



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Proyecto Técnico – Administrativo de una subestación
eléctrica de 400 kV para la red de transporte de
Galicia

Autor: Jorge Estrada Peyús

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Septiembre de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Proyecto Técnico y Administrativo de una subestación eléctrica de 400
kV para la red de transporte de Galicia
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024-2025 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.

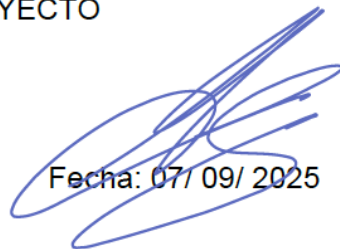


Fdo.: Jorge Estrada Peyús

Fecha: 01/ 09 / 2025

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Matías Juan Sánchez Mingarro



Fecha: 07/ 09/ 2025

Proyecto Técnico Administrativo de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte de Galicia

Autor: Estrada Peyús, Jorge.

Director: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como finalidad la tramitación oficial y el diseño y de una subestación eléctrica de 400 kV ubicada en el término municipal de Ordes, A Coruña. La instalación se proyecta con el objetivo de evacuar la energía renovable generada en la zona costera procedente de parques eólicos hacia la red de transporte y reforzar el mallado de la red eléctrica de Galicia, constituyendo la base técnica y administrativa necesaria para la obtención de tramitación.

La subestación se ha diseñado con tecnología AIS (Air Insulated Substation), por ser la solución más adecuada al emplazamiento previsto y a los requerimientos de operación de la red. La configuración adoptada es de interruptor y medio, reconocida en el ámbito del transporte eléctrico por su fiabilidad, seguridad y flexibilidad operativa.

El parque eléctrico se organiza en cuatro calles, que suman un total de ocho posiciones: dos destinadas a la evacuación de energía procedente de parques eólicos, dos de conexión con la red de transporte de Red Eléctrica de España, una conexión a una futura subestación reductora de 220 kV, una línea eléctrica denominada *Línea Monte da Fraga* y dos posiciones de reserva previstas para futuras ampliaciones.

La aparamenta principal incluye interruptores de potencia, seccionadores de barras tipo pantógrafo, seccionadores de columna con y sin puesta a tierra, transformadores de intensidad, transformadores de tensión capacitivos, autoválvulas y el conjunto de embarrados principal, secundario y de tendido alto. Todos estos equipos han sido dimensionados para garantizar un funcionamiento seguro y fiable en el nivel de 400 kV, asegurando el cumplimiento de las solicitudes eléctricas y mecánicas de operación.

Las características eléctricas de la instalación son:

- Tensión nominal: 400 kV
- Tensión máxima de servicio: 440 kV
- Corriente de cortocircuito: 50 kA
- Conexión del neutro: rígido a tierra

La aparamenta principal seleccionada comprende:

Aparamenta	Unidades
Transformadores de intensidad	18
Interruptores de potencia SF ₆	9
Seccionadores tipo pantógrafo de barras	6
Seccionadores de columna giratoria	12
Transformadores de tensión capacitivos	18
Autoválvulas	27
Aisladores	60

Tabla 1: Aparamenta subestación

El diseño contempla igualmente las obras civiles necesarias, que comprenden el movimiento de tierras, cimentaciones, drenajes y saneamientos, vallado perimetral metálico de 2,5 m de altura y accesos desde la carretera principal. Se ha proyectado un edificio de control de 25×15 metros que albergará las salas de telecontrol, comunicaciones, servicios auxiliares y archivo, así como casetas prefabricadas de relés para alojar bastidores de protecciones y cuadros auxiliares. La instalación dispondrá de sistemas de alumbrado, seguridad física, protección contra incendios y un sistema antiintrusión.

Se han realizado los cálculos justificativos necesarios para el diseño de la instalación: dimensionamiento mecánico de los embarrados rígidos, verificación de las distancias mínimas de seguridad, análisis del efecto corona y diseño de la red de tierras. Esta última está formada por una malla de cobre enterrada con la geometría y resistividad adecuadas para garantizar la seguridad frente a tensiones de paso y contacto.

La documentación se completa con los planos técnicos de la ubicación, esquema unifilar, planta, alzado e implantación de la subestación, además de los detalles del edificio de control y de las casetas de relés. El presupuesto de ejecución de la subestación asciende a 6.515.155,59 €, incluyendo la aparamenta, los trabajos de obra civil, el montaje y la puesta en servicio. Tras aplicar las subvenciones estatales correspondientes, el estudio económico refleja una rentabilidad teórica del 32,3%.

Este proyecto reúne todos los elementos técnicos, constructivos y económicos necesarios para la tramitación administrativa de la subestación de 400 kV de Ordes, aportando una solución sólida, segura y escalable para la integración de energías renovables en la red de transporte de Galicia.

Administrative Technical Project of a High Voltage Substation for the Transmission Grid in Galicia

Author: Estrada Peyús, Jorge

Supervisor: Sánchez Mingarro, Matías Juan

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The present Final Degree Project aims at the official processing and design of a 400 kV electrical substation located in the municipality of Ordes, A Coruña. The installation is conceived with the objective of evacuating renewable energy generated in the coastal area from wind farms towards the transmission grid, while strengthening the meshing of the Galician electrical network. It constitutes the technical and administrative basis required to obtain the necessary permits.

The substation has been designed using AIS (Air Insulated Substation) technology, as it is the most suitable solution for the planned location and for the operational requirements of the grid. The configuration adopted is breaker-and-a-half, a scheme recognized in the field of power transmission for its reliability, safety, and operational flexibility.

The switchyard is arranged in four bays, comprising a total of eight positions: two dedicated to the evacuation of energy from wind farms, two connections to the Spanish transmission grid operated by *Red Eléctrica de España*, one connection to a future 220 kV step-down substation, one line named *Línea Monte da Fraga*, and two spare positions reserved for future expansions.

The main equipment includes power circuit breakers, pantograph-type busbar disconnectors, column-type disconnectors with and without earthing switches, current transformers, capacitive voltage transformers, surge arresters, and the set of main, transfer, and high-level busbars. All of this equipment has been dimensioned to ensure safe and reliable operation at the 400 kV level, guaranteeing compliance with the electrical and mechanical requirements of service.

The main electrical characteristics of the installation are:

- Nominal voltage: 400 kV
- Maximum service voltage: 440 kV
- Short-circuit current: 50 kA
- Neutral grounding: solidly grounded

The main substation equipment includes:

Equipment	Units
Current transformers	18
SF ₆ circuit breakers	9
Pantograph busbar disconnectors	6
Column-type line disconnectors	12
Capacitive voltage transformers	18
Surge arresters	27
Busbar insulators (main busbar)	60

Table 2: Substation equipment

The design also considers the necessary civil works, which include earthworks, foundations, drainage and sewerage systems, a 2.5-meter-high galvanized perimeter fence, and access roads from the main highway. A 25×15 meter control building has been designed to house the telecontrol room, communications, auxiliary services, and archives, as well as prefabricated relay houses to accommodate protection panels and auxiliary boards. The installation will also feature lighting systems, physical security, fire protection, and an anti-intrusion system.

The necessary justification calculations for the installation have been carried out, including the mechanical design of rigid busbars, verification of minimum electrical clearances, analysis of the corona effect, and design of the earthing grid. The grounding system consists of a buried copper mesh with the appropriate geometry and soil resistivity to ensure safety against step and touch voltages.

The documentation is completed with the technical drawings of the location, single-line diagram, general layout, elevation, and site plan of the substation, in addition to the details of the control building and relay houses. The estimated construction budget of the substation amounts to €6,515,155.59, including switchgear, civil works, assembly, and commissioning. After applying the corresponding state subsidies, the economic study shows a theoretical profitability of 32.3%.

In conclusion, this project integrates all the technical, construction, and economic aspects required for the administrative processing of the 400 kV Ordes substation, providing a solid, safe, and scalable solution for the integration of renewable energy into the Galician transmission network.



PROYECTO DE EJECUCIÓN

PROYECTO TÉCNICO – ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE 400 kV PARA LA RED DE TRANSPORTE DE GALICIA

DOCUMENTO 1

MEMORIA

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>I</i>
Capítulo 1. MEMORIA.....	5
1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	5
1.2 Normativa aplicable	5
1.3 Alcance del proyecto.....	6
1.4 Objeto del proyecto	7
1.5 Emplazamiento	7
1.6 Planificación de la construcción	8
1.7 Tecnología de la aparamenta.....	8
1.8 Configuración de la subestación.....	9
1.9 Condiciones ambientales.....	9
1.10 Características eléctricas y distancias.....	10
1.11 Esquema unifilar.....	12
1.12 Aparamenta.....	13
1.13 Características de la aparamenta.....	14
1.13.1 Interruptores trifásicos	15
1.13.2 Seccionadores trifásicos	15
1.13.3 Transformadores de intensidad	16
1.13.4 Transformadores de tensión.....	17
1.13.5 Autoválvulas	18
1.14 Aisladores soporte.....	18
1.15 Red de tierras	19
1.15.1 Red de tierras inferiores.....	19
1.15.2 Red de tierras superiores.....	20
1.16 Embarrados.....	20
1.16.1 Embarrados principales	20
1.16.2 Embarrados secundarios	21
1.16.3 Embarrados de tendido alto	21
1.17 Estructuras metálicas	21
1.18 Obra civil	22
1.18.1 Movimiento de tierras.....	22
1.18.2 Drenajes y saneamientos	22

1.18.3 Cimentaciones	23
1.18.4 Vallado exterior	23
1.18.5 Accesos	23
1.18.6 Edificio de control	24
1.18.7 Casetas de relé	24
1.19 Acceso a las líneas	24
1.20 Sistemas de protección	25
1.20.1 Protecciones de barras	25
1.20.2 Protección de líneas	25
1.20.3 Protección de interruptores	26
1.20.4 Protección de posiciones	26
1.21 Sistemas auxiliares	26
1.21.1 Servicios auxiliares de corriente continua	26
1.21.2 Servicios auxiliares de corriente alterna	27
1.22 Sistemas de alumbrado	27
1.23 Sistema contra incendios	28
1.24 Sistema de telecomunicaciones	29
1.25 Sistemas anti-intrusismo	29
Capítulo 2. Cálculos	31
2.1 Cálculo de embarrados rígidos	31
2.1.1 Hipótesis del diseño	31
2.1.2 Condiciones de la instalación	32
2.1.3 Normativa aplicable	32
2.1.4 Características de los materiales y equipos a instalar	33
2.1.5 Cálculo mecánico del embarrado principal	34
2.1.6 Cálculo mecánico del embarrado secundario	40
2.2 Cálculo de efecto corona	44
2.2.1 Cálculo de la tensión disruptiva	44
2.3 Determinación de distancias mínimas en embarrados tendidos	45
2.3.1 Hipótesis de diseño	45
2.3.2 Normativa aplicable	46
2.3.3 Desplazamiento del vano con viento	46
2.3.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito	47
2.3.5 Aproximación de conductores	49
2.3.6 Distancia mínima	50
2.3.7 Distancias mínimas a adoptar	50
2.4 Selección de autoválvulas	50
2.4.1 Criterios de diseño	51
2.4.2 Elección del modelo	52
2.5 Cálculo de la red de tierras de la subestación	53

2.5.1 Red de tierras inferiores.....	53
2.5.2 Red de tierras superiores.....	59
Capítulo 3. Estudio económico.....	61
Capítulo 4. Anejos.....	62
4.1 Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).....	62
4.2 Interruptores trifásicos	63
4.3 Seccionadores trifásicos	64
4.4 Transformadores de intensidad	67
4.5 Transformadores de tensión capacitivos	68
4.6 Aisladores	69
4.7 Autoválvulas pararrayos.....	70

Capítulo 1. MEMORIA

1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La energía eólica marina ha emergido como una de las principales fuentes renovables con mayor potencial de desarrollo en Europa, destacando por su elevado factor de capacidad y por su menor impacto visual en comparación con los parques eólicos terrestres. En este contexto, la costa gallega se posiciona como un enclave estratégico gracias a sus condiciones de viento favorables y a su proximidad a los principales centros de demanda eléctrica, lo que ha motivado la planificación de diversos proyectos de generación marina en la región.

La integración de esta nueva capacidad renovable requiere infraestructuras eléctricas de transporte que permitan la evacuación segura y estable de la energía hacia el sistema peninsular. En particular, se hace necesaria la construcción de nuevas subestaciones de alta tensión capaces de absorber el incremento de generación y de garantizar la fiabilidad de la red existente.

Desde el punto de vista tecnológico, las subestaciones proyectadas en Galicia se desarrollan principalmente con tecnología AIS (Air Insulated Switchgear), que constituye la solución más adecuada en un entorno con disponibilidad de terreno, costes de inversión contenidos y facilidad de mantenimiento. Este tipo de instalaciones, ampliamente empleadas por Red Eléctrica de España en la red de transporte, permiten un diseño robusto y flexible para la conexión de nuevas líneas y transformadores, garantizando la continuidad de servicio y la seguridad operativa.

En este marco, el presente Trabajo de Fin de Grado aborda el diseño de una nueva subestación de alta tensión de 400 kV en la línea Mesón do Vento – Tui, concebida como infraestructura clave para la evacuación de la energía renovable generada en Galicia y dotada de los sistemas necesarios para su funcionamiento autónomo, seguro y eficiente.

1.2 NORMATIVA APLICABLE

El diseño y desarrollo de la subestación eléctrica terrestre de 400 kV para la evacuación de energía generada en un parque eólico marino debe ajustarse a un amplio marco normativo técnico y legal, tanto a nivel nacional como internacional. A continuación se detallan las principales disposiciones y estándares aplicables:

a) Normativa nacional

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión (RAT), aprobado mediante el Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, y sus correspondientes Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-RAT), especialmente las ITC-RAT 01 a 07, relativas a líneas, subestaciones, protecciones, puesta a tierra y verificación de instalaciones.

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), aprobado por Real Decreto 842/2002, en lo relativo a los servicios auxiliares de corriente alterna (CA) y continua (CC).
- Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (Real Decreto 1890/2008), para el diseño de la iluminación de la subestación.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, que regula el régimen jurídico de las actividades de generación, transporte y distribución eléctrica, incluyendo los requisitos de conexión a la red de transporte.

b) Normativa de Red Eléctrica Española (REE)

- Especificaciones Técnicas de REE para nuevas instalaciones de conexión a la red de transporte, donde se establecen los criterios constructivos, distancias mínimas, configuración del embarrado, disposición de los equipos primarios, y requisitos de operación, protección y control para nuevas subestaciones conectadas a su red.
- Guía de conexión a la red de transporte de REE, documento de referencia para la tramitación administrativa, ingeniería básica y condiciones técnicas necesarias para la integración de nuevas infraestructuras.

c) Normas UNE e IEC (normativa técnica)

- Normas UNE-EN adoptadas por AENOR, como:
 - UNE-EN 62271-1: *Equipos de conmutación de alta tensión – Parte general.*
 - UNE-EN 50522: *Puesta a tierra de instalaciones eléctricas.*
 - UNE-EN 61936-1: *Instalaciones eléctricas en sistemas de alta tensión > 1 kV CA.*
- Normas IEC equivalentes, utilizadas especialmente para equipos importados o en documentación técnica internacional, como:
 - IEC 60044 (Transformadores de medida)
 - IEC 62271 (Equipos de alta tensión)

d) Normativa ambiental y de planificación

- Ley 21/2013, de Evaluación Ambiental, que regula la evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructuras como subestaciones.
- Planes de desarrollo de la red de transporte publicados por REE y aprobados por el Ministerio, que condicionan la planificación de nuevas infraestructuras según necesidades de evacuación, refuerzo de mallado o integración de renovables.

- Normas IEE

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

En primer lugar, se llevará a cabo un análisis detallado de las necesidades del sistema eléctrico en el área de estudio, teniendo en cuenta los requerimientos establecidos por el transportista, la normativa aplicable y los condicionantes medioambientales asociados al emplazamiento. Sobre esta base, se definirá la configuración de la subestación, especificando la tipología, la capacidad prevista y la tecnología más adecuada para garantizar la seguridad y fiabilidad de la instalación.

El proyecto contempla la selección y dimensionamiento preliminar de la aparamenta y equipos principales, así como el diseño de los sistemas de puesta a tierra, servicios auxiliares y protecciones eléctricas. Se abordará también la disposición en planta de la instalación y el diseño básico de las edificaciones necesarias, como el edificio de control y las estructuras de soporte de equipos.

Asimismo, se elaborarán los cálculos justificativos que fundamenten las decisiones adoptadas para los elementos críticos de la subestación. Dichos cálculos estarán acompañados de los planos representativos de la instalación, incluyendo el esquema unifilar, las vistas en planta y elevación, y la implantación general del conjunto.

Finalmente, se desarrollará una estimación económica de la infraestructura, que permitirá evaluar los costes de construcción y puesta en servicio de la subestación, así como su viabilidad en el contexto de integración de generación renovable en Galicia.

1.4 OBJETO DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como objetivo alcanzar la tramitación oficial con el fin de obtener todos los permisos necesarios, garantizando el cumplimiento de la normativa técnica y administrativa vigente para diseñar una subestación de 400 kV en el municipio de Ordes, en la provincia de A Coruña.

La subestación se plantea como una instalación de la red de transporte, destinada a permitir la evacuación directa de la energía eléctrica generada en varios parques eólicos de la zona hacia el sistema eléctrico nacional a través de su conexión con la red de transporte operada por Red Eléctrica de España (REE).

Desde el punto de vista técnico, la subestación tiene los siguientes objetivos:

- Garantizar la evacuación eficiente y segura de la energía eólica existente y futura en el entorno.
- Cumplir con los requisitos de seguridad y fiabilidad.
- Contribuir al mallado y refuerzo de la red de transporte en Galicia, mejorando la calidad del suministro eléctrico.

1.5 EMPLAZAMIENTO

La subestación eléctrica proyectada se ubicará en el término municipal de Ordes, en la provincia de A Coruña, Galicia. El emplazamiento exacto se sitúa en una zona rural próxima al trazado de la línea de transporte eléctrico Mesón do Vento – Tui, gestionada por Red Eléctrica de España (REE). Las coordenadas geográficas aproximadas del centro del terreno son 43°04'59"N 8°24'47"W.

La parcela destinada a la construcción de la subestación dispone de una superficie aproximada de 20.000 metros cuadrados (2 hectáreas), con una configuración rectangular de unos 160 metros de longitud por 125 metros de anchura. Estas dimensiones permiten una

distribución adecuada de los diferentes componentes de la instalación, incluyendo las zonas destinadas a aparamenta, accesos, viales interiores, edificio de control, zonas de seguridad y servicios auxiliares.

1.6 PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción de la subestación se llevará a cabo en varias fases que se desarrollarán de forma secuencial y parcialmente solapada, con una duración estimada de 26 meses. La planificación estimada de estas tareas puede verse en la Tabla 3.

Planificación de la Construcción

Actividad	Inicio	Fin	Duración
Ingeniería de detalle	Mes 1	Mes 12	12 meses
Licencias y tramitación	Mes 1	Mes 15	15 meses
Movimiento de tierras	Mes 13	Mes 16	4 meses
Red de tierras	Mes 15	Mes 18	4 meses
Obra civil	Mes 14	Mes 20	7 meses
Montaje de aparamenta	Mes 18	Mes 23	6 meses
Pruebas	Mes 23	Mes 25	3 meses
Puesta en marcha	Mes 25	Mes 26	2 meses

Tabla 3: Planificación de la construcción

1.7 TECNOLOGÍA DE LA APARAMENTA

Para el diseño de la subestación eléctrica de 400 kV, se ha seleccionado la tecnología AIS (Air Insulated Switchgear). La decisión se justifica por la adecuación de esta solución a las características del emplazamiento en Ordes, donde existe disponibilidad de terreno y topografía favorable.

El uso de aparamenta AIS permite integrar la instalación en un espacio amplio y abierto, simplificando la disposición de los equipos y estructuras y reduciendo la complejidad de la obra civil. Esta tipología facilita la accesibilidad de los equipos para tareas de explotación y mantenimiento, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables y la fiabilidad en la operación de la subestación.

1.8 CONFIGURACIÓN DE LA SUBESTACIÓN

Para la subestación proyectada se ha decidido adoptar la configuración de interruptor y medio en doble barra, una solución habitualmente utilizada en instalaciones de transporte a 400 kV por su fiabilidad y flexibilidad operativa.

Este esquema permite mantener el suministro incluso en caso de fallo de un interruptor o de una de las barras, ya que los elementos afectados pueden ser aislados sin interrumpir la continuidad del servicio en el resto de la instalación. Asimismo, facilita la conexión de varias líneas y transformadores de potencia, ofreciendo la capacidad necesaria para la evacuación de energía renovable y posibilitando futuras ampliaciones sin necesidad de modificar la configuración básica.

La elección de este esquema responde a criterios de seguridad y operación, al favorecer intervenciones selectivas en equipos y reducir los tiempos asociados a maniobras de desconexión y reconexión. De esta manera, se garantiza que la subestación cumpla con los estándares de robustez y disponibilidad exigidos por el operador del sistema.

1.9 CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales en el municipio de Ordes se observan en la Tabla 4:

Condiciones	Unidades	Exterior
Temperatura máxima	°C	25-27
Temperatura mínima	°C	2-5
Humedad relativa media	%	70-80
Velocidad media del viento	Km/h	15-25
Altitud sobre el nivel del mar (s.n.m)	m	120-150
Sismo básico (aceleración)	g	≤0.04

Tabla 4: Condiciones ambientales en el municipio de Ordes.

La zona de emplazamiento presenta condiciones ambientales muy adecuadas para el desarrollo de la subestación eléctrica. Según los datos climatológicos provistos por la AEMET, las temperaturas oscilan entre 25–27 °C en verano y 2–5 °C en invierno, condiciones que favorecen la estabilidad operativa de los equipos de alta tensión. La humedad relativa media, que se sitúa entre 70% y 80%, y la velocidad media del viento, con valores aproximados de 15–25 km/h, se encuentran dentro de los límites exigidos para garantizar la integridad estructural de la instalación. Además, el terreno se ubica a una altitud de 120 a 150 metros sobre el nivel del mar, lo que contribuye a mantener condiciones atmosféricas estables, mientras que la aceleración sísmica básica, con un valor inferior o igual a 0,04 g (según el mapa de peligrosidad del IGN), confirma que el emplazamiento cumple con los requisitos normativos de seguridad. Estos parámetros, validados con datos oficiales de la AEMET, INE e IGN, aseguran que el terreno seleccionado es apto para el desarrollo del proyecto, proporcionando un entorno estable y seguro para la futura subestación.

1.10 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y DISTANCIAS

La subestación eléctrica proyectada funcionará a una tensión nominal de 400 kV, estando diseñada para soportar los niveles de aislamiento necesarios y las sollicitaciones mecánicas derivadas de su explotación en alta tensión.

Los niveles eléctricos adoptados son los siguientes:

- Magnitudes eléctricas:

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

Tabla 5: Magnitudes eléctricas

Estos valores garantizan la adecuación de la subestación a los criterios establecidos por las normas UNE-EN 60071-1, UNE-EN 60071-2 y el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (MIE-RAT).

En cuanto a las distancias mínimas en aire, se han adoptado las siguientes, en base a los criterios definidos por la normativa IEC-71 y la Instrucción Técnica MIE-RAT 12, así como por las recomendaciones del comité CIGRÉ para condiciones normales en intemperie:

- Distancias

Conductores rígidos

Distancia fase-tierra	Conductor-estructura	2600 mm
	Punto-estructura	3400 mm
Distancia fase-fase	Conductores paralelos	3600 mm
	Punta-conductor	4200 mm

Tabla 6: Distancias para conductores rígidos

Al encontrarse la subestación proyectada a una altitud de 292 metros sobre el nivel del mar, se considera que las distancias mínimas en aire anteriormente indicadas son plenamente

válidas, ya que se sitúan por debajo del umbral de 1000 metros que establece la necesidad de correcciones por rarefacción del aire.

Conductores tendidos:

Los conductores estarán sometidos a desplazamientos significativos durante determinadas condiciones de operación, lo que puede dar lugar a que, de forma transitoria, las distancias entre elementos activos se reduzcan por debajo de los valores normalizados. Por este motivo, será necesario considerar distancias mínimas de aislamiento temporales, aplicables en circunstancias específicas.

