8€/m
Drenajes	12.500€/unidad

7. Montaje

Equipo	Precio
Montaje electromecánico	980.000€/unidad

8. Pruebas y puesta en servicio

Equipo	Precio
Pruebas y puesta en servicio	80.500€/unidad

9. Seguridad y salud laboral

Equipo	Precio
Seguridad y salud laboral	75.000€/unidad
Vigilancia	97.545€/unidad

3. Sumas parciales

1. Aparamenta

Equipo	Precio total
Interruptores de potencia	720.000€
Seccionadores de barras	234.000€
Seccionadores de columnas	329.000€
Seccionadores de columnas con puesta a tierra	204.000€
Transformadores de intensidad	360.000€
Transformadores de tensión	247.000€
Autoválvulas	168.000€
Total	**2.162.000€**

2. Embarrados

Equipo	Precio total
Embarrado principal	49.440€
Embarrado secundario	82.500€
Embarrado de tendido alto	4.440€
Aisladores	22.800€
Total	**159.180€**

3. Red de tierras

Equipo	Precio total
Puntas Franklin	4.950€
Conductor de cobre 120	28.148,365€
Total	**33.098€**

4. Soportes y estructuras

Equipo	Precio total
Estructura metálica	711.750€
Total	**711.750€**

5. Sistemas secundarios

Equipo	Precio total
Sistema de protección	325.000€
Sistema de control	580.560€

Sistema de telecomunicaciones	90.000€
Servicios auxiliares	730.000€
Total	**1.725.560€**

6. Obra civil

Equipo	**Precio total**
Movimiento de tierras	898.500€
Caseta de relés	135.000€
Edificio de control	135.000€
Vallado	18.036€
Cimentaciones	220.000€
Drenajes	12.500€
Total	**1.419.036€**

7. Montaje

Equipo	**Precio total**
Montaje electromecánico	980.000€
Total	**980.000€**

8. Pruebas y puesta en servicio

Equipo	**Precio total**
Pruebas y puesta en servicio	80.500€
Total	**80.500€**

9. Seguridad y salud laboral

Equipo	**Precio total**
Seguridad y salud laboral	75.000€
Vigilancia	97.545€
Total	**172.545€**

4. Presupuesto general

Suma total

Aparamenta	2.162.000€
Embarrados	159.180€
Red de tierras	33.098€
Soportes y estructuras	711.750€
Sistemas secundarios	1.725.560€
Obra civil	1.419.036€
Montaje	980.000€
Pruebas y puesta en servicio	80500€
Seguridad y salud laboral	172.545€

PRESUPUESTO GENERAL= 7.410.571€

BIBLIOGRAFÍA

· Administrador. (2022). Normativa vigente en instalaciones eléctricas de alta y baja tensión. *Grupo Turelectric*. https://grupoturelectric.com/normativa-vigente-en-instalaciones-electricas-de-alta-y-baja-tension/#:~:text=Las%20instalaciones%20el%C3%A9ctricas%20de%20baja,2010%2C%20de%207%20de%20Mayo.

·*Características de los diferentes tipos de seccionadores en el mercado*. (2018, 16 enero). Alta Tecnología. https://altatecnologia.com.mx/caracteristicas-de-los-diferentes-tipos-de-seccionadores-disponibles-en-el-mercado/

·*Real decreto 337/2014, 9 de mayo*. (2024, 9 junio). Boletín oficial del Estado. https://www.ree.es/sites/default/files/12_CLIENTES/Documentos/Documentacion-Simel/BOE-A-2014-6084.pdf

·*Subestaciones Electricas*. (s. f.). https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn23.html

·*Especificaciones técnicas particulares de subestaciones AT/MT*. (2019, mayo). Endesa Distribución Eléctrica. https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-alta-tension/Documents/reglamento-alta-tension/endesa/SRZ001-.pdf

·Zamora Montero, J. (2017, 4 diciembre). *Proyecto de ejecución de la subestación 220/30kV «Venalta»*. Junta de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-10/PRO18-06-001_PROYECTO%20COMPLETO_Venalta_rev01_sgd.pdf

·SATEL. (2020, noviembre). *Subestación eléctrica 400/220kV «Pisón»*. Forestalia. https://www.aragon.es/documents/20127/89964173/13_1_Separata+Ayto+Mezquita_SE+PISON.pdf/90651a0f-d447-2e15-28f0-02fc211f7a9d?t=1622620785118

·SATEL. (2020, octubre). *Subestación eléctrica 400/220 kV «Labradas»*. Gobierno de Navarra. https://gobiernoabierto.navarra.es/sites/default/files/1._proyecto_set_labradas_compressed.pdf

·Díaz García, A. (s. f.). *SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE 400kV COMO ALIMENTACIÓN A ESTACIÓN CONVERSORA HVDC* [Trabajo de fin de grado]. Universidad Pontificia Comillas.

·Cestero Bravo, M. (2017). *PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA LA RED DE TRANSPORTE PENINSULAR ESPAÑOLA, EN ENTORNO PROTEGIDO A 400 KV Y COMO PUNTO DE ACCESO DE UN GENERADOR.* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

·Quintana del Olmo, A. (2018). *Subestación de transporte de 220 kV en entorno rural para evacuación de generación en régimen especial* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

·Cuartero García, A. (s. f.). *Proyecto Técnico Administrativo de una subestación en la Red de Transporte española para la evacuación de energía eólica* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

·Red Eléctrica. (2022). *Renovación de componentes de la subestación de Gatica 400kV* [Proyecto técnico administrativo].

·Red Eléctrica. (2023). *Subestación Arañuelo 400kV* [Proyecto técnico administrativo].

·Falcón Blanco, V. (2013). *PROYECTO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRANSPORTE 400/220 KV*. Universidad Carlos III.

·Montesinos Aguayo, D. (s. f.). *Ingeniería básica de una subestación eléctrica de 400 KV* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Carlos III.

·Sanchez Mingarro, M. (s. f.). *Apuntes de Centrales y Subestaciones* (Curso 2022-2023)

·Red Eléctrica. (2022). *Ampliación de la subestación de Anchuelo 400kV* [Proyecto técnico administrativo].

· Gamez, M. J. (2022, 24 mayo). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

·Normativa

·Información proporcionada por Red Eléctrica.

Catálogos

·*Transformadores de intensidad de alta tensión | Arteche*. (s. f.). https://www.arteche.com/es/transformadores-de-intensidad-de-alta-tension

·MESA. (s. f.). *Seccionadores y pantógrafos de A.T. - MESA*. https://www.mesa.es/es/categoria/seccionadores-y-pantografos-de-at

·*ABB Library*. (s. f.). https://library.abb.com/r?q=cat%C3%A1logos%20t%C3%A9cnicos

·*Transformadores de medida. alta tensión | Arteche*. (s. f.). https://www.arteche.com/es/transformadores-de-medida-alta-tension

.