Estas situaciones se consideran aceptables bajo las siguientes premisas:

- Las sobretensiones presentes en estas condiciones estarán limitadas, produciéndose únicamente durante eventos de cortocircuito que coincidan con la máxima proximidad entre conductores.
- La zona del vano en la que puede producirse dicha aproximación será de extensión limitada y la duración del fenómeno, muy breve, lo que reduce considerablemente la probabilidad de fallo eléctrico.
- En el caso de conductores rígidos, se elimina la posibilidad de contactos peligrosos entre fases o con tierra como consecuencia de movimientos tras la aparición de un cortocircuito en la salida de línea.

Bajo estas condiciones excepcionales, se adoptarán las siguientes distancias mínimas de aislamiento:

Distancia fase-tierra	Conductor-estructura	1500 mm
	Punta-estructura	1800 mm

Tabla 7: Distancia para conductores tendidos

Las distancias previstas en el diseño de la subestación deberán garantizar condiciones seguras para el tránsito de personal técnico y el uso de herramientas, permitiendo además la circulación de vehículos pesados y equipos de elevación destinados a labores de mantenimiento, maniobra o sustitución de equipos. Asimismo, estas distancias facilitan el acceso a todos los elementos de la instalación y evitan interferencias operativas.

En la subestación se adoptarán las siguientes dimensiones estructurales y de distribución:

Entre ejes de aparellaje	5500 mm
Entre ejes de conductores tendidos	6000 mm
Entre embarrados principales	5500 mm
Anchura de calle	18000 mm
Altura de embarrados de interconexión entre aparato	8000 mm

Altura de embarrados altos	14000 mm
Altura de embarrados tendidos altos	20000 mm
Anchura de vial principal longitudinal	4500 mm
Anchura de vial secundario transversal	3500 mm
Anchura de gálidos en viales principales	6000 mm
Anchura de gálidos en viales secundarios	4000 mm

Tabla 8: Distancias establecidas para la subestación.

Todas estas dimensiones han sido diseñadas con un margen holgado respecto a los mínimos establecidos por la normativa vigente, aportando así mayor seguridad y flexibilidad a las tareas de operación y mantenimiento dentro del parque eléctrico.

1.11 ESQUEMA UNIFILAR

La instalación proyectada contará con un total de ocho posiciones, distribuidas en cuatro calles. De estas, seis estarán completamente operativas desde la puesta en servicio inicial, mientras que las dos restantes quedarán urbanizadas como reservas, sin equipar, pero preparadas para permitir ampliaciones futuras según las necesidades del sistema.

Las posiciones activas se dividen en distintos usos claramente definidos. En primer lugar, se disponen dos posiciones de línea de evacuación renovable, destinadas a la llegada de energía generada por dos parques eólicos híbridos conectados externamente a la subestación. Estas posiciones permiten canalizar la producción renovable hacia la red de transporte de manera eficiente y segura.

En segundo lugar, se habilitan dos posiciones de conexión directa con la red de transporte de 400 kV de Red Eléctrica de España (REE). Estas líneas permiten la interconexión con el sistema eléctrico nacional, facilitando tanto la evacuación de la energía generada como la operación segura y coordinada del sistema.

Adicionalmente, se equipa una posición que permite la conexión con una subestación reductora de tensión a 220 kV. Esta subestación facilita la evacuación de parte de la energía hacia redes regionales o permite la conexión de nuevos proyectos renovables en el entorno, reforzando la flexibilidad del nodo de evacuación y su escalabilidad.

También se contempla una posición equipada como línea eléctrica denominada “Línea eléctrica A Fraga”.

Por último, se proyectan dos posiciones adicionales sin equipar, ubicadas en la cuarta calle. Estas posiciones estarán urbanizadas desde el punto de vista civil y contarán con la preinstalación de canalizaciones necesarias, con el objetivo de facilitar futuras ampliaciones sin necesidad de realizar reformas estructurales en la subestación.

La distribución por calles será la siguiente:

Calle 1:

- Posición 1: Línea 1 – Evacuación parque eólico 1
- Posición 2: Conexión REE (Línea A)

Calle 2:

- Posición 3: Línea 2 – Evacuación parque eólico 2
- Posición 4: Conexión REE (Línea B)

Calle 3:

- Posición 5: Línea 5 – Conexión a SET 220 kV
- Posición 6: Línea 6 – Línea eléctrica A Fraga

Calle 4:

- Posición 7: Reserva 1 (sin equipar)
- Posición 8: Reserva 2 (sin equipar)

1.12 APARAMENTA

CALLE 1		
Aparamenta	Cantidad	Denominación
Seccionador de barras tipo pantógrafo	2 juegos	89B1-1, 89B2-1
Transformadores de intensidad	3 unidades 3 unidades	TIB1-1, TI01-1
Interruptores de potencia SF ₆ LTB 420E2	3 juegos	521-1, 520-1, 522-1
Seccionadores de salida con puesta a tierra	2 juegos	893-1/573-1, 894-1/574-1
Seccionadores de calle tipo columna giratoria	4 juegos	8910-1, 8901-1, 8902-1, 8920-1
Transformadores de tensión (TT capacitivo)	3 unidades 3 unidades	TC3-1, TC4-1, TC1-1
Autoválvulas (ABB EXLIM P)	3 juegos	PY3-1, PY4-1, PY5-1

Tabla 9: Aparamenta de la calle 1

CALLE 2		
Aparamenta	Cantidad	Denominación
Seccionador de barras tipo pantógrafo	2 juegos	89B1-2, 89B2-2
Transformadores de intensidad	3 unidades 3 unidades	TIB1-2, TI01-2

Interruptores de potencia SF ₆ LTB 420E2	3 juegos	521-2, 520-2, 522-2
Seccionadores de salida con puesta a tierra	2 juegos	893-2/573-2, 894-2/574-2
Seccionadores de calle tipo columna giratoria	4 juegos	8910-2, 8901-2, 8902-2, 8920-2
Transformadores de tensión (VT capacitivo)	3 unidades 3 unidades	TC3-2, TC4-2
Autoválvulas (ABB EXLIM P)	3 juegos	PY3-2, PY4-2, PY5-2

Tabla 10: Aparamenta de la calle 2

CALLE 3		
Aparamenta	Cantidad	Denominación
Seccionador de barras tipo pantógrafo	2 juegos	89B1-3, 89B2-3
Transformadores de intensidad	3 unidades 3 unidades	TIB1-3, TI01-3
Interruptores de potencia SF ₆ LTB 420E2	3 juegos	521-3, 520-3, 522-3
Seccionadores de salida con puesta a tierra	2 juegos	893-3/573-3, 894-3/574-3
Seccionadores de calle tipo columna giratoria	4 juegos	8910-3, 8901-3, 8902-3, 8920-3
Transformadores de tensión (TT capacitivos)	3 unidades 3 unidades	TC3-3, TC4-3
Autoválvulas (ABB EXLIM-P)	3 juegos	PY3-3, PY4-3, PY5-3

La Calle 4 queda habilitada civilmente para futuras posiciones. No se contempla la instalación de aparamenta activa en esta fase. Se ejecutarán las cimentaciones, canalizaciones y soportes estructurales necesarios para su futura ampliación.

1.13 CARACTERÍSTICAS DE LA APARAMENTA

A continuación se describe el conjunto de equipos de aparamenta previstos para la subestación, indicando los modelos seleccionados y sus características principales, en concordancia con los niveles eléctricos definidos previamente. La aparamenta se presenta organizada por calle.

1.13.1 INTERRUPTORES TRIFÁSICOS

Los interruptores permiten realizar maniobras de apertura y cierre en condiciones de servicio, sobrecarga o cortocircuito, manteniendo la integridad del sistema eléctrico y garantizando la continuidad del suministro. Están diseñados para operar de forma segura en condiciones de tensión y corriente nominal, así como para soportar solicitaciones transitorias de alta energía.

En esta subestación se instalan interruptores trifásicos del modelo LTB 420E2 de ABB, en tecnología SF₆ con corte por cámara simple por polo, cumpliendo con el reglamento ITC-RAT-06 y las normas UNE-EN 62271-100 e IEC 62271-1.

A continuación se muestran sus principales características técnicas:

Tensión nominal	420 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Tensión soportada a frecuencia industrial	520 kV (fase-tierra) / 610 kV (polo abierto)
Tensión soportada a impulso tipo rayo	1.425 kV (fase-tierra y polo abierto)
Tensión soportada a impulso tipo maniobra	1050 kV / 1575 kV (fase-fase / polo abierto)
Tensión soportada impulso maniobra a polo abierto	900 kV
Corriente nominal de servicio	4 kA
Corriente admisible de corta duración (1 s)	50 kA
Tiempo de corte	40 ms
Secuencia de operación nominal	O-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO

Tabla 11: Características del modelo LTB 420E2 de ABB.

1.13.2 SECCIONADORES TRIFÁSICOS

Los seccionadores son elementos esenciales para garantizar el aislamiento eléctrico de los distintos equipos de la subestación durante labores de mantenimiento o maniobras operativas. Su función principal es asegurar la apertura visible del circuito cuando no circula corriente, permitiendo así un entorno seguro para los trabajos.

En la subestación proyectada se han utilizado dos tipos de seccionadores, en función de su ubicación y función dentro del esquema eléctrico:

- Seccionador tipo pantógrafo

Se emplean para la conexión de los interruptores con los embarrados principales. Este tipo de seccionador permite una apertura vertical, lo que facilita el aislamiento entre fases y entre aparatos.

Se ha seleccionado el modelo SIEMENS 3DN3 para 420 kV, adecuado por su robustez mecánica, alta capacidad de aislamiento y uso extendido en instalaciones similares.

Sus principales características técnicas son:

Parámetro	Valor
Tensión máxima	420 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Corriente nominal	4 kA
Corriente de cortocircuito (1 s)	50 kA
Tensión soportada impulso rayo	1.425 kV
Tensión soportada frecuencia industrial	520 kV
Capacidad de cierre en cortocircuito	125 kA

Tabla 12: Características del modelo SIEMENS 3DN3

- Seccionador rotativo de columna

Este tipo de seccionador se emplea como seccionador de salida de posición y como seccionador de calle, tanto con como sin puesta a tierra. Permite un diseño compacto y fiable, adaptado a las necesidades de separación entre equipos.

El modelo seleccionado es el EDB420 de GILVA.

Sus principales características son:

Parámetro	Valor
Tensión máxima	420 kV
Corriente nominal	4 kA
Corriente de cortocircuito (1 s)	50 kA
Tensión soportada impulso rayo	1.425 kV
Tensión soportada frecuencia industrial	520 kV

Tabla 13: Características del modelo EDB420 de GILVA

Ambos tipos de seccionadores cumplen con la norma UNE-EN 62271-102 y las especificaciones establecidas por Red Eléctrica de España para instalaciones de transporte en 400 kV.

1.13.3 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

Los transformadores de intensidad son elementos fundamentales en la subestación, ya que permiten reducir los niveles de corriente a valores adecuados para los sistemas de protección, medida y control.

En esta subestación se ha optado por transformadores de intensidad del tipo inductivo encapsulado en resina epoxi, adecuados para intemperie y con un excelente comportamiento

ante condiciones ambientales adversas. El modelo seleccionado es el TRAFO I-U 420 kV, del fabricante TRAFOS, de uso habitual en subestaciones de transporte.

A continuación, se muestran sus principales características técnicas:

Parámetro	Valor
Tensión máxima de servicio	420 kV
Corriente primaria	1.500 A
Corriente secundaria	5 A
Tensión soportada a frecuencia industrial	520 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo	1.425 kV
Número de núcleos	2
Refrigeración	Aire – intemperie
Aislamiento	Resina epoxi

Tabla 14: . Características del transformador de intensidad TRAFO I-U 420 kV

Estos transformadores están instalados en cada posición de línea y de transformador, justo a la salida de los interruptores. Su selección responde a criterios de precisión, durabilidad y compatibilidad con los equipos de protección empleados en instalaciones de 400 kV.

1.13.4 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Los transformadores de tensión permiten reducir la tensión nominal de la instalación a niveles adecuados para los sistemas de medida, protección, supervisión y sincronización. En la presente instalación se han seleccionado transformadores capacitivos de tipo (CVT), los cuales son especialmente adecuados para tensiones de 400 kV, debido a su compacidad, fiabilidad y capacidad de adaptación a condiciones de intemperie.

El modelo escogido es el TRAFOS U-V 420 kV, diseñado para uso exterior y equipado con aislamiento en resina y componentes cerámicos.

Las características principales del modelo seleccionado son las siguientes:

Parámetro	Valor
Tensión máxima de servicio	420 kV
Tensión soportada impulso tipo rayo	1.425 kV
Tensión soportada a frecuencia industrial	520 kV
Tensión secundaria	100 / $\sqrt{3}$ V
Aislamiento	Cerámico / resina
Refrigeración	Aire – intemperie

Tabla 15: Características del transformador de tensión TRAFOS U-V 420 kV

Estos transformadores se sitúan en cada posición, acoplados al embarrado y a la salida de línea. Se instalan junto con las protecciones diferenciales y de sobretensión, garantizando el correcto funcionamiento de los equipos de protección y medida.

1.13.5 AUTOVÁLVULAS

Los pararrayos, también conocidos como autoválvulas o descargadores de sobretensión, son equipos de protección indispensables en una subestación de alta tensión. Su función es limitar las sobretensiones transitorias originadas por descargas atmosféricas o maniobras internas, protegiendo la aparamenta y garantizando la continuidad del servicio.

Para esta subestación se han seleccionado pararrayos del tipo EXLIM P de ABB, basados en bloques de óxido de cinc (ZnO) sin centelleadores en serie. Este tipo de tecnología proporciona una respuesta rápida, elevada capacidad de disipación de energía y un bajo nivel de mantenimiento.

A continuación, se presentan sus principales características técnicas:

Parámetro	Valor
Tensión continua de operación (U_c)	336 kV
Tensión nominal (U_r)	420 kV
Corriente nominal de descarga (8/20 μ s)	10 kA
Corriente de descarga máxima (4/10 μ s)	100 kA
Corriente de impulso de rayo	100 kA (10/350 μ s)
Energía específica de impulso	> 9 kJ/kV U_r
Altura del equipo	~3,5 m
Grado de protección	IP65

Tabla 16: Características del descargador de óxido de cinc ABB EXLIM P 420 kV

Los pararrayos se instalan a la salida de cada posición, antes del paso al sistema de transmisión, y también se ubican próximos al embarrado para proteger los interruptores y transformadores de sobretensiones. La elección de este modelo garantiza la compatibilidad con las tensiones de servicio de la subestación y el cumplimiento de la norma UNE-EN 60099-4.

1.14 AISLADORES SOPORTE

Los aisladores de soporte empleados en esta subestación tienen como finalidad sostener mecánicamente los tubos de embarrado rígido, proporcionando el aislamiento necesario respecto a tierra. Estos elementos deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas IEC 60815 e IEC 60137.

Se han seleccionado aisladores soporte tipo C15-1425 de POINSA para los embarrados principales.

Características	Valor
Carga de rotura a flexión	15.000 N
Carga de rotura a torsión	6.000 N
Altura del aislador	3.150 mm
Altura de la pieza soporte metálica	220 mm

Tabla 17: . Características del modelo C15-1425 de POINSA

Por otro lado, para los embarrados secundarios se han instalado aisladores soporte tipo C9-1425, también del fabricante POINSA.

Características	Valor
Carga de rotura a flexión	7.500 N
Carga de rotura a torsión	4.000 N
Altura del aislador	3.150 mm
Altura de la pieza soporte metálica	170 mm

Tabla 18: Características del modelo C9-1425 de POINSA

1.15 RED DE TIERRAS

1.15.1 RED DE TIERRAS INFERIORES

El sistema de puesta a tierra de la subestación está diseñado para disipar de forma segura las corrientes de fallo y las descargas atmosféricas, garantizando la seguridad de las personas y la integridad de los equipos.

Se ejecutará una malla enterrada compuesta por conductores de cobre desnudo de 120 mm² de sección, dispuestos formando retículas de 6×6 metros, con una profundidad de enterramiento de 0,6 metros. Esta configuración ha sido optimizada para adaptarse a las características del terreno del municipio de Ordes, cuya resistividad eléctrica se ha estimado en 300 Ω·m, valor típico de suelos graníticos y arcillosos en la zona, según referencias del Instituto Geológico y Minero de España.

La longitud total de conductor enterrado estimada en el diseño preliminar es de aproximadamente 8.750 metros, cubriendo toda la zona activa de la subestación y zonas sensibles (pórticos, embarrado, transformadores de medida, vallas metálicas, casetas de control).

Los cálculos de tensiones de paso y contacto, así como la verificación del diseño de la malla, se desarrollan detalladamente en el capítulo de cálculos del proyecto, de acuerdo con la normativa ITC-RAT 13 y UNE-EN 50522.

1.15.2 RED DE TIERRAS SUPERIORES

La red de tierras superior está concebida como el sistema encargado de interceptar las descargas atmosféricas directas y conducir la corriente captada hacia la red de tierras inferior, donde se disipa de forma segura. Su función es esencial para garantizar la seguridad del personal, así como para proteger la integridad de los equipos más sensibles de la subestación frente a sobretensiones de origen atmosférico.

El sistema se compone de hilos de guarda instalados longitudinalmente sobre los pórticos de entrada y salida de línea, a una altura suficiente para proporcionar un cono de protección adecuado sobre las posiciones activas. Además, se incluyen pararrayos tipo Franklin situados en los extremos de dichos pórticos, con el fin de ampliar el área de cobertura y reforzar la protección ante descargas verticales. Ambos elementos están conectados eléctricamente a la red de tierras inferior a través de las estructuras metálicas de soporte, lo que asegura una descarga eficaz y rápida de la corriente del rayo hacia el terreno.

El diseño de este sistema se ha realizado aplicando el modelo electrogeométrico de captación, ampliamente reconocido en normativa internacional. Esta solución técnica permite cumplir con los requisitos de la norma UNE-EN 62305-3, garantizando la continuidad del servicio y la protección de los equipos frente a fenómenos eléctricos atmosféricos.

1.16 EMBARRADOS

Los embarrados constituyen la infraestructura conductora que permite la interconexión eléctrica de los equipos de alta tensión dentro de la subestación. Su configuración ha sido definida en función del esquema de interruptor y medio adoptado y está diseñada para soportar la tensión de servicio de 400 kV, así como los esfuerzos térmicos y mecánicos derivados de condiciones de cortocircuito. A continuación, se resumen las características técnicas de los tres tipos de embarrado instalados.

1.16.1 EMBARRADOS PRINCIPALES

Características	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	250/228 mm
Espesor de la pared (e)	11 mm
Peso propio unitario (P_{pt})	22,30 kg/m
Sección (A)	8.259 mm ²
Carga de rotura del material (σ_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	5910 cm ⁴
Momento resistente (W)	473 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material ($R_{p0.2}$)	160 N/mm ²

Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	5.014 A.

Tabla 19: Características de los embarrados principales

1.16.2 EMBARRADOS SECUNDARIOS

Características	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	150/134 mm
Espesor de la pared (e)	8 mm
Peso propio unitario (P _{pt})	9,64 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a _R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	902 cm ⁴
Momento resistente (W)	120 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R _{po2})	160 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	3.250 A.

Tabla 20: Características de los embarrados secundarios

1.16.3 EMBARRADOS DE TENDIDO ALTO

Características	Valor
Formación	Dúplex
Tipo de cable	Lapwing
Sección total del conductor	861,33 mm ²
Diámetro exterior	38,16 mm
Peso propio del conductor	2,666 kg/m
Módulo de elasticidad de Young	70.000 N/mm ²
Intensidad admisible permanente (35 °C ambiente, 75 °C conductor)	2.129 A
Intensidad admisible permanente (10 °C ambiente, 75 °C conductor)	3.205 A

Tabla 21: Características de los embarrados de tendido alto

1.17 ESTRUCTURAS METÁLICAS

Las estructuras metálicas necesarias para el soporte de la aparamenta y de los sistemas de conexión estarán fabricadas con perfiles de acero estructural de alma llena, de calidad

S275JR, y cumplirán con los requisitos establecidos en la normativa ITC-RAT 07 y en los Eurocódigos aplicables. Estas estructuras se dispondrán sobre cimentaciones individuales de hormigón, dimensionadas para absorber los esfuerzos derivados del peso propio, acciones de viento, tensiones mecánicas transmitidas por el embarrado y sobrecargas puntuales debidas a mantenimiento.

Para garantizar su durabilidad en entornos exteriores, todas las estructuras y soportes contarán con protección mediante galvanizado en caliente, conforme a la norma UNE-EN ISO 1461. La fijación al terreno se realizará mediante pernos de anclaje embebidos en las cimentaciones, y el proceso de hormigonado se ejecutará en dos fases: una primera para la base del cimiento, y una segunda para el anclaje definitivo de cada estructura.

1.18 OBRA CIVIL

1.18.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

El terreno sobre el que se proyecta la subestación eléctrica requiere una adecuación mediante trabajos de desmonte y terraplenado que garanticen una superficie estable y nivelada para la posterior ejecución de las cimentaciones y canalizaciones. El movimiento de tierras contemplará la retirada de la capa vegetal superficial y la excavación hasta alcanzar la cota de desplante necesaria en cada punto de cimentación.

Los materiales provenientes de la excavación se acopiarán en obra para su posible reutilización como relleno, siempre que cumplan con los requisitos de compactación y resistencia establecidos en el pliego de condiciones. En caso contrario, se gestionarán como residuos de construcción conforme a la normativa medioambiental vigente.

Las pendientes del terreno resultante se ajustarán para facilitar el drenaje superficial, evitando acumulaciones de agua en el interior del recinto. Asimismo, se garantizará el acceso de maquinaria durante la fase de ejecución, respetando las zonas reservadas para canalizaciones y cimentaciones.

1.18.2 DRENAJES Y SANEAMIENTOS

Se instalarán los tubos de drenaje necesarios en la plataforma para garantizar la evacuación del agua pluvial en caso de precipitaciones intensas. Estos tubos serán perforados y se dispondrán en zonas estratégicas del terreno, de forma que se evite la acumulación de agua en el interior de la subestación y se asegure su desalojo en un tiempo óptimo.

Las aguas recogidas se canalizarán a través de colectores enterrados hacia el punto de vertido más próximo, conectando con la red de saneamiento existente en el municipio de Ordes, conforme a las indicaciones del Ayuntamiento. Asimismo, en el edificio de control se dispondrá una red de saneamiento destinada a recoger las aguas residuales procedentes de los aseos y lavabos, las cuales se descargarán igualmente en la red municipal.

1.18.3 CIMENTACIONES

Las cimentaciones proyectadas permitirán la sujeción y estabilidad de los distintos elementos de la subestación, como embarrados, estructuras metálicas, equipos de alta tensión y pórticos de líneas. Se ejecutarán utilizando zapatas cuadradas de hormigón armado, dimensionadas para resistir tanto las cargas estructurales como las solicitaciones derivadas de condiciones climáticas adversas y cargas eléctricas de operación.

Para los apoyos metálicos de los pórticos y de los embarrados, se utilizará un diseño de cimentación tipo pata de elefante, caracterizado por una base más ancha que proporciona una mayor superficie de apoyo y, por tanto, una mayor estabilidad frente a esfuerzos horizontales y verticales.

Todas las cimentaciones estarán adaptadas a las características geotécnicas del terreno y cumplirán con los requisitos establecidos en los documentos técnicos del proyecto, así como con la normativa estructural aplicable.

1.18.4 VALLADO EXTERIOR

Será imprescindible la instalación de un vallado perimetral que delimite todo el recinto de la subestación, con el fin de garantizar la seguridad frente al acceso de personas no autorizadas. Conforme a lo dispuesto en la ITC-RAT 15, este cerramiento deberá contar con una altura mínima de 2,2 metros desde el nivel del terreno exterior, incluyendo señalización visible de alta tensión a lo largo de todo su perímetro.

Para incrementar el nivel de protección y cumplir con los requisitos reglamentarios con un margen de seguridad adicional, se dispondrá una valla de 2,5 metros de altura, fabricada con paneles metálicos electrosoldados y galvanizados, que aseguren durabilidad y resistencia frente a condiciones ambientales adversas.

1.18.5 ACCESOS

Se habilitarán accesos adecuados para garantizar la entrada tanto de vehículos como de personal autorizado a las instalaciones de la subestación. Para la circulación de vehículos pesados, se proyectan caminos interiores de zorra compactada de al menos 4 metros de ancho, dimensionados para permitir el paso de maquinaria de transporte, montaje y mantenimiento. La entrada principal contará con un portón metálico galvanizado, que ofrecerá resistencia mecánica y durabilidad frente a condiciones ambientales adversas.

Asimismo, se habilitará un acceso peatonal independiente, dotado de puerta metálica de dimensiones reducidas, que permita el paso del personal técnico sin necesidad de abrir el portón principal. Ambos accesos estarán señalizados y protegidos, cumpliendo con las prescripciones establecidas en la ITC-RAT 15 y garantizando el control de acceso al recinto.

1.18.6 EDIFICIO DE CONTROL

El edificio de control está destinado a albergar los sistemas de protección, control, medida, comunicaciones y servicios auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento de la instalación. Su construcción se realizará con muros prefabricados de hormigón, cumpliendo los requisitos de resistencia mecánica y aislamiento térmico y acústico establecidos en el Código Técnico de la Edificación.

En su interior, el edificio estará dividido en varias estancias funcionales: una sala de control, sala de comunicaciones, sala de servicios auxiliares, almacén y aseos. Esta distribución permitirá organizar de forma adecuada los equipos y facilitar las labores de operación y mantenimiento. El acceso será exclusivo para personal autorizado y contará con cerramientos de seguridad.

Asimismo, el edificio dispondrá de sistemas de climatización y ventilación adaptados a los requerimientos de los equipos instalados, garantizando su óptimo funcionamiento y preservación.

1.18.7 CASETAS DE RELÉ

Se instalarán tres casetas de relés prefabricadas, una por cada calle equipada, suministradas por el fabricante Gilva. Estas casetas tendrán unas dimensiones aproximadas de 5×10 metros y estarán destinadas a albergar los sistemas de protección, medida y comunicaciones asociados a las posiciones correspondientes de cada calle.

En su interior, cada caseta dispondrá de bastidores con las protecciones específicas de las posiciones asignadas, un cuadro de servicios auxiliares de corriente alterna para la alimentación de la aparamenta y equipos de la calle, así como armarios de comunicaciones necesarios para garantizar la transmisión de señales con el edificio de control.

Para asegurar un entorno operativo estable, cada caseta estará dotada de un sistema de climatización que incluirá aire acondicionado y calefacción.

1.19 ACCESO A LAS LÍNEAS

La subestación se conectará a la red de transporte de 400 kV mediante dos posiciones de línea, destinadas a la evacuación de la energía generada y al refuerzo del mallado de la red en la zona. Ambas posiciones están completamente equipadas y operativas desde la puesta en servicio inicial del proyecto.

El acceso físico de estas líneas a la instalación se realizará de forma aérea, mediante pórticos de acometida situados en la zona noreste del recinto, adaptándose a la topografía del terreno y a la disposición de las infraestructuras existentes.

La elección del emplazamiento ha tenido en cuenta la facilidad de conexión con la red de transporte de alta tensión, así como la minimización del impacto ambiental derivado tanto de la ejecución de la subestación como del trazado de las líneas. El diseño de la obra contempla medidas correctoras y de integración paisajística, siguiendo las recomendaciones recogidas en el estudio de impacto ambiental incluido en la documentación técnica del proyecto.

1.20 SISTEMAS DE PROTECCIÓN

La función principal de los sistemas de protección es detectar situaciones anómalas en el sistema eléctrico y actuar automáticamente para aislar la zona afectada, evitando la propagación del fallo y facilitando la recuperación del servicio. Abarca líneas, barras, embarrados, transformadores y demás aparamenta.

El diseño de las protecciones sigue los criterios establecidos en la ITC-RAT 09, así como los Criterios Generales de Protección de Red Eléctrica de España. Entre las funciones de protección implementadas destacan los sistemas de doble diferencial con doble vía de comunicación y los sistemas de protección de distancia con ajustes de zona de respaldo (funciones 87 y 21) para las posiciones de línea.

Todo el conjunto de protecciones está conectado al sistema de control de la subestación, permitiendo su supervisión remota desde el centro de operación correspondiente.

1.20.1 PROTECCIONES DE BARRAS

Se instalarán relés de protección diferencial de barras, configurados en dos zonas independientes: una para cada barra del embarrado principal. La protección contará con dos niveles: una protección primaria (87B-1) y una secundaria (87B-2), ambas con detección selectiva ante fallos internos.

Para ello, se emplearán dos relés diferenciales de barras por cada barra, seleccionados del fabricante Siemens, modelo SIPROTEC 7SS85, conforme a las especificaciones técnicas del proyecto.

1.20.2 PROTECCIÓN DE LÍNEAS

Cada posición de línea contará con dos sistemas de protección independientes: una protección principal y una secundaria. Ambas estarán configuradas con funciones de distancia (21) y diferencial longitudinal (87), además de incorporar protecciones contra sobretensiones (59), reenganche automático (79) y sobreintensidad direccional de neutro (67N).

Se utilizarán relés SIPROTEC 5 modelo 7SL87 de Siemens, que integran estas funciones y permiten la comunicación redundante con los extremos de línea mediante doble canal de fibra óptica.

1.20.3 PROTECCIÓN DE INTERRUPTORES

Para la protección de los interruptores se dispondrá de un sistema específico que incluirá las siguientes funciones: relé de tensión mínima (27), protección de sobrecorriente instantánea y temporizada (50/51), protección de fallo de interruptor (50S-62), relé de comprobación de sincronismo (25), protección de discordancia de polos (2) y funciones de oscilografía para el registro de eventos.

El equipo seleccionado para esta función será el relé SEL-451 del fabricante Schweitzer Engineering Laboratories, que integra todas las funciones anteriores y permite su configuración flexible mediante comunicación IEC 61850.

1.20.4 PROTECCIÓN DE POSICIONES

Cada posición contará con su propio sistema de protección asociado, destinado a supervisar el correcto funcionamiento del interruptor de la posición correspondiente. Estas protecciones incluirán relé de tensión mínima (27), protección de fallo de interruptor (50S-62), relé de comprobación de sincronismo (25), protección de discordancia de polos (2) y sistema de oscilografía para el registro de eventos.

Se emplearán relés SEL-451 de Schweitzer Engineering Laboratories, que integran todas estas funciones y ofrecen comunicación mediante IEC 61850.

1.21 SISTEMAS AUXILIARES

Los sistemas auxiliares representan un componente esencial de la subestación, ya que se encargan de proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos de control, protección, medida y maniobra. Su objetivo es asegurar el suministro eléctrico continuo e independiente, incluso en situaciones de fallo en la red principal. Estos sistemas se dividen en dos grupos principales: servicios auxiliares en corriente continua y servicios auxiliares en corriente alterna.

1.21.1 SERVICIOS AUXILIARES DE CORRIENTE CONTINUA

El sistema de corriente continua de la subestación se estructurará en dos niveles de tensión: 125 Vcc y 48 Vcc. Ambos sistemas estarán diseñados para garantizar el funcionamiento autónomo y continuo de los elementos críticos de la instalación, incluso ante la pérdida de tensión alterna.

El sistema de 125 Vcc se encargará de suministrar energía a los relés de protección, dispositivos de control, señalización y circuitos de maniobra. Estará compuesto por dos

conjuntos independientes de baterías y rectificadores, configurados para garantizar redundancia. Este sistema también alimentará el cuadro general de corriente continua, que se ubicará en la sala de servicios auxiliares del edificio de control y se dividirá internamente para facilitar el mantenimiento y la operación segura.

Por otro lado, el sistema de 48 Vcc estará reservado para los equipos de comunicaciones, telecontrol y enlaces con el centro de operación. Al igual que el sistema anterior, contará con doble alimentación mediante rectificador-batería, proporcionando estabilidad y fiabilidad en el suministro.

Ambos sistemas estarán diseñados conforme a los requisitos establecidos por Red Eléctrica y en cumplimiento con la normativa ITC-RAT, asegurando su operatividad durante situaciones críticas sin depender del sistema de corriente alterna.

1.21.2 SERVICIOS AUXILIARES DE CORRIENTE ALTERNA

El sistema de servicios auxiliares en corriente alterna se encargará de suministrar energía a los subsistemas de uso general de la subestación, tales como la iluminación, climatización, equipos de comunicación, equipos de control, ventilación, tomas de corriente y cargadores de baterías.

Para ello, se dispondrá de un cuadro general de baja tensión ubicado en la sala de servicios auxiliares del edificio de control, que alimentará a los diferentes receptores eléctricos de la instalación. Este cuadro se conectará a la red de distribución interior de corriente alterna y estará adecuadamente protegido, cumpliendo con los requisitos técnicos establecidos por la normativa.

El cuadro de alterna alimentará:

- Los cuadros de distribución del edificio de control (iluminación interior y exterior, climatización, comunicaciones).
- Los cuadros de servicios auxiliares de cada caseta de relés.
- Los cargadores de baterías para los sistemas de corriente continua.

Todo el sistema se diseñará de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y los estándares técnicos definidos por Red Eléctrica Española, garantizando la fiabilidad y seguridad del suministro en condiciones normales y de emergencia.

1.22 SISTEMAS DE ALUMBRADO

Con el objetivo de garantizar unas condiciones óptimas de visibilidad y seguridad durante las operaciones y tareas de mantenimiento en la subestación, se ha previsto la instalación de sistemas de alumbrado exterior e interior.

Todo el sistema se alimentará a través del cuadro de distribución de servicios auxiliares de corriente alterna, ubicado en la sala de servicios del edificio de control. El diseño del

alumbrado cumplirá con lo estipulado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y el Código Técnico de la Edificación (CTE-DB-HE3).

Alumbrado exterior

El alumbrado exterior se realizará mediante 6 columnas metálicas galvanizadas de 9 metros de altura, distribuidas de forma estratégica en la plataforma. Cada columna contará con proyectores LED de 150 W, con flujo luminoso superior a 20.000 lúmenes y grado de protección IP66. Como referencia técnica, se ha considerado el modelo StradaLED MAXI de ELT, que ofrece un buen rendimiento en entornos industriales, bajo consumo energético y durabilidad superior a 50.000 horas. Esta iluminación cubrirá tanto las calles de aparcamiento como los accesos principales y zonas de maniobra.

Alumbrado interior

Para el alumbrado interior, se instalarán luminarias LED empotradas o de superficie en todas las estancias del edificio de control (sala de control, sala de comunicaciones, sala de servicios auxiliares, almacén y aseos), así como en las tres casetas de relés. Se prevé un total de 24 luminarias interiores de 36 W, con difusor opal y protección IP40. Se emplearán luminarias tipo LEDVANCE Damp Proof o equivalentes, adecuadas para entornos técnicos.

En todas las zonas interiores se integrará alumbrado de emergencia autónomo, con batería incorporada y autonomía mínima de una hora, para garantizar la evacuación segura en caso de fallo eléctrico.

1.23 SISTEMA CONTRA INCENDIOS

La instalación contará con un sistema de protección contra incendios diseñado para garantizar la seguridad de las personas, equipos e infraestructuras críticas. Este sistema contemplará la detección, señalización y extinción de posibles conatos de incendio, cumpliendo con la normativa vigente en materia de seguridad industrial y edificación.

Se instalarán detectores de humo y temperatura en las zonas más sensibles como el edificio de control, las casetas de relés y los cuadros eléctricos. En estos espacios también se dispondrá de extintores portátiles de polvo polivalente de 6 kg, distribuidos según el nivel de riesgo y accesibilidad, además de señalización luminosa de evacuación y sistemas de alarma acústico-visuales.

Todas las instalaciones y medidas se han proyectado conforme al siguiente marco normativo:

- Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, y Orden de desarrollo de 16 de abril de 1998)
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales (Real Decreto 786/2001, de 6 de julio)

- Código Técnico de la Edificación (CTE): Documento Básico SI “Seguridad en caso de incendio” (Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo)

De esta forma, se garantiza la protección adecuada frente a incendios tanto para las personas como para los equipos estratégicos de la subestación, manteniendo la continuidad de servicio y cumpliendo con los más altos estándares de seguridad.

1.24 SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

El sistema de comunicaciones permitirá la supervisión y el control remoto de la subestación, facilitando la operación eficiente y segura de todos los equipos. Además, proporcionará canales de comunicación internos y externos que agilizarán la coordinación con centros de operación y personal técnico.

Se instalará un sistema de telecomunicaciones para telemando y telecontrol, que permitirá la monitorización en tiempo real del estado de la instalación y el envío de órdenes desde el centro de control.

La subestación contará con una red de fibra óptica, necesaria para la transmisión rápida y segura de datos, utilizada en los sistemas de control y protección. Esta red partirá desde el armario de comunicaciones ubicado en el edificio de control y se extenderá hacia los distintos equipos de campo.

Se habilitará una red telefónica interna basada en tecnología IP, que permitirá la comunicación entre las distintas zonas de la instalación y con el exterior, garantizando así una respuesta rápida ante cualquier incidencia.

Todo el sistema estará diseñado con redundancia en los canales críticos, de modo que se asegure la disponibilidad permanente de las funciones de operación y protección.

1.25 SISTEMAS ANTI-INTRUSISMO

La subestación contará con un sistema antiintrusismo diseñado para evitar accesos no autorizados y garantizar la seguridad del recinto. El sistema estará compuesto por una combinación de dispositivos que permiten tanto la detección de intentos de intrusión como la supervisión remota de todo el entorno.

Se instalarán detectores volumétricos infrarrojos en puntos estratégicos del edificio de control y las casetas de relés, así como detectores magnéticos en las puertas de acceso que alertarán ante cualquier apertura no autorizada. Además, se dispondrá de cámaras de videovigilancia con visión nocturna que cubrirán todo el perímetro y zonas clave del interior de la instalación.

El sistema se completará con una sirena exterior que se activará en caso de intrusión, disuadiendo cualquier intento de acceso indebido. Todos los elementos estarán conectados al sistema de control central de la subestación y serán supervisables desde el centro de operación remoto.

Este sistema se ha diseñado de acuerdo con las recomendaciones de seguridad para instalaciones eléctricas críticas y con lo establecido en la ITC-RAT 15, integrándose con el resto de los sistemas de protección y comunicaciones de la subestación.

Capítulo 2. CÁLCULOS

En este capítulo se recogen los cálculos justificativos correspondientes a los elementos principales de la subestación eléctrica proyectada. Se analizan los esfuerzos mecánicos y eléctricos que actúan sobre el embarrado principal, comprobando su resistencia frente a cargas estáticas, dinámicas y térmicas. Asimismo, se evalúa el efecto corona, la dilatación térmica, las distancias mínimas entre conductores, y se dimensiona la red de tierras de la instalación conforme a los criterios establecidos por la normativa vigente. Todos los cálculos se han desarrollado aplicando hipótesis de diseño razonables, basadas en valores habituales para subestaciones de 400 kV, garantizando en todo momento la seguridad y fiabilidad de la instalación.

2.1 CÁLCULO DE EMBARRADOS RÍGIDOS

2.1.1 HIPÓTESIS DEL DISEÑO

Para el desarrollo de los cálculos se han adoptado una serie de hipótesis de diseño que permiten dimensionar y justificar los elementos estructurales y eléctricos principales de la subestación. Todos los valores utilizados han sido extraídos y adaptados del documento técnico “Anexo de Cálculos del Proyecto de Ejecución de Subestación 400 kV (Edición 3)”, el cual recoge de forma detallada las metodologías de cálculo y los criterios empleados habitualmente en el diseño de subestaciones de alta tensión. Este documento ha servido como referencia principal para establecer las condiciones de contorno y los parámetros geométricos, eléctricos y mecánicos necesarios para el análisis. Se adoptan los siguientes valores de diseño:

- $I_{cc3} = 50 \text{ kA}$
- $R/X = 0.07$
- Duración del cortocircuito: 0.5 s

Conductor rígido y condiciones del vano:

Se realizan conexiones con dos tipos de tubos de tubo compuesto de aluminio.

- A) Tubo $\varnothing 250/228 \text{ mm}$ en las barras principales.
- B) Tubo $\varnothing 150/134 \text{ mm}$ en embarrados bajos.

Las condiciones del vano serán las siguientes:

Vano A:

Longitud de vano: 20 m
Distancia entre fases: 5 m
Anclajes: Fijo – Elástico

Vano B:

Longitud de vano: 8 m
Distancia entre fases: 5 m
Anclajes: Fijo - Elástico

2.1.2 CONDICIONES DE LA INSTALACIÓN

Según la Norma Básica de la Edificación NBE-AE-88 y también las tablas de REE y UNE-EN 1991-1-4 (Eurocódigo del viento), Galicia y en concreto la provincia de A Coruña se clasifican en:

- Zona de viento tipo B (media-alta exposición)
- Velocidad básica de viento: 140 km/h
- Presión de viento a 140 km/h = 95,3 DaN/m

Ordes también se clasifica dentro de la zona B de carga de nieve y hielo, según normativa UNE y datos históricos de AEMET. Se considera una zona con formación moderada de hielo, especialmente en embarrados expuestos al exterior.

Espesor de hielo de cálculo: 10 mm
Densidad del hielo: 900 kg/m³
Manguito de 180 $\sqrt{d}$ g/m (con d en mm)
Vano A: 2,846 kg/m
Vano B: 2,204 kg/m

2.1.3 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.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS A INSTALAR

Embarrado principal, Vano A:

Características	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	250/228 mm
Espesor de la pared (e)	11 mm
Peso propio unitario (P_{pt})	22,30 kg/m
Sección (A)	8.259 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	5910 cm ⁴
Momento resistente (W)	473 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R_{p02})	160 N/mm ²
Coeficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	5.014 A.

Tabla 22: Características de los embarrados principales.

Embarrado secundario, Vano B:

Características	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	150/134 mm
Espesor de la pared (e)	8 mm
Peso propio unitario (P_{pt})	9,64 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	902 cm ⁴
Momento resistente (W)	120 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R_{p02})	160 N/mm ²
Coeficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	3.250 A.

Tabla 23: Características de los embarrados secundarios.

- 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 de la pieza soporte	220 mm

Tabla 24: Características de los aisladores soporte para el vano A.

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 de la pieza soporte	170 mm

Tabla 25: Características de los aisladores soporte para el vano B.

2.1.5 CÁLCULO MECÁNICO DEL EMBARRADO PRINCIPAL

2.1.5.1 Corriente de cortocircuito

Como se especificó en las hipótesis de diseño, la intensidad de cortocircuito trifásico (I_{cc}) es de 50 kA.

La intensidad de cresta, (S/ CEI 909) vale:

$$I_p = \chi \times \sqrt{2} \times I_{cc} = 128,27 \text{ kA}$$

con:

$$\chi = 1,02 + 0,98 \times e^{-3R/X} = 1,814$$

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

2.1.5.2 Tensión en el tubo

Esfuerzos:

- Viento

$$F_v = P_v \times D = 953 \times 250 \times 10^{-3} = 238,2 \text{ N/m}$$

Siendo,

P_v : presión del viento a 140 km/h

D : Diámetro exterior del tubo

- Peso propio

Peso del tubo: $F_{pp} = 218,5 \text{ N/m}$

Peso Cable amortiguador: $F_{ca} = 26,2 \text{ N/m}$ en los $4/3$ del vano (Lapwing), equivalentes con $4/3 * 26,2 = 34,9 \text{ N/m}$

Peso total: $F_p = F_{pp} + F_{ca} = 253,4 \text{ N/m}$

- Hielo

Ordes se encuentra en Zona B, entonces, el esfuerzo dado por el hielo es:

$$F_h = 180 \sqrt{D} * g = 180 \sqrt{250} * 9,81/1000 = 27,9 \text{ N/m}$$

- Cortocircuito

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

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

I_p = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$).

a = Distancia media entre fases

Al sustituir, se obtiene: $F_s = 569,9 \text{ N/m}$

Los esfuerzos dinámicos dependen de la frecuencia de vibración propia del tubo, que es función del tubo, el vano y los apoyos, y que permite calcular dos coeficientes que determinan el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el tubo:

$V\sigma$ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico

Vr = factor que tiene en cuenta el reenganche

La frecuencia de vibración de un tubo vale, S/ CEI 865:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \times \sqrt{\frac{EI}{m}} = 1,57 \text{ Hz}$$

Donde:

I = inercia de la sección del tubo

m = masa unitaria del tubo + cable amortiguador

E = Módulo de Young del material

l = longitud del vano

γ = coeficiente del tubo y los apoyos: 1,57 en este caso.

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema establece los valores de V_σ y V_r :

$$f_c/50 = 0,031$$

De esta forma:

$$V_\sigma = 0,298$$

$$V_r = 1,8$$

La tensión de trabajo en el tubo por esfuerzo dinámico de cortocircuito, vale:

$$\sigma_m = V_\sigma \times V_r \times \beta \times \frac{F_s \times l^2}{8 \times z} = 31,89 \text{ N/mm}^2$$

Donde: $\beta = 1$ S/CEI 865

Z = Módulo resistente de la sección del tubo

La tensión producida por la suma geométrica de las tensiones producidas por los distintos esfuerzos, en sus direcciones respectivas. Considerando todas las cargas uniformemente repartidas es:

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

Donde:

l = longitud del vano

z = módulo resistente de la sección

P = carga repartida que produce el esfuerzo

Por viento:
$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{238,25 \cdot 20^2}{473} = 25,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por peso propio:
$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{253,4 \cdot 20^2}{473} = 26,78 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por hielo:
$$\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{27,9 \cdot 20^2}{473} = 2,95 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

La tensión máxima vale:
$$\sigma_{max} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_v)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 64,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia vale: *Coef. seguridad* =

$$\frac{R_{p0,2}}{\sigma_{max}} = \frac{160}{64,8} = 2,47$$

La norma CEI 865 establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumple que:

$$\sigma_{max} \leq q \cdot R_{p0,2} \rightarrow 64,8 \leq 1,332 \cdot 160 = 211,52 \frac{N}{mm^2}$$

Donde q = factor de resistencia del conductor, que vale 1,332 para tubo $\varnothing 250/228$, y $R_{p0,2} = 160 \text{ N/mm}^2$.

Como se puede observar, el tubo está lejos del límite para esfuerzos en cortocircuito. Para calcular el factor de resistencia del conductor, se obtiene de la siguiente ilustración.

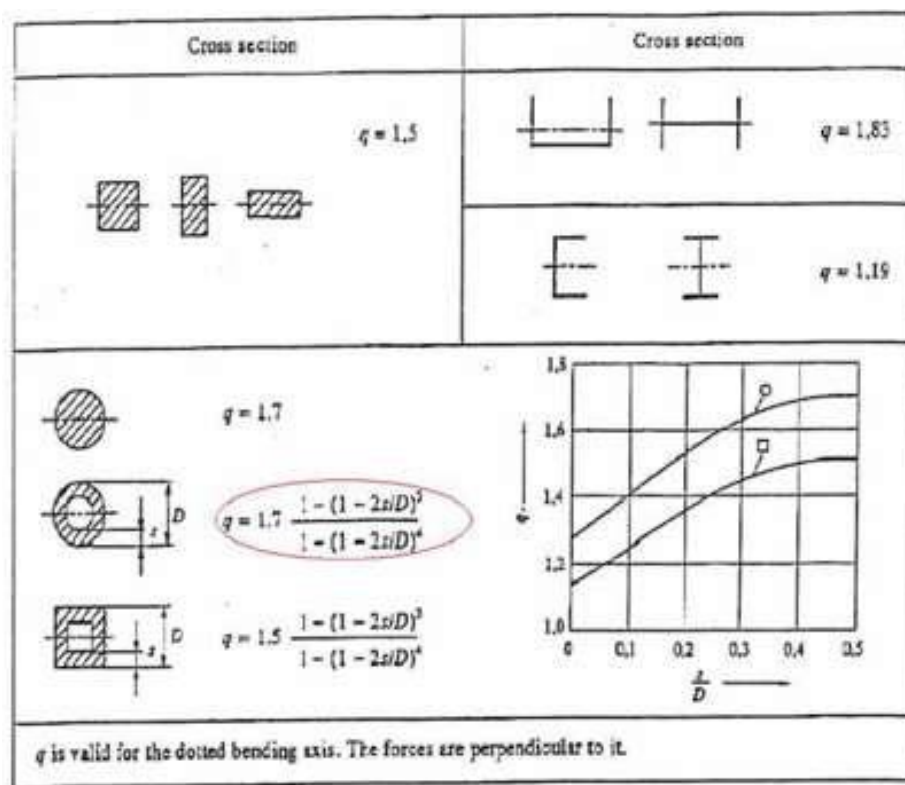


Figura 1: Obtención del factor de resistencia del conductor.

2.1.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El esfuerzo máximo se presentará en los aisladores ubicados en la parte intermedia del vano, tomando como referencia el doble del esfuerzo que se genera en los extremos del mismo, conforme a lo establecido en la norma CEI 865.

En esta situación, únicamente deben considerarse acciones de tipo horizontal.

- Viento sobre el tubo: $F_v = 953 \cdot 250 (\varnothing \text{ tubo mm}) \cdot 10^{-3} = 238,25 \text{ N/m}$
- Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = 0,866 \times V_f \times V_r \times \frac{\mu_0 \times I_{p3}^2}{2 \times \pi \times a} = 336,9 \text{ N/m}$$

Donde V_f = factor de carga, dependiente de la relación $f_c/50 = 0,031$, que vale 0,328.

Teniendo en cuenta estos esfuerzos, el esfuerzo que se ejerce sobre los aisladores soporte:

$$F_t = 2 \cdot (F_v + F_{da}) \cdot l \cdot \alpha = 11.503,24 \text{ N} \quad \text{con } \alpha = 0,5 \text{ (coeficiente de reparto para el soporte crítico del vano)}$$

El esfuerzo se produce a lo largo del eje del tubo, el cual se encuentra a 220 mm por encima del extremo superior del aislador, que tiene una altura total de 3.150 mm.

$$F_{total} = F_t \cdot \frac{(\text{altura aislador} + \text{dist eje} - \text{aislador})}{\text{altura aislador}} = 12.306,64 \text{ N}$$

El aislador trabajará, en las peores condiciones, con un coeficiente de seguridad frente a la carga inferior de rotura de:

$$\frac{F_{max}}{F_{total}} = \frac{16000}{12.306,64} = 1,30$$

2.1.5.4 Flecha en el tubo

Se calcula la flecha máxima para un vano con la siguiente expresión:

$$f = \alpha_f \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot J} \cdot 100 \text{ (cm)} = 12,74 \text{ cm}$$

Donde:

- P: fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)
- l: Longitud del vano (m)
- E: Módulo de elasticidad del material (N/mm²)
- J: Momento de inercia de la sección (cm⁴)
- α_f : factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

La carga P a considerar, es el peso propio del tubo, más el cable amortiguador y el manguito de hielo.

2.1.5.5 Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado, por efectos térmicos se dilatará, y se calcula la elongación con la siguiente expresión:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 20,7 \text{ mm}$$

Donde: l_0 = longitud inicial de l tubo (m) [20m]
 α = coeficiente de dilatación lineal del tubo = 0,023 mm/m°C
 $\Delta\theta$ = incremento de temperatura entre la de montaje (35°) y la de servicio (80°) [45°]

2.1.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

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

$$I_{\theta} = I_{cc} \times \sqrt{(m + n)} = 46,24 \text{ kA}$$

m y n son coeficientes térmicos de disipación, y valen 0,097 y 0,758.

El valor obtenido debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, que en este caso, tratándose de un proceso adiabático, cuenta con una densidad de corriente en cortocircuito ρ de 116 A/mm².

Para el tubo actual, la capacidad térmica es:

$$S \cdot \rho = 8259,2 \cdot 116 = 958 \text{ kA}$$

Este valor es muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación y por lo tanto se cumple la condición.

2.1.5.7 Intensidad nominal de las barras

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

De acuerdo con la norma 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). Se tienen en cuenta por lo tanto los siguientes factores:

- k1 = 0,925 (Tipo de aleación)
- k2 = 1,25 para temperatura final de 80 °C
- k3 = 1 por ser tubo
- k4 = 0,98 (instalación a menos de 1000 m.s.n.m.)

$$I_{\max} = I_n \cdot k1 \cdot k2 \cdot k3 \cdot k4 = 5681,5 \text{ A}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot 400\text{kV} = 3936 \text{ MVA}$$

La potencia es muy superior a la necesaria.

2.1.6 CÁLCULO MECÁNICO DEL EMBARRADO SECUNDARIO

2.1.6.1 Corriente de cortocircuito

Se utilizará la corriente de cortocircuito mencionada en las hipótesis iniciales (50kA).

La intensidad de cresta de cortocircuito trifásico es la misma que se había calculado para el embarrado principal.

$$I_p = \chi \times \sqrt{2} \times I_{cc} = 128,27 \text{ kA}$$

2.1.6.2 Tensión en el tubo

Esfuerzos:

- Viento
 $F_v = 953 \times 150 \times 10^{-3} = 142,95 \text{ N/m}$
- Peso propio
 $F_{pp} = 94,43 \text{ N/m}$ (peso del tubo)
Peso del cable amortiguador: $F_{ca} = 2/3 \times 15,68 = 10,45 \text{ N/m}$
Peso total: $F_p = F_{pp} + F_{ca} = 104,9 \text{ N/m}$
- Hielo
Como se mencionó anteriormente, el municipio de Ordes está situado en zona B (Factor 0,18). Por lo tanto: $F_h = 180 \sqrt{150 \times 9,81/1000} = 21,62 \text{ N/m}$
- Cortocircuito
La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión:

$$F_s = 0,866 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a} = 569,69 \text{ N/m}$$

Donde:

I_p = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$).

a = Distancia media entre fases

Al ser la distancia entre fases y la corriente de cresta la misma que en el embarrado principal, el esfuerzo por cortocircuito es el mismo.

Los esfuerzos dinámicos dependen de la frecuencia de vibración propia del tubo, que es función del tubo, el vano y los apoyos, y que permite calcular dos coeficientes que determinan el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el tubo:

$V\sigma$ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico

V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche

La frecuencia de vibración de un tubo vale, S/ CEI 865:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \times \sqrt{\frac{EI}{m}} = 5,96 \text{ Hz}$$

Donde:

I = inercia de la sección del tubo

m = masa unitaria del tubo + cable amortiguador

E = Módulo de Young del material

l = longitud del vano

γ = coeficiente del tubo y los apoyos: 1,57 en este caso

Relación entre la frecuencia de vibración y la frecuencia nominal:

$$f_c/50 = 0,119$$

Ya se pueden obtener los coeficientes y el esfuerzo dinámico:

$$V\sigma = 0,756 + 4,49 \cdot e^{-1,68 \cdot 1,6} + 0,54 \cdot \log(0,119) = 0,563$$

$$Vr = 1 - 0,615 \cdot \log(0,119) = 1,570$$

La tensión de trabajo en el tubo por esfuerzo dinámico de cortocircuito, vale:

$$\sigma_m = V_\sigma \times V_r \times \beta \times \frac{F_s \times l^2}{8 \times z} = 33,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 1 \quad \text{S/CEI 865}$$

Z = Módulo resistente de la sección del tubo

Se muestra a continuación la tensión resultante de la combinación de todos los esfuerzos en sus respectivas direcciones, considerando una distribución uniforme de las cargas.

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

Donde:

l = longitud del vano

z = módulo resistente de la sección

P = carga repartida que produce el esfuerzo

Tensiones:

Por viento:
$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{142,95 \cdot 8^2}{120,32} = 9,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por peso propio:
$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{104,89 \cdot 8^2}{120,32} = 6,97 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por hielo:
$$\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{21,6 \cdot 8^2}{120,32} = 1,43 \frac{N}{mm^2}$$

La tensión máxima vale:
$$\sigma_{max} = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_v)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 43,7 \frac{N}{mm^2}$$

Coeficiente de seguridad: El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia vale:
$$Coef. seguridad = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{max}} = \frac{160}{43,7} = 3,66$$

La norma CEI 865 establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumple que:

$$\sigma_{max} \leq q \cdot R_{p0,2} \rightarrow 43,7 \leq 1,344 \cdot 160 = 215,04 \frac{N}{mm^2}$$

Donde q = factor de resistencia del conductor, que vale 1,344 para tubo Ø 150/134, y $R_{p0,2} = 160 \text{ N/mm}^2$.

Como se puede observar, el tubo está lejos del límite para esfuerzos en cortocircuito.

2.1.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte

Se asumirá que la mayor parte del esfuerzo en el vano analizado actúa sobre los aisladores intermedios, por lo que se aplicará un factor de 0,5 al esfuerzo generado en dicho vano, conforme a lo indicado en la norma CEI 865. Además, únicamente se tendrán en cuenta las acciones de tipo horizontal.

- Viento sobre el tubo:

$$F_v = 953 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 142,95 \text{ N/m}$$

- Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = 0,866 \times V_f \times V_r \times \frac{\mu_0 \times I_{p3}^2}{2 \times \pi \times a} = 563,89$$

Donde V_f = factor de carga, dependiente de la relación $f_c/50 = 0,119$, que vale 0,631.

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos vale:

$$F_t = 2 \cdot (F_v + F_{da}) \cdot \alpha = 5654,7 \text{ N} \quad \text{con } \alpha = 0,5$$

El esfuerzo se produce a lo largo del eje del tubo, el cual se encuentra a 170 mm por encima del extremo superior del aislador, que tiene una altura total de 3.150 mm.

$$F_{total} = F_t \cdot \frac{(altura \text{ aislador} + dist \text{ eje} - aislador)}{altura \text{ aislador}} = 5961,84 \text{ N}$$

El aislador trabajará, en las peores condiciones, con un coeficiente de seguridad frente a la carga inferior de rotura de:

$$\frac{F_{max}}{F_{total}} = \frac{8000}{5961,84} = 1,34$$

2.1.6.4 Flecha en el tubo

Con la siguiente expresión se calcula la flecha máxima para un vano:

$$f = \alpha_f \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot J} \cdot 100 \text{ (cm)} = 0,9 \text{ cm}$$

Donde: P: fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)
l: Longitud del vano (m)
E: Módulo de elasticidad del material (N/mm²)
J: Momento de inercia de la sección (cm⁴)
 α_f : factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

La carga a considerar en este caso, es el peso propio del tubo, más el cable amortiguador y el manguito de hielo.

2.1.6.5 Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado, por efectos térmicos se dilatará, y se calcula la elongación con la siguiente expresión:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta = 8,3 \text{ mm}$$

Donde: l_0 = longitud inicial de l tubo (m) [8m]
 α = coeficiente de dilatación lineal del tubo = 0,023 mm/m°C
 $\Delta \theta$ = incremento de temperatura entre la de montaje (35°) y la de servicio (80°) [45°]

2.1.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

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

$$I_{\theta} = I_{cc} \times \sqrt{(m + n)} = 46,24 \text{ kA}$$

m y n son coeficientes térmicos de disipación, y valen 0,097 y 0,758.

El valor obtenido debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, que en este caso, tratándose de un proceso adiabático, cuenta con una densidad de corriente en cortocircuito ρ de 116 A/mm².

Para el tubo actual, la capacidad térmica es:

$$S \cdot \rho = 3569 \cdot 116 = 414 \text{ kA}$$

Este valor es muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación y por lo tanto se cumple la condición.

2.1.6.7 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido, según fabricante es de 3250 A con 30 °C de temperatura ambiente y 65 °C de temperatura de trabajo del tubo.

De acuerdo con la norma 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). Se tienen en cuenta por lo tanto los siguientes factores:

k1 = 0,925 (Tipo de aleación)

k2 = 1,25 para temperatura final de 80 °C

k3 = 1 por ser tubo

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

$$I_{\max} = I_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 = 3682,6 \text{ A}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot 400\text{kV} = 2551 \text{ MVA}$$

La potencia es muy superior a la necesaria.

2.2 CÁLCULO DE EFECTO CORONA

El efecto corona se produce cuando el voltaje en los conductores aumenta, lo que genera un incremento en el gradiente de potencial sobre su superficie. Si este gradiente supera el valor crítico de ruptura del aire que los rodea, se provoca la ionización del mismo. Este fenómeno se manifiesta mediante un zumbido característico y una luminiscencia azulada alrededor del conductor.

2.2.1 CÁLCULO DE LA TENSIÓN DISRUPTIVA

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

$$U_c = m_0 \cdot \delta \cdot E_{0f} \cdot R \cdot \ln(D/R)$$

Donde:

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:

$$D = \sqrt[3]{2} \cdot 500 = 630 \text{ cm}$$

Embarrado principal A: $D = 630 \text{ cm}$

Embarrado secundario B: $D = 630 \text{ cm}$

Con la siguiente expresión se calcula la densidad del aire:

$$\delta = \frac{3,92 \cdot H}{273 + \varnothing} = 0,937$$

Donde:

H : presión atmosférica en cm de mercurio. La subestación se encuentra a una altura inferior de 1000 metros sobre el nivel del mar, por lo tanto, se considera 760 mmHg de presión.

$\varnothing$: temperatura del aire, en este caso son 45° que es el caso más desfavorable.

E_{0f} = valor eficaz de campo eléctrico crítico para la aparición del efecto corona. Para conductores paralelos el valor máximo de campo viene dado por:

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

Sustituyendo obtenemos un valor máximo de campo de:

Embarrado principal A: $E_0 = 30,58 \text{ kV/cm}$

Embarrado secundario B: $E_0 = 31,30 \text{ kV/cm}$

Calculando el valor eficaz se obtiene:

Embarrado principal A: $E_{of} = E_0 / \sqrt{2} = 21,62 \text{ kV/cm}$

Embarrado secundario B: $E_{of} = E_0 / \sqrt{2} = 22,13 \text{ kV/cm}$

Ahora que ya se puede calcular la tensión disruptiva se obtiene:

Embarrado A.- $U_c = 1 * 0,937 * 21,62 * 12,5 * \ln(630/12,5) = 992,42 \text{ kV}$

Embarrado B.- $U_c = 1 * 0,937 * 22,13 * 7,5 * \ln(630/7,5) = 688,99 \text{ kV}$

Esta tensión disruptiva está calculada para buenas condiciones ambientales. Para el caso de tiempos de niebla, nieve o tempestad debe considerarse disminuida en un 20%, es decir, en este caso:

Embarrado A.- $U_c = 0,8 * 992,42 \text{ kV} = 794,112 \text{ kV}$

Embarrado B.- $U_c = 0,8 * 688,99 \text{ kV} = 551,2 \text{ kV}$

Por el hecho de estar en el mismo plano los conductores, la tensión disruptiva referida al conductor central debe ser disminuida en un 4% y aumentada en un 6% para los conductores laterales respectivamente.

Como se ve los valores obtenidos están muy alejados de la tensión eficaz entre fase y tierra de los conductores (242 kV - para 420 kV) por lo que no es de esperar que el efecto corona se produzca.

2.3 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS EN EMBARRADOS TENDIDOS

2.3.1 HIPÓTESIS DE DISEÑO

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 LAPWGIN (ns = 2)
Diámetro del conductor:	$\phi = 38,16 \text{ mm}$
Sección del conductor:	$A_s = 861,3 \text{ mm}^2$
Peso propio del conductor:	$m_s = 2,666 \text{ kg/m}$
Módulo de elasticidad:	$E = 70.000 \text{ N/mm}^2$
Distancia entre fases:	a = 6 m
Longitud media de cadenas	4,5 m
Separación entre conductores de la misma fase:	0,40 m
Rigidez de los soportes:	$S = 7,5 * 10^4 \text{ N/m}$
Tiempo de despeje de defecto:	$T_{kl} = 0,5 \text{ seg}$

Intensidad de cortocircuito:	$I_{k3} = 50 \text{ kA}$
Relación R/X del sistema:	$R/X = 0,07$
Tensión máxima:	1.050 kg a 50 °C (10.300,5 N)

Se comprobará además, el desplazamiento máximo en cortocircuito y la pérdida de distancia que esto produce, de acuerdo con lo estipulado en la norma CEI/UNE/EN 865.

2.3.2 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.

2.3.3 DESPLAZAMIENTO 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:

$$F_v = 68 \cdot 0,03816 = 2,59 \text{ kg/m}$$

y el desplazamiento máximo del conductor será:

$$\theta = \arctg \frac{F_v}{P} = 44,2^\circ$$

$$d_{max} = f_{max} \cdot \sin \theta = 0,97 \text{ m}$$

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:

$$D_{\min} = (0,75 \cdot 3,6) + 2 \cdot 0,97 + 0,4 = 4,14 \text{ m}$$

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.

2.3.4 EFECTO EN CONDUCTORES POR CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO

2.3.4.1 Dimensiones y parámetros característicos

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

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

Donde :
 I''_{k3} es la corriente simétrica de cortocircuito trifásico [50kA]
 l_c : longitud de vano sin cadenas [38m]
 l : longitud total del vano [47m]
 a : separación entre fases [6]
 μ_0 : permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$)

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

$$r = \frac{F'}{n \cdot m_s \cdot g} = 0,97$$

donde,
 n : número de conductores por fase [2]
 m_s : peso de uno de los conductores [2,666kg]
 g : aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

La dirección resultante de la fuerza será

$$\delta_1 = \arctg r = 44,01^\circ$$

La flecha estática en el conductor tendido vale:

$$b_c = \frac{n \cdot m_s \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{st}} = 1,4 \text{ m}$$

donde $F_{st} = 10300,5 \text{ N}$ es la fuerza de tracción estática del conductor para el caso más desfavorable, que será el de flecha máxima para 50°C .

Para esta flecha, el período de oscilación vale:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{0,8b_c}{g}} = 2,12 \text{ s}$$

El período resultante en caso de cortocircuito vale:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2} \left[1 - \frac{\pi^2}{64} \left(\frac{\delta_1}{90} \right)^2 \right]} = 1,87 \text{ s}$$

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

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

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, $F_{st}/nA_s < \sigma_{fin}$, con lo que $E = 3,02 \cdot 10^{10} \text{ N/m}$

El factor de carga del conductor vale:

$$\xi = \frac{(nm_s gl)^2}{24 F_{st}^3 N} = 0,76$$

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

$$N = \frac{1}{Sl} + \frac{1}{nEA_s} = 3,03 \cdot 10^{-7}$$

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

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

En este caso, $T_{k1}/T_{res} = 0,27 < 0,5$, con lo que $\delta_k = 48,77^\circ$

El ángulo máximo de oscilación que se puede producir corresponde a una duración de cortocircuito inferior o igual a la duración del cortocircuito establecida T_{k1} , y se calcula como:

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

con

$$\chi = \begin{cases} 1 - r \sin \delta_k & si \quad 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ \\ 1 - r & si \quad \delta_k > 90^\circ \end{cases}$$

En este caso, $\delta_k = 48,77 < 90^\circ$, con lo que $\chi = 0,27$ y $\delta_m = 84,13^\circ$

2.3.4.2 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:

$$F_t = 1,1 F_{st} (1 + \psi \varphi) = 18300 \text{ N}$$

Donde: F_{st} es la fuerza estática en el conductor.

φ 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 :

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

ψ es un parámetro que combina los dos factores de carga, ζ y φ , y que se calcula como una solución real de la 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 $T_{k1} = 0,5 > T_{res}/4 = 0,067$, $\varphi = 1,17$

Y con $\varphi = 1,17$, y $\zeta = 0,76$, ψ (de acuerdo con la figura citada) = 0,52

2.3.5 APROXIMACIÓN DE CONDUCTORES

El valor del desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito:

$$b_h = CF * CD * b_C \sin \delta_1 \quad \text{si } \delta_m \geq \delta_1$$

$$b_h = CF * CD * b_C \sin \delta_m \quad \text{si } \delta_m < \delta_1$$

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:

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

En este caso, con $r = 0,97$, $C_f = 1,07$

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:

$$\varepsilon_{ela} = (F_t - F_{st}) / N = 24,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

y la deformación térmica:

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

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

Resolviendo en las expresiones anteriores se obtiene, dado que $T_{k1} > T_{res}/4$:

$$\varepsilon_{th} = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

y así, $C_d = 1,44$

como $\delta m = 84,13 > 44,01$

$$b_h = 1,07 \cdot 1,44 \cdot 1,3 \cdot \sin 44,01^\circ = 1,49 \text{ m}$$

2.3.6 DISTANCIA MÍNIMA

Distancia mínima entre conductores en cortocircuito:

$$D = a - b_h \cdot 2 - 0,4 = 6 - 2 \cdot 1,49 - 0,4 = 2,61 \text{ m}$$

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.

2.3.7 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

2.4 SELECCIÓN DE AUTOVÁLVULAS

Las redes eléctricas deberán contar con protección frente a sobretensiones. Para ello, será necesario elegir adecuadamente las autoválvulas, las cuales deberán estar diseñadas conforme a lo establecido en las normativas UNE-EN 60099-1 y UNE-EN 60099-4.

2.4.1 CRITERIOS DE DISEÑO

La tensión de funcionamiento continuo, U_c , se define como el valor eficaz máximo de tensión a frecuencia industrial que puede mantenerse de forma permanente entre los terminales de un pararrayos, según indica el Reglamento sobre Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (RAT). En este caso, U_m corresponde a la tensión más elevada del equipo, establecida en 420 kV.

$$U_c = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 242,5 \text{ kV}$$

- Capacidad frente a sobretensiones temporales:

$$U_R = k \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{T_t}{10}\right)^{0,02} = 319,75 \text{ kV}$$

Donde:

$k=1,4$, por estar puesto rígidamente a tierra
 $T_t=0,5$ s, tiempo de despeje de faltas a tierra.

- Nivel básico de aislamiento:

La determinación del nivel de aislamiento básico (BIL) de los transformadores suele realizarse aplicando un factor de protección, generalmente fijado en un valor de 1,4. En el apartado correspondiente a la coordinación de aislamiento frente a sobretensiones de origen atmosférico, se ha calculado un nivel de aislamiento normalizado de 1425 kV.

$$U_{BIL} = \frac{1425 \text{ kV}}{1,4} = 1017,9 \text{ kV}$$

- Corriente nominal de descarga:

Según la norma UNE-EN 60099-4, la capacidad de absorción de energía de un pararrayos está directamente relacionada con su corriente nominal de descarga, la cual se selecciona exclusivamente en función de la intensidad de corriente que deberá circular a través del dispositivo. Para sistemas con tensiones comprendidas entre 245 kV y 420 kV, la norma IEC 99-5 indica que los pararrayos con una corriente nominal de descarga de 20 kA son, por lo general, adecuados para ofrecer una protección eficaz.

- Clase de descarga de la línea: Este valor indica la corriente máxima que el pararrayos puede soportar sin sufrir daños ni comprometer su capacidad de protección. De acuerdo con la norma UNE-EN 60099-4, la clasificación correspondiente se puede observar en la Tabla 26:

Tensión nominal del sistema	Clasificación de autoválvulas					
	5 kA	10 kA			20 kA	
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
$U_n \leq 66 \text{ kV}$						
$66 < U_n \leq 220 \text{ kV}$						
$220 < U_n \leq 380 \text{ kV}$						
$U_n > 380 \text{ kV}$						

Tabla 26: Clase de descarga según la tensión nominal.

- Línea de fuga:

La línea de fuga de la autoválvula se calcula como:

$$L_{fuga} = L_{min} \cdot U_m = 8,4 \text{ m}$$

Donde,

$L_{min} = \frac{20 \text{ mm}}{\text{kV}}$, longitud mínima específica (se ha considerado nivel medio de contaminación)

U_m : tensión más alta del material [420 kV]

2.4.2 ELECCIÓN DEL MODELO

	Características calculadas	Características del modelo
Tensión de funcionamiento continuo, U_c	242,5 kV	264 kV
Tensión residual	1017,9 kV	823 kV
Corriente nominal de descarga	20 kA	20 kA
Clase de descargas	4/5	4
Línea de fuga	8,4 m	11,002 m

Tabla 27: Comparación de las características calculadas con las del modelo elegido

2.5 CÁLCULO DE LA RED DE TIERRAS DE LA SUBESTACIÓN

2.5.1 RED DE TIERRAS INFERIORES

Para el diseño del sistema de puesta a tierra, se deberán considerar los valores límite de tensión de paso y de contacto establecidos en el Reglamento de Centros de Transformación, concretamente en su artículo MIE-RAT 13, así como lo indicado en la norma IEEE 80-2000, "*IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*".

2.5.1.1 Características del terreno

Para el cálculo del sistema de puesta a tierra de la subestación, es necesario definir un valor representativo de la resistividad eléctrica del terreno. Dado que no se dispone de un estudio geotécnico específico para el emplazamiento concreto en el municipio de Ordes (A Coruña), se ha optado por estimar dicho parámetro en base a las características geológicas y climáticas de la zona. Ordes se encuentra en una región de suelos predominantemente graníticos y elevada humedad ambiental debido a su clima oceánico, con precipitaciones medias anuales superiores a los 1.500 mm. Este tipo de terreno presenta resistividades moderadas, que habitualmente oscilan entre los 100 y 500 $\Omega \cdot m$ según lo indicado en fuentes técnicas y manuales de referencia (IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), 2013). Teniendo en cuenta estas condiciones y siguiendo criterios conservadores para garantizar la eficacia del sistema de tierras, se adopta un valor de 300 $\Omega \cdot m$ como resistividad del terreno para el diseño del sistema de puesta a tierra.

2.5.1.2 Tensión de paso y contacto de 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) (ρ_s):	3000 $\Omega \cdot m$.

Según el MIE-RAT 13, las tensiones de paso y contacto máximas admisibles se observan en la Tabla 28:

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

Tabla 28: Tensión de contacto aplicada según la duración de falta.

Por lo tanto para una duración de falta de 0,5 s, $U_{ca} = 204V$ y la tensión de paso permitida es 10 veces la tensión de contacto, $U_{pa} = 2040V$.

Según la norma ITC-RAT-13, las tensiones máximas admisibles en la subestación serán:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{R_{a1} + 1,5 \cdot \rho_s}{Z_B} \right) = 1326 \text{ V}$$

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{Z_B} \right) = 40800 \text{ V}$$

Donde ρ_s es la resistividad de la capa superficial de grava ($3000\Omega m$), R_{a1} es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela es aislante (2000Ω) y Z_B es la impedancia del cuerpo humano (1000Ω).

Según la norma IEEE-80-2000 dichos valores son (para una persona de 50 kg):

$$E_{paso} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} = 5120,87 \text{ V}$$

$$E_{contacto} = (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} = 1555,33 \text{ V}$$

Siendo C_s el factor de reducción siguiente:
$$C_s = 1 - \frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \cdot h_s + 0,09} = 0,72$$

Donde:

ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) = 300 $\Omega \cdot m$
 ρ_s : resistividad de la gravilla ($\Omega \cdot m$) = 3.000 $\Omega \cdot m$
 h_s : espesor capa de gravilla (m) = 0,1 m

2.5.1.3 Resistencia de puesta a tierra

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

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 0,52 \Omega$$

donde:

ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) = 300 $\Omega \cdot m$
 L : Longitud total de conductor enterrado (m) = 8750 m
 h : Profundidad de enterramiento del conductor (m) = 0,8 m
 A : Superficie ocupada por la malla (m^2) = 20000 m^2

Se ha considerado la malla compuesta por cable de Cu de 120 mm^2 con un diámetro de 0,014 m

2.5.1.4 Intensidad de defecto a tierra

La corriente de una falta monofásica a tierra representa el 80 % de la corriente máxima de cortocircuito contemplada en el diseño de la subestación, que en este caso es de 50 kA. Esto implica que la corriente de defecto equivale a 40 kA.

De acuerdo con lo establecido en el reglamento MIE-RAT 13, si el neutro está conectado directamente a tierra, debe aplicarse una reducción del 30 % sobre ese valor. Además, la norma IEEE-80-2000 introduce un factor de reducción adicional, denominado S_f , el cual considera las trayectorias alternativas de retorno proporcionadas por los cables de guarda de las líneas de distribución y transmisión que llegan a la subestación.

Para determinar este factor, se utiliza un gráfico específico Figura 2, que relaciona la resistencia de puesta a tierra con el número de líneas de transmisión y distribución conectadas. En este caso, la subestación cuenta con 3 líneas, lo que implica asumir una contribución del 100 % por parte de las fuentes remotas y ninguna local.

Teniendo en cuenta que la resistencia de puesta a tierra previamente calculada es de 0,52 Ω , y que la resistencia de las líneas se estima en 15 Ω , el valor del factor de reducción obtenido es del 50 %.

Por lo tanto, la corriente total que la red de tierra debe disipar es:

$$I_g = 40 \cdot 0,7 \cdot 0,35 = 9,8 \text{ kA}$$

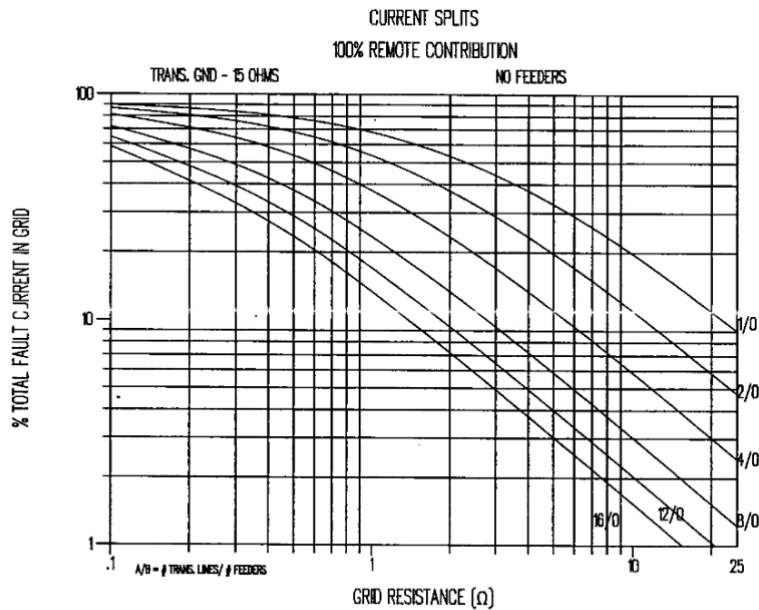


Figure C.13—Curves to approximate split factor S_f

Figura 2: riente de falta frente a resistencia de puesta a tierra.

2.5.1.5 Evaluación de tensiones de paso y contacto

Tensión teórica de contacto

La tensión de contacto se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_M} = 1.143 \text{ V}$$

Sustituyendo valores:

Donde:

- $\rho = 300 \Omega \cdot \text{m}$
- $I_G = 9,8 \text{ kA}$
- $K_m = 0,625$
- $K_i = 5,45$
- $L_M = 8750 \text{ m}$

Cálculo del factor de irregularidad K_i :

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

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot 32,5 = 5,45$$

Cálculo del factor de espaciado de la malla Km:

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

Siendo:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^n} = 0,756$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = \sqrt{1 + \frac{0,8}{1}} = 1,28$$

Finalmente:

$$K_m = 0,625$$

Parámetros geométricos de la malla:

- A = 20.000 m²
- LC = 8750 m
- Lp = 650 m
- Lx = 194,5 m
- Ly = 153,2 m
- d = 0,014 m
- h = 0,8 m
- D = 6 m
- Dm = 247,58 m

Cálculo del factor de geometría nn:

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

Donde:

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} = 26,92$$

$$n_b = \frac{L_p}{\sqrt{4A}} = 1,151$$

$$n_c = \left(\frac{L_x L_y}{A} \right)^{0,7} = 1,05$$

$$nd = \frac{Dm}{\sqrt{Lx^2 + Ly^2}} = 1,00$$

Por tanto:

$$n = 26,92 \cdot 1,151 \cdot 1,05 \cdot 1,00 = 32,5$$

Tensión teórica de paso

La tensión de paso se calcula mediante:

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_s \cdot K_i}{L_s} = 534 \text{ V}$$

Donde:

- $K_s = 0,22$
- $L_s = 0,75 \cdot L_M = 6562,5 \text{ m}$

Cálculo de K_s :

$$\frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5n^{-2}) \right] = 0,257$$

Siendo:

$$D = 6 \text{ m},$$

$$h = 0,8 \text{ m}$$

$$n = 32,5$$

2.5.1.6 Sección mínima del conductor

$$A = I \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r} \right) \ln \left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a} \right)}} = 77,91 \text{ mm}^2$$

donde:

I: Mitad de la intensidad de falta a tierra = 20 kA

t_c : Tiempo máximo de falta = 0,5 s

T_m : Temp. máxima que pueden alcanzar el conductor y las uniones = 300 °C

T_a : Temperatura ambiente = 40 °C

TCAP: Capacidad Térmica del conductor 3,42 J/cm³·°C

α_r : coeficiente térmico de resistividad a 20 °C, 0,00381 1/°C

ρ_r : resistencia del conductor a 20 °C; 1,78 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

K_o : inversa del coef. Térmico de resistividad a 0 °C. 242

A: Sección mínima del conductor (mm²)

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:

$$I_{\text{max}} = 2 \cdot 192 \cdot 120 = 46 \text{ kA.}$$

Este valor es mucho mayor que la mitad de la corriente de falta a tierra, que era de 20 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.

2.5.1.7 Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos los valores de las tensiones de paso y contacto están por debajo de los permitidos por el MIE-RAT 13, y del IEEE-80-2000, por lo que el diseño de la malla sería válido.

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.

2.5.2 RED DE TIERRAS SUPERIORES

La función principal del sistema de tierras aéreas es interceptar las descargas eléctricas de origen atmosférico y conducirlas de forma segura hacia la malla enterrada, de modo que puedan ser disipadas en el terreno sin poner en riesgo la integridad del personal ni de los equipos de la subestación.

Este sistema está compuesto por hilos de guarda y/o pararrayos tipo Franklin instalados sobre estructuras elevadas. Estos elementos están conectados eléctricamente a la malla de tierra

mediante las estructuras metálicas que los sostienen, las cuales aseguran una conexión adecuada con el sistema de puesta a tierra.

Para el diseño de este sistema de protección se ha empleado el modelo electrogeométrico, que es el enfoque comúnmente aceptado para analizar el comportamiento de las descargas eléctricas atmosféricas.

El principio de seguridad adoptado es el del apantallamiento completo, lo que implica proteger por completo los equipos y embarrados del aparellaje. Según este criterio, toda descarga atmosférica capaz de generar sobretensiones superiores al nivel de aislamiento de la instalación debe ser interceptada por los hilos de guarda.

Este apantallamiento se logra organizando los elementos de captación de forma que su zona de cobertura incluya completamente las partes activas de la instalación.

La zona protegida se determina en función del radio crítico de cebado (r), el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

en donde: $I = 1,1 \times U \times N / Z$, siendo:

U = tensión soportada a impulsos tipo rayo = 1425 kV

N = número de líneas conectadas a la subestación = 2

Z = Impedancia característica de las líneas = 400Ω

La zona de captura tendrá un radio crítico de 30,5 m

El radio crítico de 30,5 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.

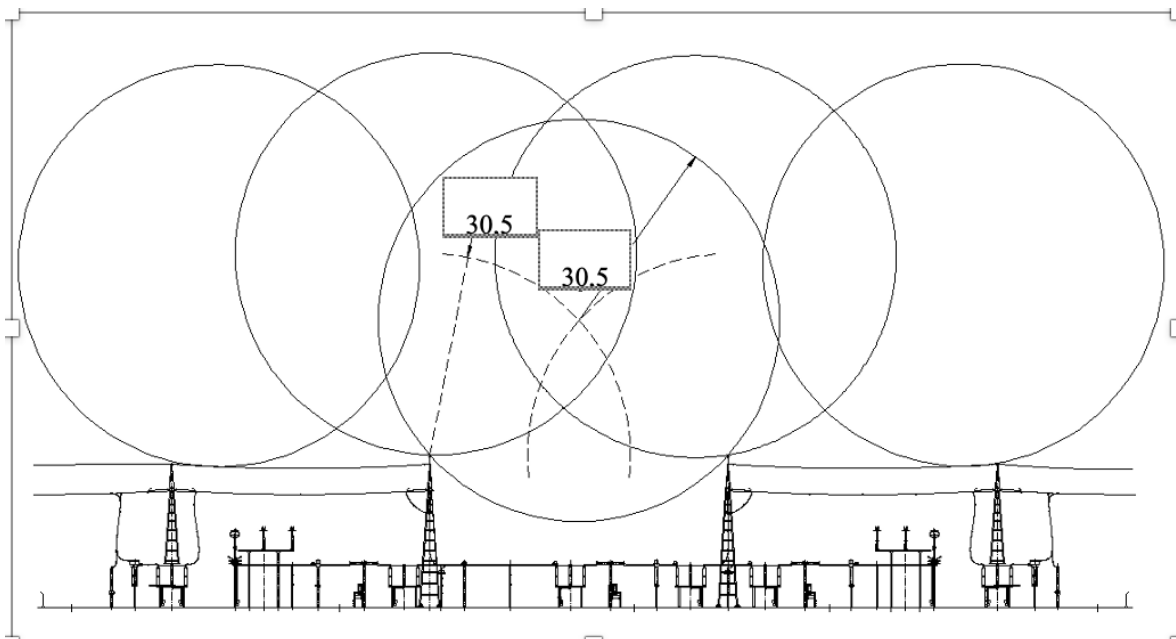


Figura 3: Alzado de la subestación mostrando el radio crítico.

Capítulo 3. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se analiza la viabilidad económica del proyecto de la subestación eléctrica, considerando una inversión inicial de 6.515.155,59 €, correspondiente al presupuesto total de ejecución, según se detalla en el “Documento 4 - Presupuesto”.

Al tratarse de una infraestructura privada, se contemplan las ayudas previstas por el Estado, recogidas en el BOE del 12 de diciembre de 2025. Dichas subvenciones se distribuyen de la siguiente manera:

- Por cada posición convencional equipada de 400 kV - 50 kA se recibirá una subvención de 1.043.909 €.
- Por cada posición de reserva convencional no equipada, la ayuda corresponde al 41,4% del importe de una posición equipada.

En este proyecto, la subestación se ha configurado con 6 posiciones equipadas y 2 posiciones de reserva, por lo que el importe total de subvención a percibir es:

$$\text{Subvención} = 6 \times 1.043.909 + 2 \times (0,414 \times 1.043.909) = 7.125.828,66 \text{ €}$$

$$\text{Rentabilidad} = \frac{7.125.828,66 - 6.515.155,59}{6.515.155,59} \times 100 = 32,3\%$$

Capítulo 4. ANEJOS

4.1 *OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)*

El desarrollo del presente proyecto contribuye directamente al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9, definido por la Agenda 2030 de la ONU, orientado a construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.

ODS 9: “Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y la innovación”

La ejecución de la subestación orientada a la evacuación de energía eólica permite reforzar y modernizar la red de transporte eléctrico, lo que supone una mejora de la infraestructura energética nacional. Esta instalación facilita la integración de fuentes de generación renovable, garantizando la fiabilidad y continuidad del suministro eléctrico, y apoyando el desarrollo de un sistema eléctrico más eficiente, robusto y sostenible.



Figura 4: Objetivos de desarrollo sostenible

4.2 INTERRUPTORES TRIFÁSICOS

Datos técnicos según IEC

		LTB 72,5D1/B	LTB 145D1/B	LTB 170D1/B	LTB 72,5E1	LTB 170E1	LTB 245E1	LTB 420E2	LTB 550E2
Número de cámaras de corte por polo		1	1	1	1	1	1	2	2
Tensión nominal	kV	72,5	145	170	72,5	170	245	420	550
Frecuencia nominal	Hz	50/60	50/60	50/60	50 60	50 60	50 60	50 60	50 60
Nivel soportado a la frecuencia industrial ¹⁾									
- A tierra y entre fases	kV	140	275	325	140	325	460	520	620
- A través de polo abierto	kV	140	275	325	140	325	460	610	800
Nivel soportado a impulso tipo atmosférico (LIWL)									
- A tierra y entre fases	kV	325	650	750	325	750	1050	1425	1550
- A través de polo abierto	kV	325	650	750	325	750	1050	1425 (+240)	1550 (+315)
Nivel soportado a impulsos tipo operación (SIWL)									
- A tierra/entre fases	kV	-	-	-	-	-	-	1050/1575	1175/1760
- A través de polo abierto	kV	-	-	-	-	-	-	900 (+345)	900 (+450)
Distancia de fuga	mm/kV	25	25	25	25	25	25	25	25
Corriente nominal de servicio	A	3150	3150	3150	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
Factor de primer polo		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	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
Duración de cortocircuito	s	3	3	3	3	3	3	3	3
Tiempo de cierre	ms	< 40	< 40	< 40	< 55	< 55	< 55	< 70	< 70
Tiempo de apertura	ms	22	22	22	17	17	17	18	18
Tiempo de corte	ms	40	40	40	40	40	40	40	40
Tiempo muerto	ms	300	300	300	300	300	300	300	300
Secuencia de operación nominal	-	O-0,3s-CO-3min-CO o CO-15s-CO							

¹⁾Hasta 245 kV inclusive, las tensiones nominales soportadas a la frecuencia industrial rigen para condiciones húmedas y secas.

Dimensiones - LTB E

LTB 420E2

Operación monopolar

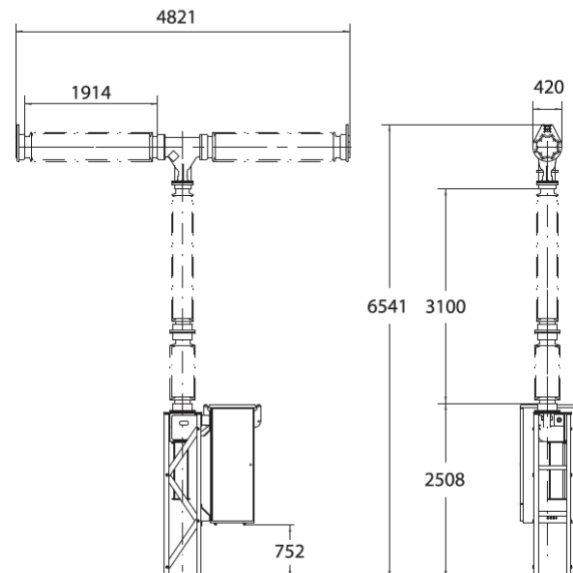
Tensión nominal: 362 - 420 kV

Todas las dimensiones están en mm

Dimensiones disponibles de alturas hasta la parte inferior del aislador (mm)

Tensión nominal					
420 kV	1950	2508*	2992	3642	4142

* Estándar



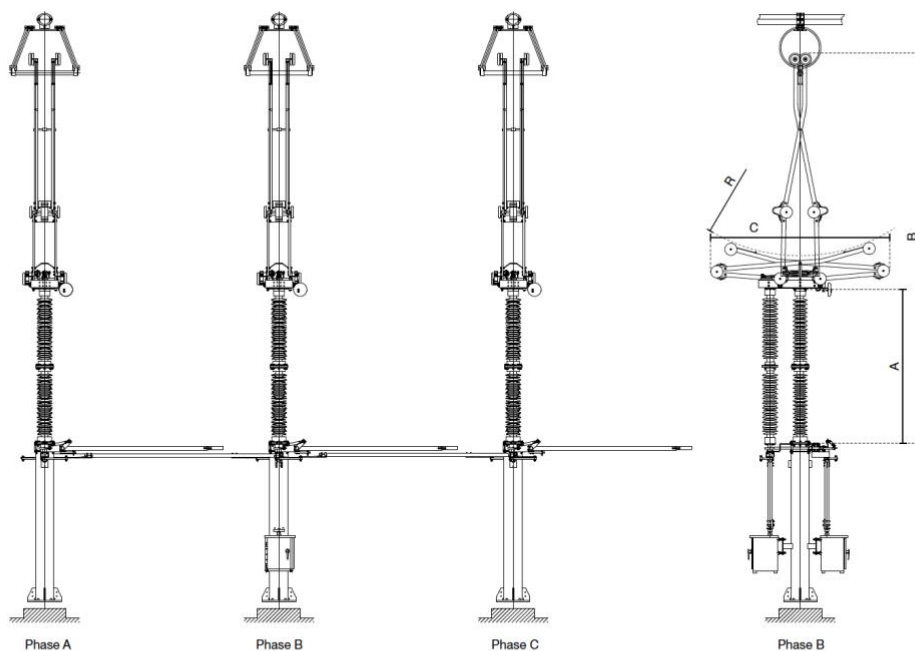
4.3 SECCIONADORES TRIFÁSICOS

- Seccionador de barras pantógrafo

Technical data – GW54

Disconnecter without earth switch		Units						
Disconnecter with one earth switch								
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



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.

Hitachi Energy High Voltage Switchgear Co., Ltd. Beijing
No. 12 Jingyuan Street
Beijing Economic-Technological Development Area Beijing, 100176
P.R. China
Tel: +86 10 6781 8000
Fax: +86 10 6781 8006

Hitachi Energy Jiangsu Jingke Instrument Transformer Co., Ltd.
No.9 Gucheng Road,
Su-Su Industrial Park,
Suqian, Jiangsu Province, 223800
P.R. China
Tel: +86 527 8288 0886
Fax: +86 527 8288 0868

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. Hitachi Energy Ltd. does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents – in whole or in parts – is forbidden without prior written consent of Hitachi Energy Ltd.

www.hitachienergy.com

- Seccionador vertical de columna giratoria

	Design	Pantograph							
	Rated voltage [kV]	123	145	170	245	300	362	420	550
	Rated normal current up to [A]	2000 - 4000							
	Rated peak withstand current up to [kA]	164 / 200*							
	Rated short-time withstand current up to [kA-s]	63-3 / 80-1*							
	Ice coating class (optional) [mm]	10 / 20							
	Temperature range [°C]	-55 / +55							
	Operating mechanism type	Motor or manual operation							
	Control voltage	Different variants of motor drives are available. Detailed information can be found in the respective product flyers.							
	Motor voltage								
	Maintenance period	25 years							

*for 420 kV

Technical structure

Thanks to its structure, the pantograph is the disconnector that leaves the smallest footprint. It has a high contact force and excellent ice-breaking and short-circuit behavior. The 3DN3 has an extremely long service life due to corrosion-free material such as hot-dip galvanized steel parts and weather-proof aluminum alloys. The self-interlocking end position ensures high mechanical stability and safe operation even in the event of external disturbances. Reduction of cast parts in the fixed contact system leads to reduced mechanical load on the supporting structure, compared to the previous design.

Main features:

- Highly reliable spherical contacts
- Easy set-up due to pre-adjusted delivery
- Maintenance-free
- Short-circuit currents up to 80 kA - 1s or 63 kA - 3s
- Bus transfer current switching capability of 1600 A (optional)
- Designed according to IEC 62271-102 standard
- Exceeding the IEC and meeting GOST R and GB



4.4 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD



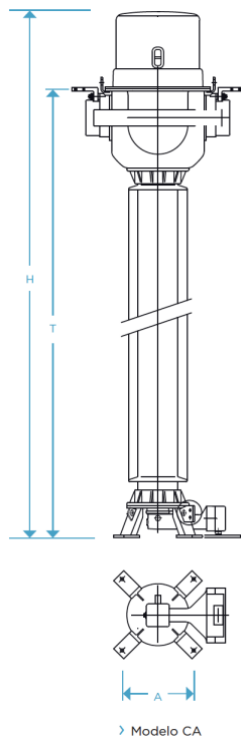
1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento papel-aceite, gas y seco

Aislamiento papel-aceite > Modelo CA

Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1.185	1.625	250
CA-52	52	95	250	-	1.300	350	1.185	1.625	260
CA-72	72,5	140	325	-	1.825	350	1.335	1.775	280
CA-100	100	185	450	-	2.500	350	1.335	1.775	290
CA-123	123	230	550	-	3.075	350	1.665	2.095	300
CA-145	145	275	650	-	3.625	350	1.665	2.095	310
CA-170	170	325	750	-	4.250	350	1.895	2.335	330
		460	1.050	-	6.125	450	2.755	3.055	560
CA-245	245	395	950	-	6.125	450	2.755	3.055	560
CA-300	300	460	1.050	850	7.500	450	3.170	3.580	650
CA-362	362	510	1.175	950	9.050	600	3.875	4.355	870
		630	1.425	1.050	10.500	600	3.875	4.355	920
CA-420	420	575	1.300	-	10.500	600	3.875	4.355	920
CA-525	(525) 550	680	1.550	1.175	13.125	600	4.530	5.365	1.200
CA-550	(525) 550	800	1.800	1.175	13.750	600	5.205	5.960	1.700
		880	1.950	1.425	15.300	600	5.770	6.590	2.050
CA-765	(765) 800	975	2.100	1.550	15.300	600	5.770	6.590	2.050

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: desde 1 A hasta 5.000 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 120 kA/1 s.



4.5 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS



4. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS Y CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO > Aislamiento papel-aceite

Transformadores de tensión capacitivos										
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Capacidad estándar (pF)	Alta capacidad (pF)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia Industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DDB-72	72,5	140	325	-	10.300	25.500	1.825	450	1.510	245
DDB-100	100	185	450	-	5.700	14.300	2.500	450	1.600	255
DDB-123	123	230	550	-	5.600	14.000	3.075	450	1.830	300
DDB-145	145	275	650	-	3.900	19.500	3.625	450	1.920	310
DDB-170	170	325	750	-	7.500	16.500	4.250	450	2.065	330
DFK-245	245	460	1.050	-	5.800	11.000	6.125	450	2.885	450
		395	950	-						
DFK-300	300	460	1.050	850	6.000	12.500	7.500	450	3.205	480
DFK-362	362	510	1.175	950	4.500	10.100	9.050	450	3.675	520
DFK-420	420	630	1.425	1.050	3.500	7.700	10.500	450	4.595	670
		575	1.300	950						
DFK-525	(525) 550	680	1.550	1.175	3.000	6.200	13.125	450	5.560	1.065
		800	1.800	1.175						
DFK-765	(765) 800	880	1.950	1.425	3.000	4.500	15.300	450	7.010	1.270
		975	2.100	1.550						

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar. Posibilidad de valores superiores de capacidad bajo pedido.

GAMA

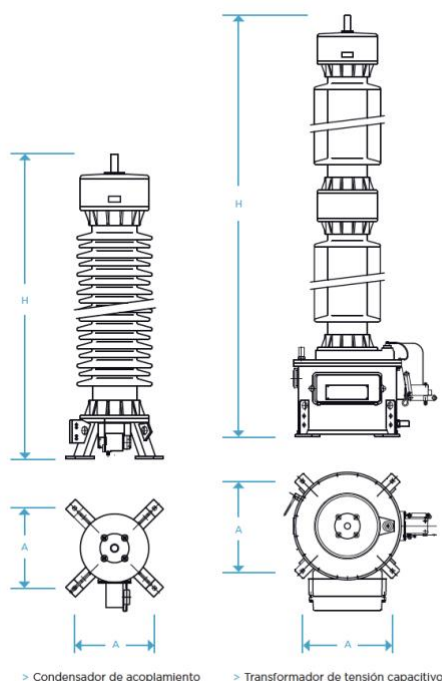
Los transformadores de tensión capacitivos y los condensadores de acoplamiento de ARTECHE se denominan mediante el uso de diferentes letras (DDB o DFK para transformadores; DDN o DFN para condensadores) seguidas de 2 ó 3 cifras que coinciden con la tensión máxima de la red para la que han sido diseñados.

Las tablas muestran las gamas de ambos tipos de equipos fabricados por ARTECHE. Las características son orientativas y pueden fabricarse de acuerdo con cualquier norma nacional o internacional.

Clases y potencias de precisión estándar:

- > Según normas IEC
 - 100 VA Clase 0,2 / 3P
 - 250 VA Clase 0,5 / 3P
- > Según normas IEEE
 - 0.3 WXYZ
 - 1.2 WXYZ, ZZ

Posibilidad de clases y potencia de precisión superiores.

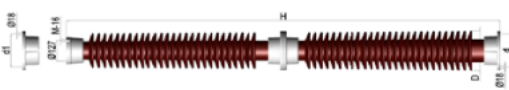


4.6 AISLADORES

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.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / TECHNICAL SPECIFICATIONS							
Vidriado color marrón o gris <i>Brown or grey glazed</i>							
Herrajes: Fundición maleable galvanizada en caliente. <i>Fittings: Cast iron hot dip galvanized.</i>							
Montaje: Hasta 80 °C - cemento Sulfuroso <i>Cementing: Up to 80 °C Sulphur cement</i> Montaje: Hasta 150 °C - cemento Portland <i>Cementing: Up to 150 °C Portland cement</i>							
Ensayos según CEI 60168 <i>Tests according to IEC 60168</i>							
DESIGNACION / REFERENCE		C4-1050	C6-1050	C8-1050	C10-1050	C8-1425	C8-1550
Línea de fuga mínima según nivel de polución CEI 60815 (mm.) <i>Minimum creepage distance according to pollution level IEC 60815 (mm.)</i>	I	3920	3920	3920	3920	6720	6720
	II	4900	4900	4900	4900	8400	8400
	III	6125	6125	6125	6125	10500	10500
	IV	7595	7595	7595	7595	13020	13020
DIMENSIONES / DIMENSIONS							
Altura del aislador montado <i>Height of the post insulator once assembled</i>	H mm	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	3150±4,5	3350±4,5
Diámetro máximo parte aislante <i>Maximum diameter of insulating part</i>	D mm	450	450	450	450	450	450
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d1 mm	*	225	225	225	225	225
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d mm	200	225	254	275	275	275
DATOS ELECTRICOS / ELECTRICAL VALUES							
Tensión nominal / máxima <i>Nominal voltage / maximum voltage</i>	- kV	245	245	245	245	420	420
Tensión soportada al choque <i>Lightning impulse withstand voltage</i>	- kV	1050	1050	1050	1050	1425	1550
Tensión sop. al choque de maniobra bajo lluvia (kV) <i>Switching impulse withstand voltage wet (kV)</i>	- kV	750	750	750	750	950	1050
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz <i>Power frequency withstand voltage, wet 50Hz</i>	- kV	460	460	460	460	*	*
DATOS MECANICOS / MECHANICAL VALUES							
Mínima carga de rotura a Flexión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	4000	6000	8000	10000	8000	8000
Mínima carga de rotura a la Torsión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	3000	3000	4000	4000	4000	4000

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

4.7 AUTOVÁLVULAS PARARRAYOS

Descargadores con revestimiento de porcelana

EXLIM P

Descargador de óxido de cinc EXLIM P

Para la protección contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento de subestaciones de alta tensión, transformadores y otros equipos en redes de alta tensión.



- en zonas con intensidad de descarga muy alta
- en lugares donde las condiciones de puesta a tierra o apantallamiento son deficientes o incompletas
- para instalaciones importantes
- donde los requisitos energéticos son muy altos (por ejemplo, líneas muy largas, protección de condensadores, etc.).

Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red (U_{m})	52 -550 kV
Tensiones nominales (U_r)	42 -444 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	20 kA _{pico}
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10/15 kA _{pico}
Resistencia de corriente de descarga	
Corriente alta 4/10 μ s	100 kA _{pico}
Corriente baja 2 000 μ s	1.350 A _{pico}
Capacidad de energía:	
Clase de descarga de línea (IEC)	Clase 4
[2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	10,8 kJ/kV (U_r)
Cumple con / sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 550 kV.	
Capacidad de cortocircuito/alivio de presión	65 kA _{sim}
Aislamiento externo	Cumple con / sobrepasa las normas
Resistencia mecánica:	
Carga de servicio estática admisible (PSSL)	7.200 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	18.000 Nm
Condiciones de funcionamiento:	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitud de diseño (Mayores altitudes bajo pedido)	máx. 1.000 m
Frecuencia	15 - 62 Hz

Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente							
		según IEC	según ANSI/IEEE			30/60 µs			8/20 µs				
		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 _{pico}	2 kA kV _{pico}	3 kA kV _{pico}	5 kA kV _{pico}	10 kA kV _{pico}	20 kA kV _{pico}
300	216	173	174	250	237	422	437	448	467	492	539	590	
	228	182	182	264	250	445	461	473	493	519	568	623	
	240	191	191	278	264	468	485	497	519	546	598	656	
	258	191	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705	
	264	191	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721	
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	
	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983	
	372	267	301	431	409	726	752	771	804	847	927	1021	
	378	267	306	438	415	737	764	783	817	860	942	1037	
	381	267	308	441	419	743	770	789	824	867	950	1045	
	390	267	315	452	429	761	788	808	843	888	972	1070	
	396	267	318	459	435	773	800	820	856	901	987	1086	
	420	267	336	487	462	819	849	870	908	956	1051	1152	
550	396	317	318	459	435	773	800	820	856	901	987	1086	
	420	336	336	487	462	819	849	870	908	956	1051	1152	
	444	349	353	515	488	866	897	920	960	1015	1111	1217	

Para información más detallada sobre la capacidad de sobretensiones temporales (TOV) y las características de protección, ver la publicación 1HSM 9543 13-01en.

1) Las tensiones de operación continua U_c (según IEC) y MCOV (según ANSI) sólo se diferencian debido a las desviaciones en los procedimientos de prueba.

U_c sólo debe considerarse cuando la tensión de red real es superior a la indicada.

Se puede seleccionar cualquier descargador con U_c superior o igual que la tensión de red real dividida por $\sqrt{3}$.

2) Con rendimiento primario igual a la carga energética máxima de impulso simple (7,0 kJ/kV (U_r)).

A petición del cliente puede ser posible ofrecer descargadores con voltajes inferiores o superiores para aplicaciones especiales.

Datos técnicos de los revestimientos

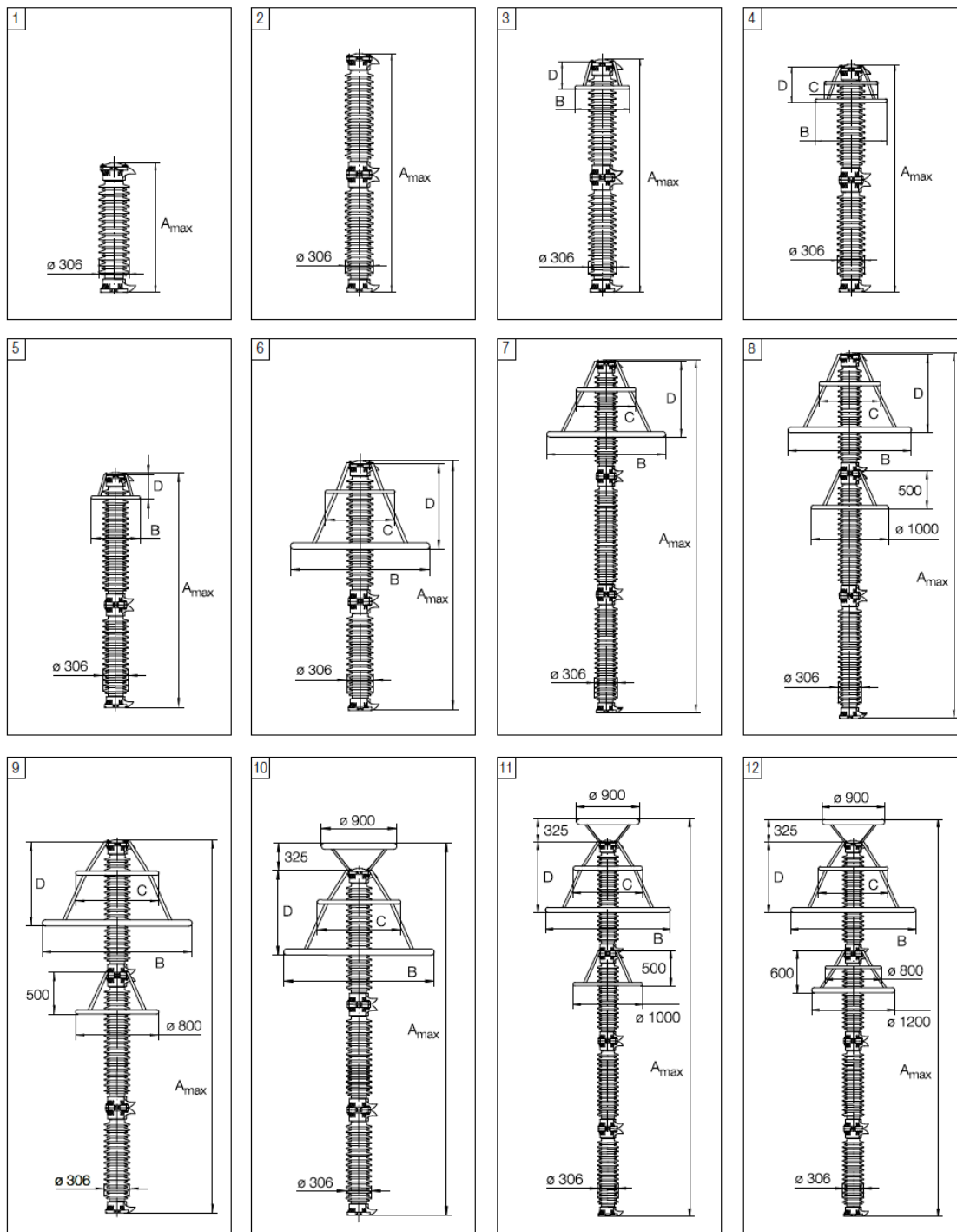
Tensión máxima de red	Tensión nominal	Revestimiento	Distancia de fuga	Aislamiento externo ^{*)}				Dimensiones					
				1,2/50 μ s seco	50 Hz húmedo (60s)	60 Hz húmedo (10s)	250/2.500 μ s húmedo	Tierra	A _{pico}	B	C	D	Fig.
U _m kV _{rms}	U _r kV _{rms}		mm	kV _{pico}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{pico}	kg					
36	30-39	GV036	1444	318	151	135	228	85	785	-	-	-	1
52	42-60	GH052	1444	318	151	135	228	90	785	-	-	-	1
	42-60	GV052	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
72	54-84	GV072	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
100	84-96	GV100	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
123	90-138	GH123	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	90-138	GV123	4432	774	378	359	616	150	1645	-	-	-	1
145	108-138	GM145	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	108-120	GH145	4432	774	378	359	616	150	1645	-	-	-	1
	132-144	GH145	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
	108-144	GV145	4729	904	429	408	690	200	2060	-	-	-	2
170	132-168	GH170	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
	132	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	800	600	400	4
	144-150	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	600	-	300	3
	162-168	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	-	-	-	2
245	180	GH245	6570	1172	556	546	924	240	1905	900	600	500	6
	192-198	GH245	6570	1172	556	546	924	240	2585	800	600	400	6
	210-228	GH245	6570	1172	556	546	924	240	2585	600	-	300	5
	180	GV245	7717	1360	656	632	1078	275	2915	1200	800	600	6
	192-198	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	900	600	500	6
	210	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	800	600	400	6
	216-228	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	600	-	300	5
300	228	GM300	6570	1172	556	546	924	245	2585	900	600	500	6
	240-264	GM300	6570	1172	556	546	924	245	2585	900	600	400	6
	216	GH300	7717	1360	656	632	1078	280	2915	1400	800	700	6
	228-264	GH300	7717	1360	656	632	1078	275	2915	900	600	500	6
	216	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1600	800	1000	7
	228	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1400	800	700	7
	240	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1200	800	600	7
	258-264	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1200	800	600	7
362	258	GM362	7717	1360	656	632	1078	285	2915	1400	800	700	6
	264-288	GM362	7717	1360	656	632	1078	285	2915	1200	800	600	6
	258-264	GH362	9855	1758	834	819	1386	360	3860	1600	800	1000	7
	276-288	GH362	9855	1758	834	819	1386	360	3860	1400	800	700	7
	258-288	GV362	12149	2134	1034	991	1694	425	4850	1600	800	1200	9
420	330-360	GM420	8864	1548	756	718	1232	325	3245	1200	800	600	6
	330-336	GH420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1600	1000	1000	7
	360-372	GH420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1400	800	700	7
	378-420	GH420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1200	800	600	7
	330	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1600	800	1000	8
	336-396	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1600	800	1000	7
	420	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1400	800	700	7
550	396-444	GM550	11002	1946	934	905	1540	420	4500	1800	1000	800	10
	396	GH550	14287	2352	1212	1178	2002	530	5763	1800	1000	1000	12
	420-444	GH550	14287	2352	1212	1178	2002	530	5763	1800	1000	1000	11
Descargadores con neutro a tierra													
123	72-84	EN123	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
	90-120	EN123	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
145	84	GN145	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
	90-120	GN145	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
170	96-120	GN170	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
245	108-120	GN245	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	132	GN245	3285	586	278	273	462	125	1315	-	-	-	1
	144	GN245	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1

^{*)} Suma de las tensiones de resistencia para unidades vacías de descargador

Edición 3, 2003-10

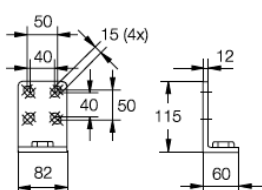
ABB Surge Arresters — Guía para el Comprador

Datos técnicos de los revestimientos

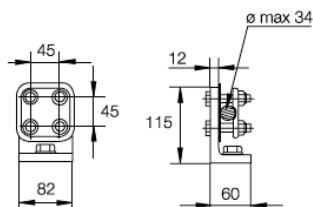


Accesorios

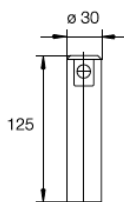
Terminales de línea



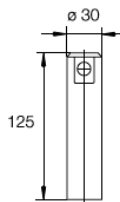
1HSA410 000-A
Aluminio



1HSA410 000-B
Marca de aluminio con otros
elementos de acero inoxidable

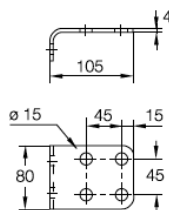


1HSA410 000-C
Aluminio

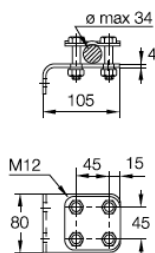


1HSA410 000-D
Acero inoxidable

Terminales de tierra



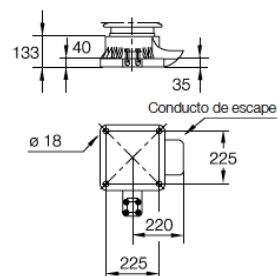
1HSA420 000-C
Acero inoxidable



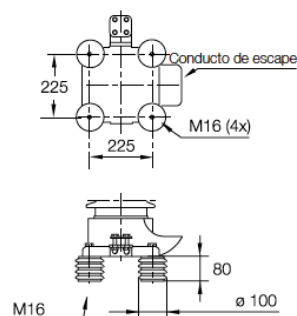
1HSA420 000-D
Acero inoxidable

Planos de perforación

Sin base aislante



Con base aislante



1HSA430 000-C
Resina epóxica

ABB no suministra los pernos M16 para la fijación a la estructura. La longitud de sujeción de la rosca necesaria es de 15-20 mm.



PROYECTO DE EJECUCIÓN

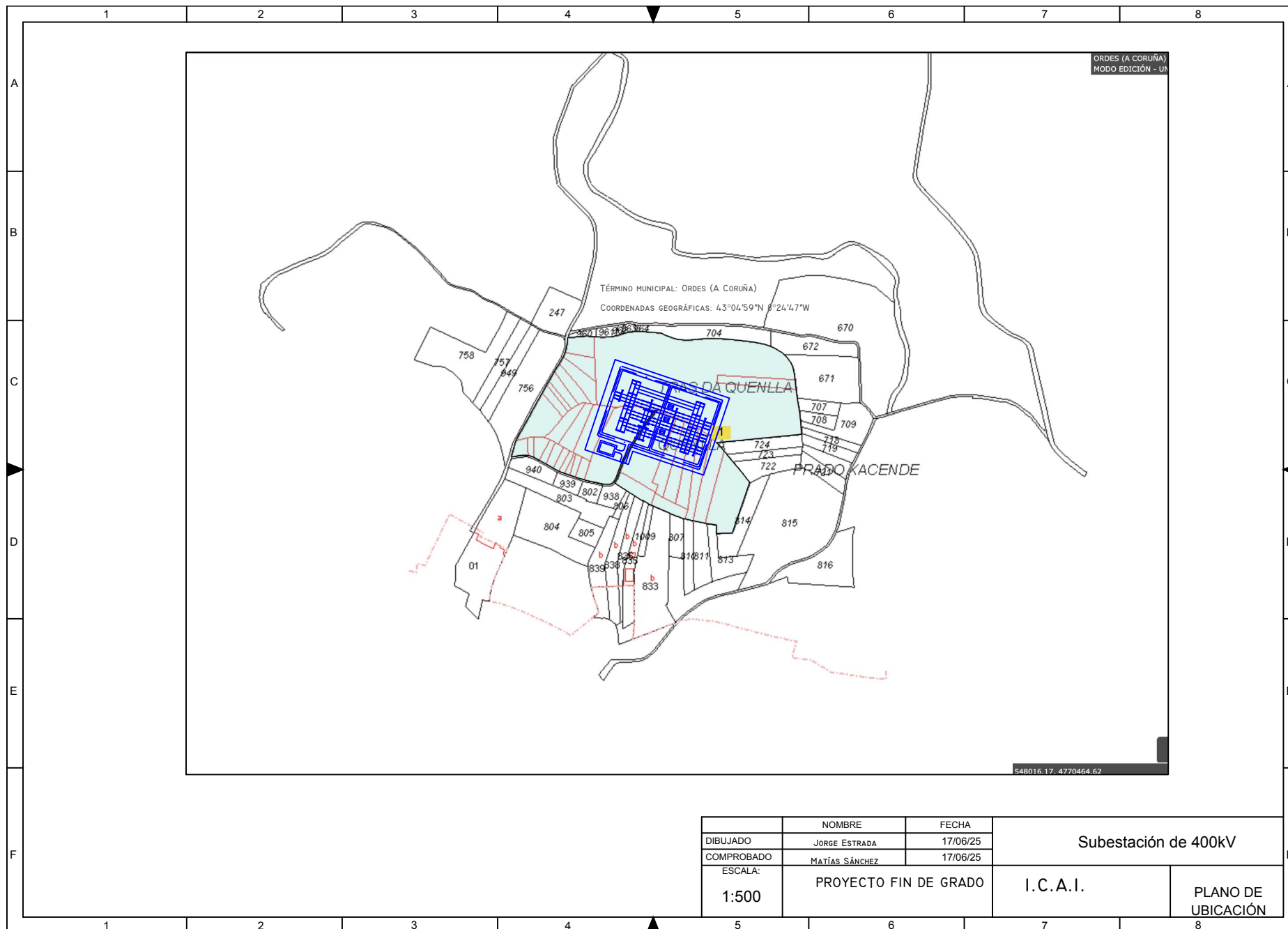
PROYECTO TÉCNICO – ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN DE
400 kV EN GALICIA

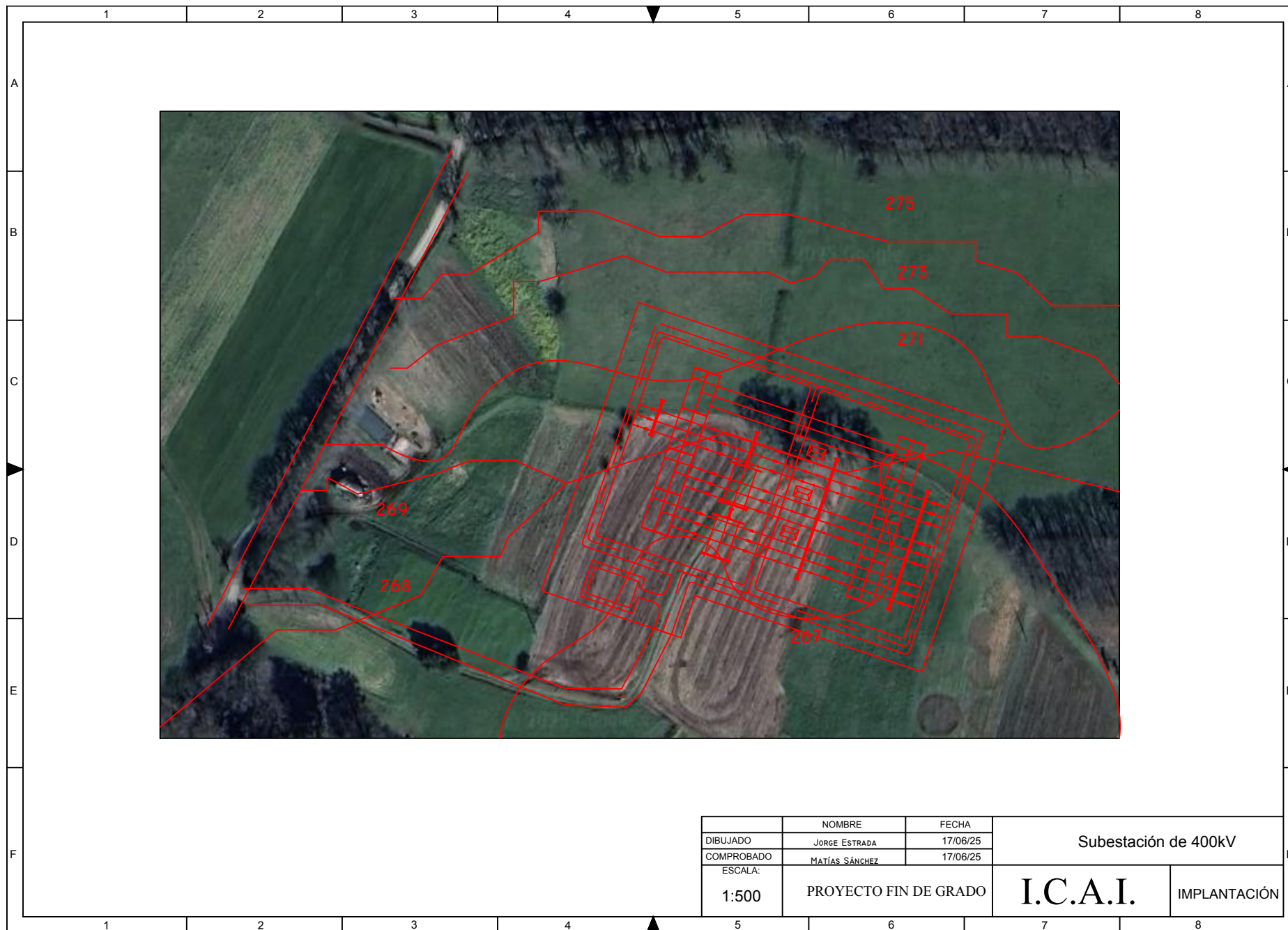
DOCUMENTO 2

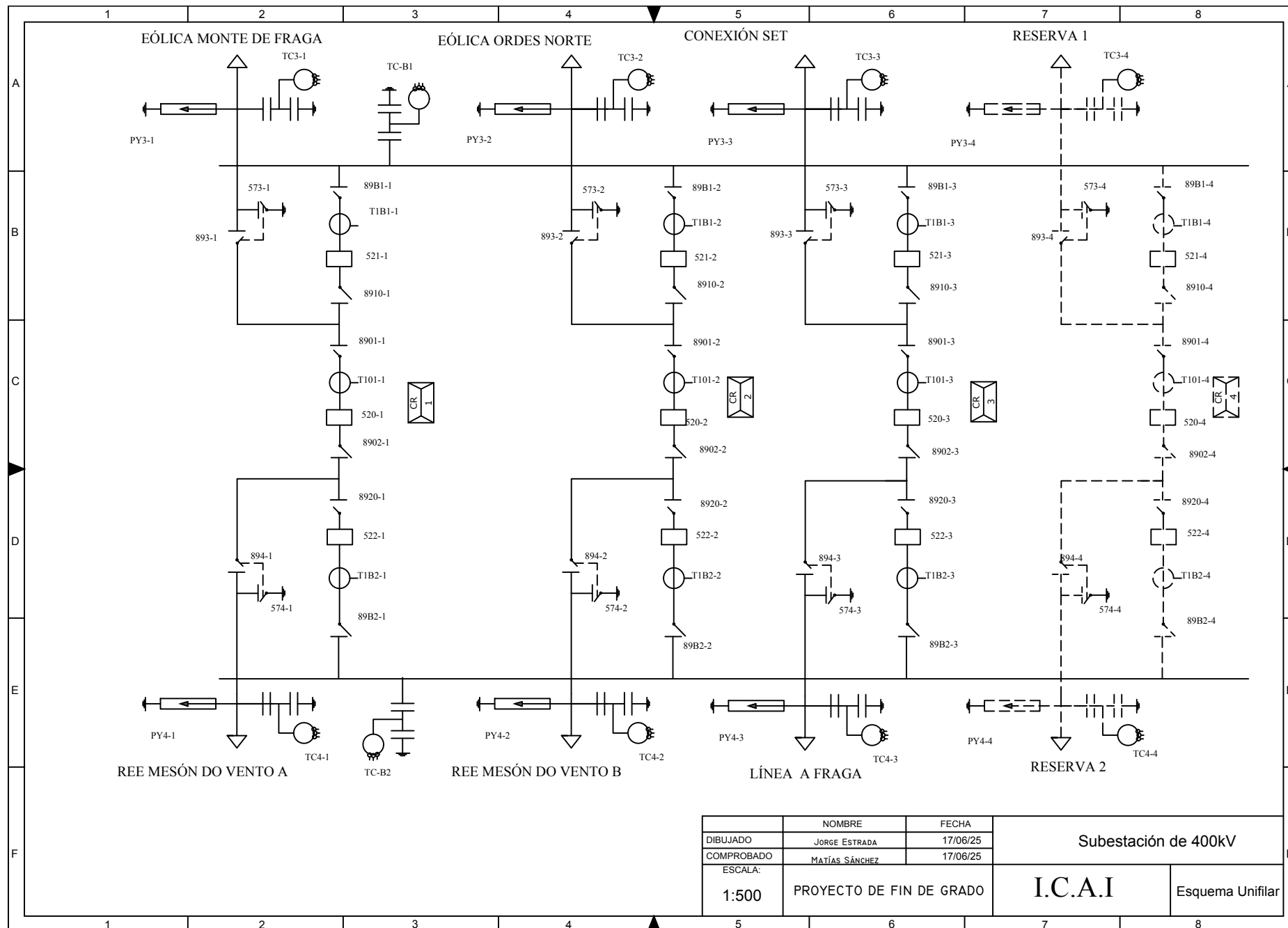
PLANOS

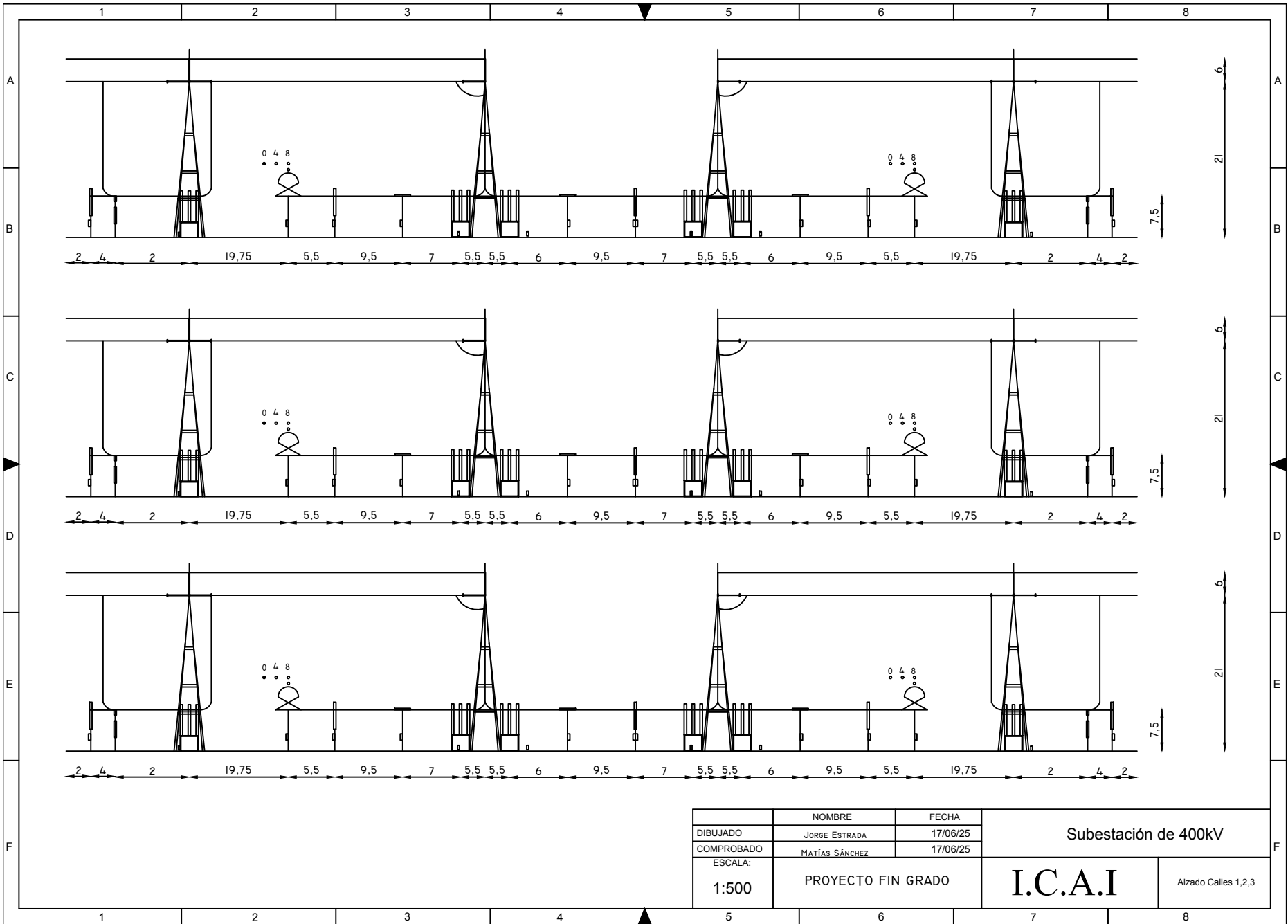
ÍNDICE DE PLANOS

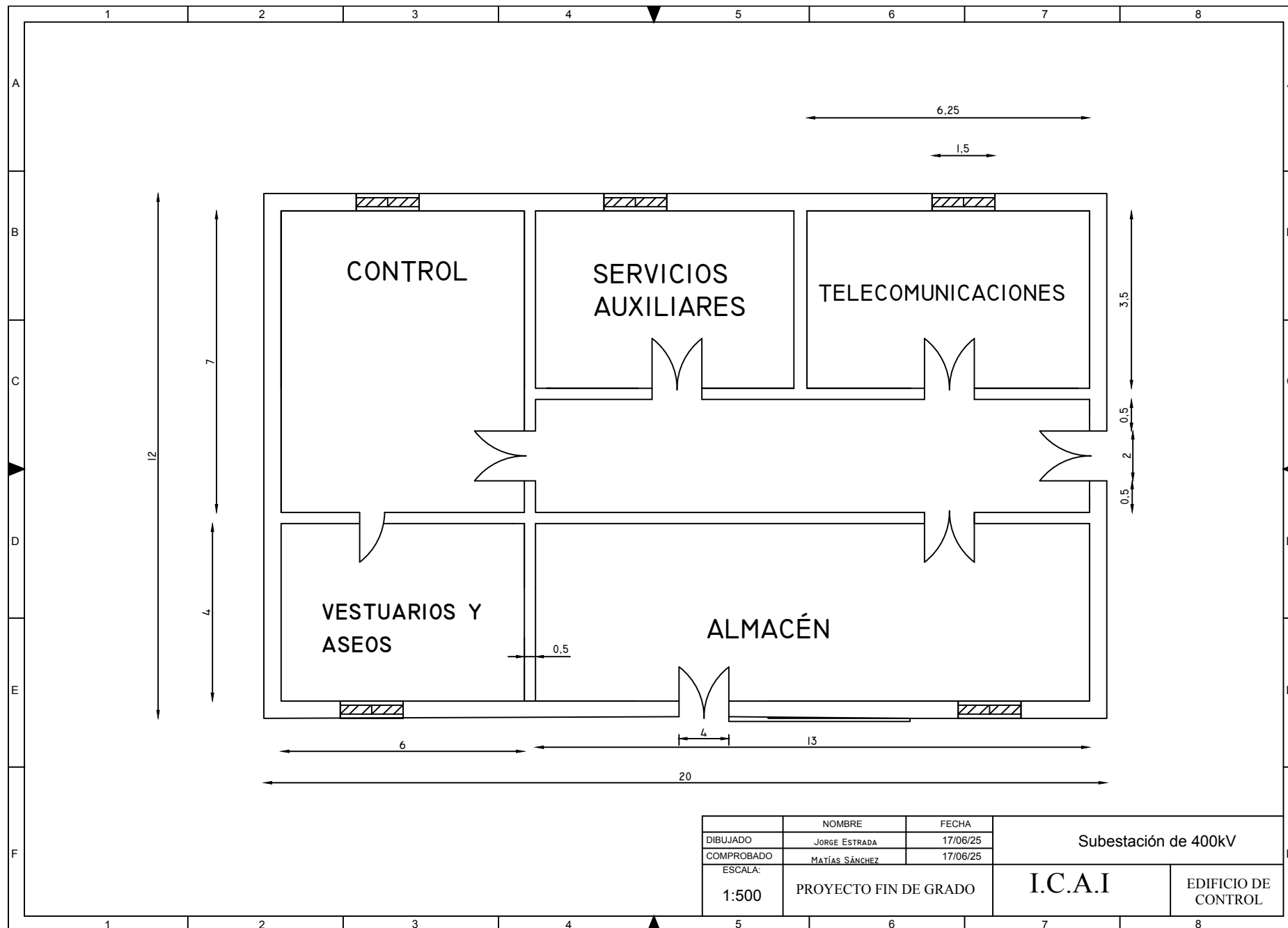
<i>Plano de ubicación.....</i>	<i>78</i>
<i>Plano de implantación.....</i>	<i>79</i>
<i>Esquema unifilar</i>	<i>80</i>
<i>Planta</i>	<i>81</i>
<i>Alzados calles 1,2 y 3</i>	<i>82</i>
<i>Edificio de control.....</i>	<i>83</i>
<i>Caseta de relés 1.....</i>	<i>84</i>
<i>Caseta de relés 2.....</i>	<i>85</i>
<i>Caseta de relés 3.....</i>	<i>86</i>

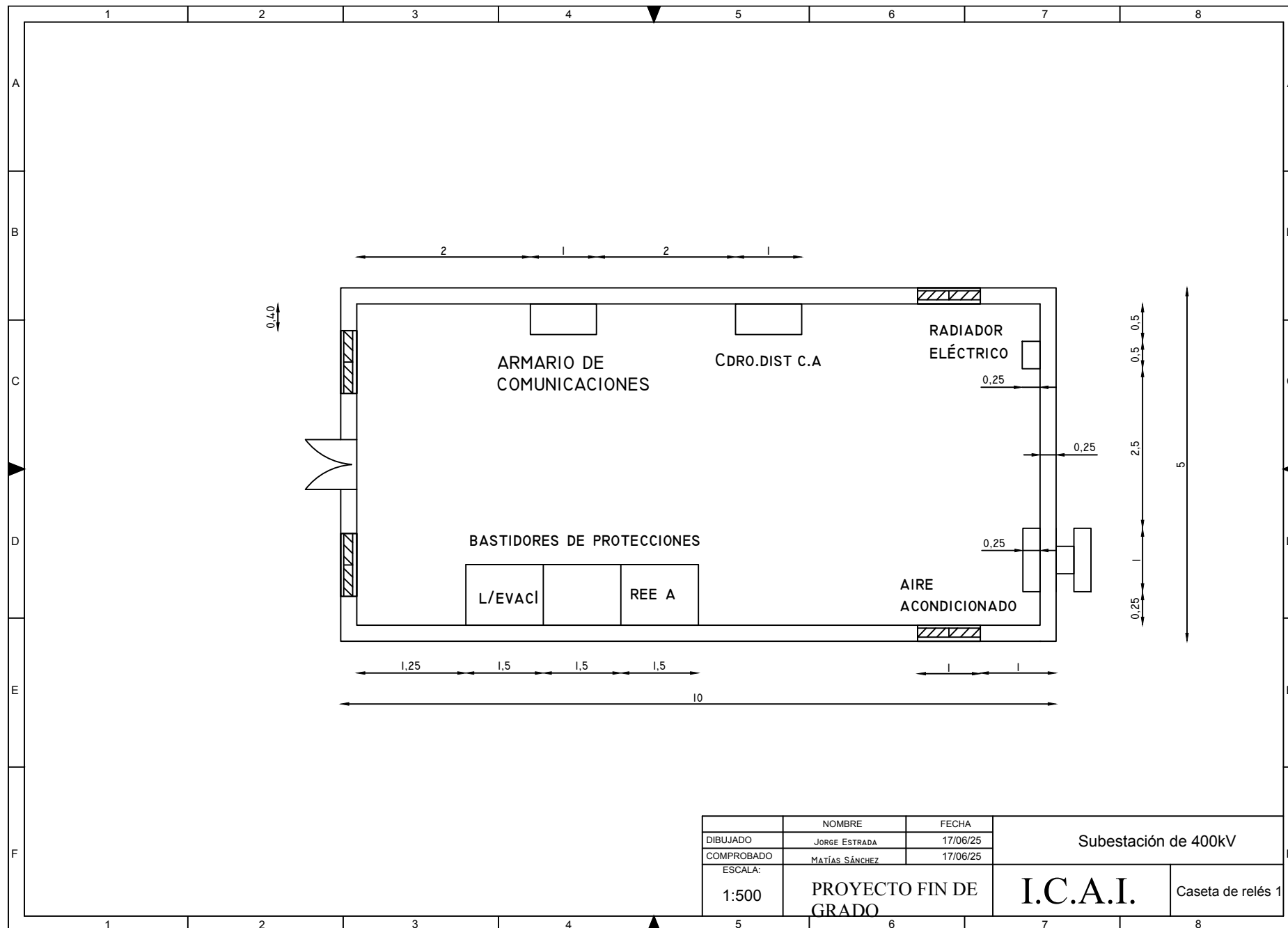




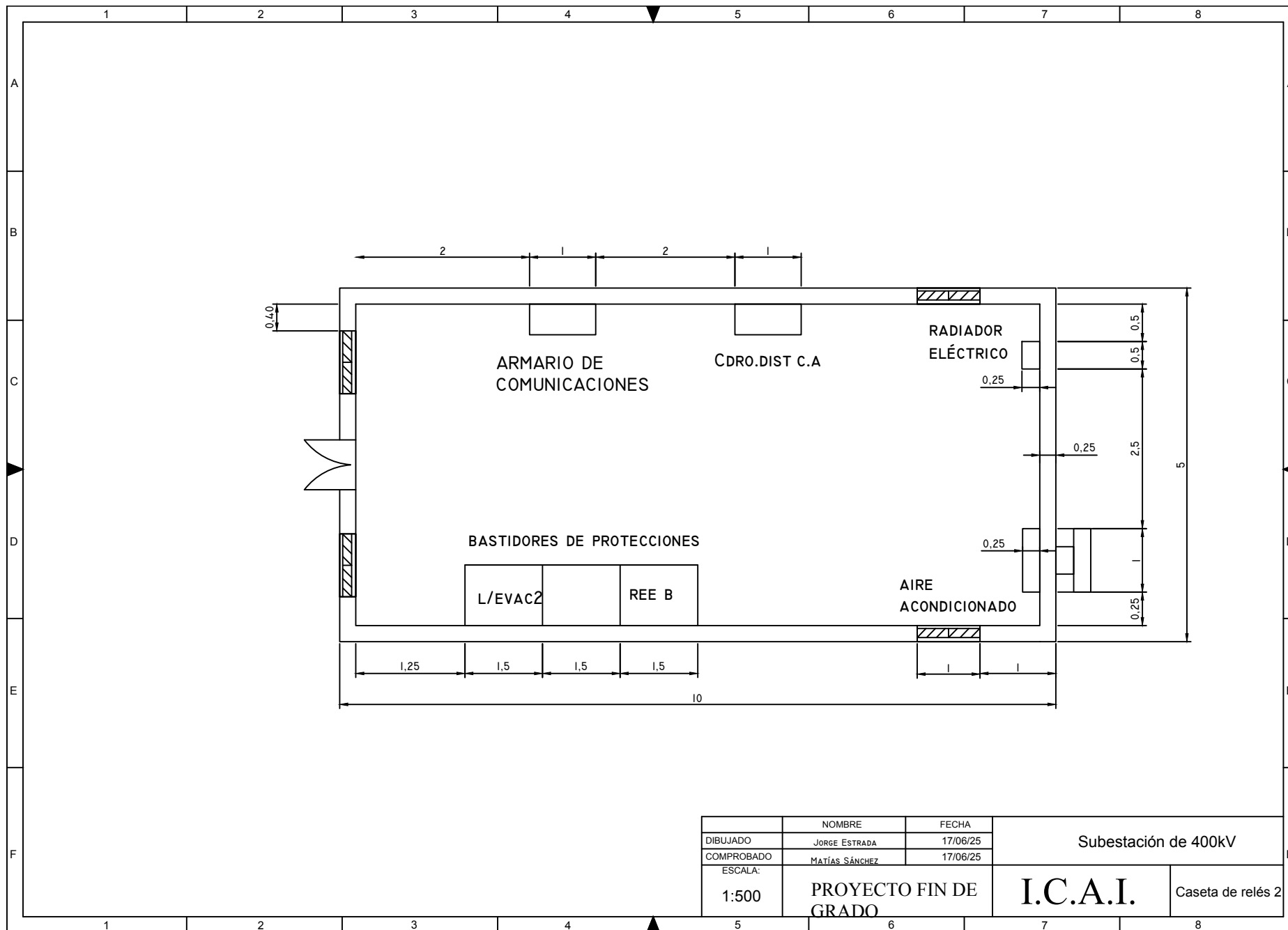




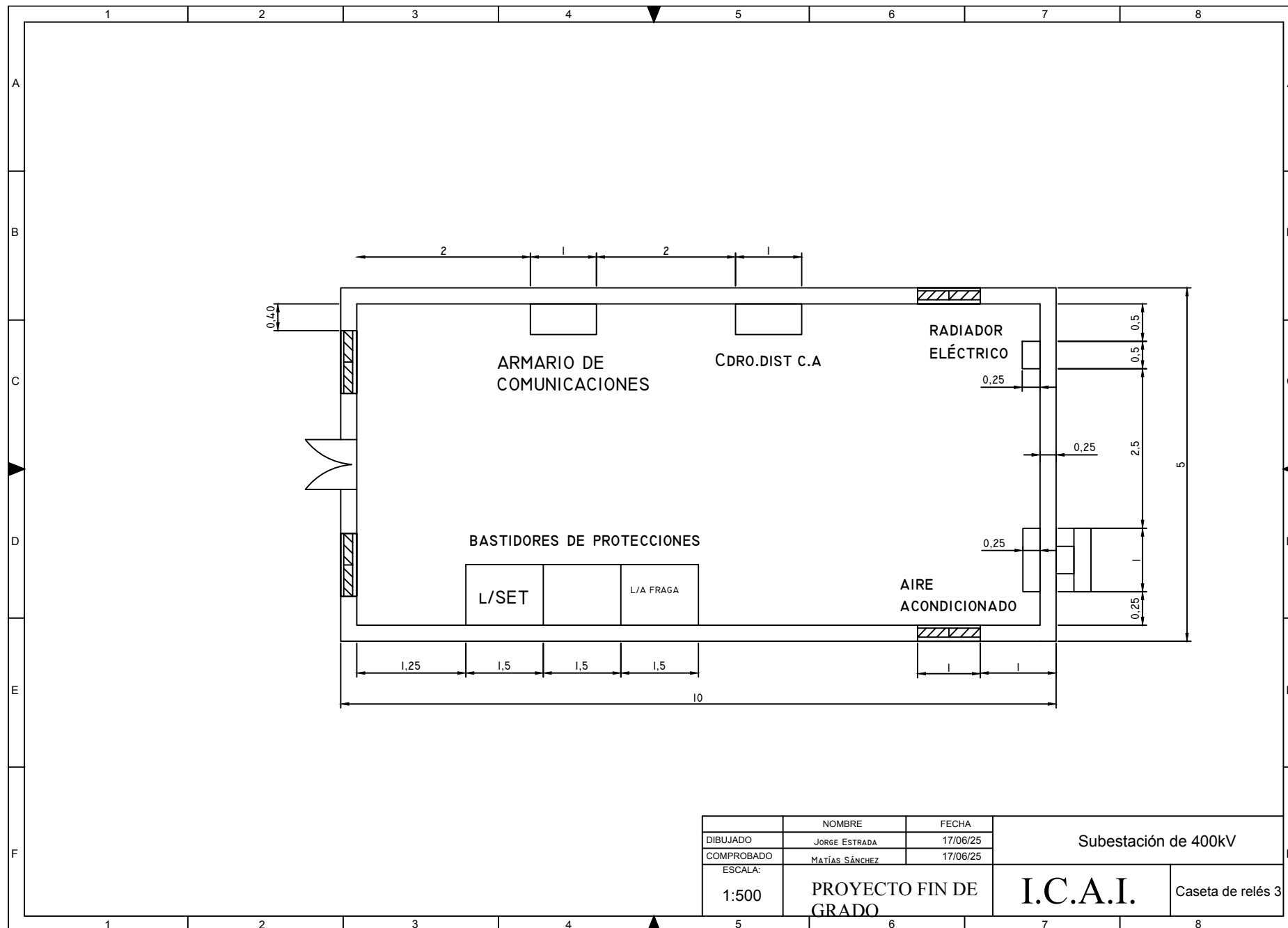




	NOMBRE	FECHA	Subestación de 400kV	
DIBUJADO	JORGE ESTRADA	17/06/25		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ	17/06/25		
ESCALA: 1:500	PROYECTO FIN DE GRADO		I.C.A.I.	Caseta de relés 1



	NOMBRE	FECHA	Subestación de 400kV	
DIBUJADO	JORGE ESTRADA	17/06/25		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ	17/06/25		
ESCALA:	PROYECTO FIN DE GRADO		I.C.A.I.	Caseta de relés 2
1:500				





PROYECTO DE EJECUCIÓN

PROYECTO TÉCNICO – ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA LA RED DE TRANSPORTE DE GALICIA

DOCUMENTO 3

PLIEGO DE CONDICIONES

Índice de los pliegos de condiciones

<i>Índice de los pliegos de condiciones</i>	<i>I</i>
Capítulo 1. Generales y económicas	4
1.1 Objeto	4
1.2 Normativa aplicable	5
1.2.1 Equipamiento y montaje.....	5
1.2.2 Obra civil.....	7
1.3 Gestión de calidad.....	10
1.4 Gestión medioambiental.....	11
1.5 Seguridad en el trabajo	11
1.6 Verificación y validación.....	11
1.7 Estudio de seguridad	12
1.7.1 objeto de este estudio	12
1.7.2 Situación y descripción	12
1.7.3 Control de accesos.....	13
1.7.4 Unidades constructivas.....	13
1.7.5 Identificación de riesgos.....	15
1.7.6 Locales de descanso y servicios higiénicos.....	20
1.7.7 Disposiciones de emergencia	20
1.7.8 Plan de seguridad.....	23
1.8 Pliego de condiciones	23
1.8.1 Normativa legal de aplicación.....	23
1.8.2 Normativa interna de red eléctrica	24
Capítulo 2. Técnicas y particularidades	25
2.1 Ámbito de aplicación	25
2.2 Requisitos de carácter general.....	25

2.2.1	Conicionados de los organismos de la administración.....	25
2.2.2	Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible.....	25
2.2.3	Cambios de aceites y gasas	26
2.2.4	Campamento de obra.....	26
2.2.5	Gestión de residuos	26
2.2.6	Incidentes con consecuencias ambientales.....	27
2.3	Requisitos específicos para los movimientos de tierras.....	27
2.3.1	Zonificación de los trabajos	27
2.3.2	Accesos.....	28
2.3.3	Retirada de la cubierta vegetal	28
2.3.4	Patrimonio cultural	28
2.3.5	Movimientos de tierra para la explanación	28
2.4	Requisitos específicos para la obra civil	29
2.5	Requisitos específicos para el montaje electromecánico	29
2.5.1	Llenado de equipos con aceite.....	29
2.5.2	Llenado de equipos con sf6.....	30
2.6	Acondicionamiento final de la obra	30

Capítulo 1. GENERALES Y ECONÓMICAS

1.1 OBJETO

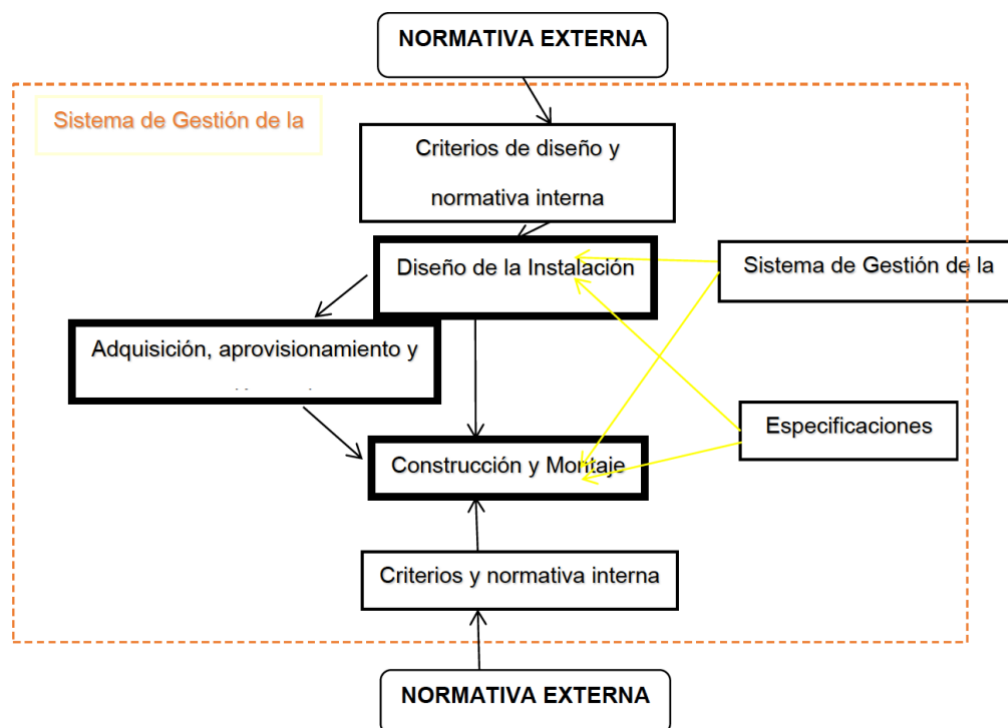
El objeto del presente Pliego de Condiciones es aportar la información necesaria para definir los materiales y equipos y su correcto montaje para lo que se han considerado los siguientes aspectos.

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.



1.2 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).

1.2.1 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.

1.2.2 OBRA CIVIL

1.2.2.1 Estructuras

- Acciones en la edificación

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

Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación (NCSR-02). REAL DECRETO 997/2002, de 27-Septiembre, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 11-OCT-02.

- Acero

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

- Fábrica de ladrillo

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

- Hormigón

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

- Forjados

Actualización de las fichas de autorización de uso de sistemas de forjados RESOLUCIÓN de 30-ENE-97, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 6-MAR-97.

Real Decreto 1247/2008 de 5 de julio, por el que se aprueba la " Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)".

1.2.2.2 Instalaciones

- Calefacción, Climatización y Agua caliente sanitaria

Documento Básico de Salubridad HS “Salubridad” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para Instalaciones Térmicas de los Edificios. Real Decreto 1027/2007.

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

- Electricidad

Reglamento electrotécnico para baja tensión “REBT” e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT01 a BT51.

REAL DECRETO 842/2002, de 2-AGOSTO, del Ministerio de Industria y Energía B.O.E.: 18-

SEPT-2002.

Autorización para el empleo de sistemas de instalaciones con conductores aislados bajo canales de cables protectores de material plástico. RESOLUCIÓN de 18-ENE-88, de la Dirección General de Innovación Industrial. B.O.E.: 19-FEB-88.

- Instalaciones de Protección Contra Incendios

Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios. Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E.: 14 de diciembre de 1993. Corrección de errores: 7 de mayo de 1994.

Normas de Procedimiento y Desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios y se revisa el anexo I y los Apéndices del mismo. Orden de 16 de abril de 1998, del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E.: 28 de abril de 1998.

Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. REAL DECRETO 786/2001, de 6-JUL, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, B.O.E.: 30-JUL-01, y sus correcciones posteriores.

Documento Básico SI “Seguridad en caso de Incendio” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

1.2.2.3 Protección

- Aislamiento Acústico

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

REAL DECRETO 1371/2007 de 19-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.

1.2.2.4 Varios

Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Normas tecnológicas de la edificación. DECRETO del ministerio de la vivienda nº 3655/72, de 23-DIC B.O.E. 15-ENE-73.

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

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

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

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

R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

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

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

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

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

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

Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.

Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos, como en lo relativo a mediciones.

Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

En el caso de discrepancias entre las diversas normas se seguirá siempre el criterio más restrictivo.

1.3 GESTIÓN DE CALIDAD

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

1.4 GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

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.

1.5 SEGURIDAD EN EL TRABAJO

Conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción, al amparo de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se incluye en el presente proyecto, el Estudio de Seguridad y Salud correspondiente para su ejecución.

1.6 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

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

Pruebas en Vacío

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

Pruebas en Tensión

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

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

1.7 ESTUDIO DE SEGURIDAD

1.7.1 OBJETO DE ESTE ESTUDIO

Este Estudio de Seguridad y Salud define las medidas de prevención y protección que deben implementarse durante los trabajos de explanación, ejecución de obra civil y montaje electromecánico previstos en la construcción de la nueva Subestación de Ordes, Galicia. Su propósito es facilitar a la Dirección Facultativa la correcta aplicación de dichas medidas, en cumplimiento con lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Todas las empresas que intervengan en la ejecución de la obra deberán cumplir con las responsabilidades y directrices establecidas en el Estudio. Aunque la empresa contratista será la responsable de su elaboración, Red Eléctrica se reserva el derecho a realizar la interpretación final del mismo.

1.7.2 SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN

La Subestación de Ordes está situada en el término municipal de Ordes de la Comunidad Autónoma de Galicia, en la provincia de Coruña.

Altura del terreno media	292 m sobre el nivel del mar
Tipo de Zona	B (Zona de viento media-alta)
Temperaturas extremas	40°C / -5 °C
Velocidad máxima del viento	140 km/h
Contaminación ambiental	Baja
Nivel de niebla	Alta
Pluviometría	Alta

1.7.3 CONTROL DE ACCESOS

Dado que la situación de la subestación, está alejada de núcleos urbanos o zonas de paso, la presencia de personal ajeno a la obra es improbable. A pesar de ello, el cerramiento perimetral se realizará tan pronto como sea posible.

La parcela se encuentra vallada, por lo que no procede ninguna actuación en este campo. En el portón de acceso se dispondrán señales informativas de riesgo.

1.7.4 UNIDADES CONSTRUCTIVAS

1.7.4.1 Movimiento de tierras

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

El movimiento de tierras abarcará la plataforma completa del parque de 400 kV, la zona del edificio y los accesos.

Básicamente se utilizará maquinaria pesada de explanación y retirada de tierras.

Acopio

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

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

Drenajes y saneamientos

La red cubrirá todo el parque y se realizará con tubo drenante en distribución que no produzca un efluente masivo.

1.7.4.2 Obra civil

Incluye la realización de Edificio de control y casetas de relés, los cuales se construirán sucesivamente.

Se dispondrá de zona de almacenaje de materiales de construcción en zona que no interfiera a los restantes trabajos y a las vías de circulación de vehículos.

La preparación de armaduras de encofrados se ubicará fuera las zonas de paso.

Cimentaciones de soportes

Las cimentaciones para los pórticos y estructuras soportantes del equipo de la subestación serán de hormigón en masa y de las cajas de centralización se realizarán de hormigón armado.

Canales de cables

Se diseñan para proteger los cables de control y fuerza en su recorrido desde los mandos de cada equipo a las casetas de relés y desde estas últimas hasta el edificio de control.

Casetas de relés

Se construirán 4. De planta rectangular con dimensiones de 3x 5 m, se construirán con muros prefabricados de hormigón. En el suelo será un pavimento de hormigón industrial.

Edificio de Control

El edificio de control será de planta rectangular, construido mediante muros prefabricados de hormigón armado y forjados planos.

La solera estará formada por un falso suelo técnico, diseñado para facilitar el paso de cableados de control, comunicaciones y servicios auxiliares, así como permitir futuras ampliaciones o mantenimientos de las instalaciones interiores.

El edificio alojará las salas de protecciones, control y comunicaciones, así como los servicios auxiliares necesarios para la operación de la subestación.

1.7.4.3 Montaje de estructuras y equipos

Durante esta fase se procederá a la instalación de los pórticos, de los embarrados en la parte superior, de las estructuras de soporte para los equipos, así como del propio equipamiento y de los embarrados de interconexión.

Las actividades de montaje se organizarán de manera que no interfieran unas con otras, prestando especial atención a que no afecten a los trabajos de Obra Civil que todavía se estén ejecutando.

Las estructuras metálicas y los soportes destinados a la aparamenta se fabricarán utilizando perfiles normalizados de alma maciza.

Trabajos de cableado y trabajos en b.t

El tendido de los cables de fuerza y de control, desde los equipos del parque hasta las casetas de relés, se llevará a cabo de forma manual, siguiendo el recorrido previamente definido por los canales.

La instalación de los equipos de Control, Protección, Comunicaciones y Medida se ejecutará de manera simultánea a los trabajos de cableado.

Puesta en Servicio

Se contempla que la puesta en servicio se lleve a cabo de manera progresiva, conectando eléctricamente a la red las posiciones e instalaciones que vayan finalizándose.

Las calles y los equipos que entren en funcionamiento serán debidamente delimitados y aislados, permitiendo así la ejecución segura de las fases de trabajo posteriores.

1.7.5 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.

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

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

<i>Situaciones pormenorizadas de riesgo</i>	
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.

<i>Situaciones pormenorizadas de riesgo</i>	
Agresión de animales	Picadura de insectos, ataque de perros o agresión por otros animales.
Estrés térmico	Exposición prolongada al calor o al frío Cambios bruscos de temperatura.
Radiaciones no ionizantes	Exposición a radiación ultravioleta, infrarroja o visible.
Carga física	Movimientos repetitivos. Carga estática o postural (espacios de trabajo) o dinámica (actividad física). Condiciones climáticas exteriores.
Carga mental	Distribución de tiempos. Horario de trabajo

1.7.5.1 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.

1.7.5.2 Principios generales aplicables durante la Ejecución de la obra

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

- a) Garantizar que solo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada pueden acceder a las zonas de riesgo grave o específico.
- b) Dar las debidas instrucciones a los empleados.
- c) El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- d) La manipulación de los distintos materiales y la utilización de los medios auxiliares.
- e) El mantenimiento de los medios y dispositivos necesarios para la ejecución de la obra.
- f) La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de trabajo.
- g) La recogida de los materiales peligrosos utilizados.
- h) La adaptación, en función de la evolución de obra, del periodo de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- i) La cooperación entre RED ELÉCTRICA y el Contratista.

1.7.5.3 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.

1.7.5.4 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.

1.7.5.5 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.

1.7.6 LOCALES DE DESCANSO Y SERVICIOS HIGIÉNICOS

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

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

1.7.7 DISPOSICIONES DE EMERGENCIA

1.7.7.1 Vías de evacuación

Debido a que la obra se desarrollará al aire libre, no resulta necesario definir vías o salidas de emergencia específicas para una posible evacuación.

En caso de que, durante la construcción del edificio de control, se prevea la presencia de más de 20 trabajadores, se elaborará un plano indicando las distintas rutas de evacuación, diseñado en función del número de usuarios previstos. Este plano deberá colocarse en un lugar visible en la entrada del edificio. Asimismo, se instalará señalización de las vías de emergencia a la mayor brevedad posible.

Cuando sea preciso evacuar la zona de trabajo, la decisión será adoptada por el Coordinador de Seguridad y, en su ausencia, por el supervisor de Red Eléctrica. El punto de encuentro establecido será el portón principal de acceso a la subestación.

1.7.7.2 Iluminación

Dado que los trabajos se llevarán a cabo al aire libre y durante el día, no será necesario instalar un sistema de alumbrado.

No obstante, si se programaran actividades en horario nocturno, se habilitará un sistema de iluminación adecuado a las tareas a realizar, incluyendo la iluminación de las vías de acceso y de las zonas de trabajo. Además, se dispondrá de un sistema de emergencia alternativo, de intensidad suficiente, como linternas u otros dispositivos portátiles o fijos.

1.7.7.3 Instalaciones de suministro y reparto de energía

Se dispondrá un grupo electrógeno para garantizar el suministro de energía eléctrica.

Las instalaciones destinadas al suministro y distribución de electricidad en la obra deberán ser montadas y utilizadas de manera que se eviten riesgos de incendio o explosión, y asegurando la protección de las personas frente a posibles electrocuciones, tanto por contacto directo como indirecto.

El acceso a las partes activas de las instalaciones eléctricas quedará restringido exclusivamente a trabajadores autorizados o debidamente cualificados.

1.7.7.4 Ventilación

No se considera necesaria la implementación de sistemas de ventilación específicos debido a las características de la obra.

En los trabajos que se desarrollen en galerías, centros subterráneos u otros espacios confinados, antes del acceso y durante la permanencia en el interior, se realizarán las mediciones higiénicas pertinentes de la atmósfera para comprobar que los niveles de oxígeno son adecuados y que las concentraciones de contaminantes tóxicos o inflamables no superan los límites permitidos.

Estas actividades deberán contar siempre con vigilancia exterior y comunicación constante entre los trabajadores situados dentro y fuera del recinto, adoptándose todas las medidas necesarias para posibilitar un rescate rápido y eficaz en caso de emergencia.

En aquellos casos donde se utilicen herramientas o equipos que generen gases o vapores que disminuyan peligrosamente el nivel de oxígeno (por debajo del 18%), y no esté garantizada una ventilación adecuada, se instalará un sistema de renovación de aire limpio.

Además, debido a la posible presencia de contaminantes inflamables, se emplearán exclusivamente herramientas compatibles con este riesgo, como herramientas antideflagrantes.

1.7.7.5 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.

1.7.7.6 Detección y lucha contra incendios

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

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

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

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

1.7.7.7 Primeros auxilios

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

La Empresa Contratista dispondrá de un botiquín de obra para prestar primeros auxilios. 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.

1.7.8 PLAN DE SEGURIDAD

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

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

1.8 PLIEGO DE CONDICIONES

1.8.1 NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN

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

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

Ley 54/03 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.

R.D. 1627/97 de 24 de Octubre sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción

RD 171/04 de 30 Enero, por el que desarrolla el Art. 24 de la Ley 31/95, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.

R.D. 614/2001 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores frente al Riesgo Eléctrico

R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo

R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación Manual de Cargas

R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de Equipos de Protección Individual

O.M. de 18 de Octubre de 1994. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

1.8.2 NORMATIVA INTERNA DE RED ELÉCTRICA

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

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

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

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

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

AM-005 Trabajos de manutención manual y mecánica

IC-003 Subcontratación por proveedores de Red Eléctrica a terceros

Capítulo 2. TÉCNICAS Y PARTICULARIDADES

2.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN

Este documento tiene por objeto establecer los requisitos de carácter ambiental que se deben cumplir en los trabajos de obra civil y montaje electromecánico que se van a realizar para construcción de la subestación de 400 kV de Ordes, para minimizar los posibles impactos ambientales que puede conllevar el desarrollo de los trabajos de construcción.

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

2.2 REQUISITOS DE CARÁCTER GENERAL

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

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

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

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

2.2.3 CAMBIOS DE ACEITES Y GASAS

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 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.

2.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS

2.3.1 ZONIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS

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

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

2.3.2 ACCESOS

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

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

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

2.3.3 RETIRADA DE LA CUBIERTA VEGETAL

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

2.3.4 PATRIMONIO CULTURAL

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

2.3.5 MOVIMIENTOS DE TIERRA PARA LA EXPLANACIÓN

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

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

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

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

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

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

2.4 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LA OBRA CIVIL

Limpieza de cubas de hormigonado

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

2.5 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO

2.5.1 LLENADO DE EQUIPOS CON ACEITE

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

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

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

2.5.2 LLENADO DE EQUIPOS CON 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.

2.6 ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA

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

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

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

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

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



PROYECTO DE EJECUCIÓN

PROYECTO TÉCNICO – ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN
ELÉCTRICA DE 400 kV PARA LA RED DE TRANSPORTE DE GALICIA

DOCUMENTO 4

PRESUPUESTO

Índice del presupuesto

<i>Índice del presupuesto</i>	<i>I</i>
-------------------------------------	----------

<i>Capítulo 1. Mediciones</i>	
<i>.....</i>	<i>4</i>

1.1	Aparamenta y materiales	4
1.2	Servicios auxiliares.....	5
1.3	Protecciones.....	6
1.4	Red de tierras	6
1.5	Sistema de control y comunicaciones.....	6
1.6	Construcción.....	7
1.6.1	Obra civil.....	7
1.6.2	Pruebas y puesta en servicio.....	7
1.7	Servicios y otros	8

<i>Capítulo 2. Precios unitarios</i>	
<i>.....</i>	<i>9</i>

2.1	Aparamenta y materiales	9
2.2	Servicios auxiliares.....	10
2.3	Protecciones.....	11
2.4	Red de tierras	11
2.5	Sistema de control y comunicaciones.....	11
2.6	Construcción.....	12
2.6.1	Obra civil.....	12
2.6.2	pruebas previas y puesta en servicio	12
2.7	Servicios y otros	13

Capítulo 3.....	Sumas parciales
.....	14
3.1 Aparamenta y materiales	14
3.2 Servicios auxiliares.....	15
3.3 Protecciones.....	16
3.4 Red de tierras	16
3.5 Sistema de control y comunicaciones.....	16
3.6 Construcción.....	17
3.6.1 Obra civil.....	17
3.6.2 Pruebas previas y puesta en servicio	17
3.7 Servicios y otros	18
Capítulo 4.....	Presupuesto general
.....	19

Capítulo 1. MEDICIONES

1.1 APARAMENTA Y MATERIALES

Aparamenta y Materiales	Concepto	Mediciones	Unidad
Interruptores trifásicos LTB 420E2 de ABB	Producción	9	Uds.
	Transporte	9	Uds.
	Instalación	9	Uds.
Seccionadores pantógrafos modelo GW54 (420 kV ABB)	Producción	6	Uds.
	Transporte	6	Uds.
	Instalación	6	Uds.
Seccionadores de columna giratoria modelo eDB420	Producción	12	Uds.
	Transporte	12	Uds.
	Instalación	12	Uds.
Seccionadores de salida con puesta a tierra (ABB)	Producción	6	Uds.
	Transporte	6	Uds.
	Instalación	6	Uds.
Transformadores de intensidad CA-420 de Arteche	Producción	18	Uds.
	Transporte	18	Uds.
	Instalación	18	Uds.
Transformadores de tensión capacitivos UTF-420 Arteche	Producción	18	Uds.
	Transporte	18	Uds.
	Instalación	18	Uds.
Autoválvulas EXLIM P ABB clase 4	Producción	27	Uds.
	Transporte	27	Uds.
	Instalación	27	Uds.
Embarrado principal (tubo 250/228 mm)	Producción	640	m
	Transporte	640	m
	Instalación	6400	m
Embarrado secundario (tubo 150/134 mm)	Producción	2.400	m
	Transporte	2.400	m
	Instalación	2.400	m
Embarrado de tendido alto (conductor Lapwing dúplex)	Producción	1200	m
	Transporte	1200	m
	Instalación	1200	m

Aisladores C16-1425 (embarrado principal)	Producción	36	Uds.
	Transporte	36	Uds.
	Instalación	36	Uds.
Aisladores C10-1425 (embarrado secundario)	Producción	24	Uds.
	Transporte	24	Uds.
	Instalación	24	Uds.
Estructura metálica galvanizada	Producción	550.000	Kg
	Transporte	550.000	Kg
	Instalación	550.000	kg

1.2 SERVICIOS AUXILIARES

Servicios auxiliares	Concepto	Mediciones	Unidad
Cuadro general de corriente alterna	Producción	1	Ud.
	Transporte	1	Ud.
	Instalación	1	Ud.
Cuadro general de corriente continua 125 Vcc (2 barras)	Producción	1	Ud.
	Transporte	1	Ud.
	Instalación	1	Ud.
Sistema rectificador-batería 125 Vcc (x2)	Producción	2	Uds.
	Transporte	2	Ud.
	Instalación	2	Ud.
Sistema rectificador-batería 48 Vcc	Producción	1	Ud.
	Transporte	1	Ud.
	Instalación	1	Ud.
Cuadro general 48 Vcc	Producción	1	Ud.
	Transporte	1	Ud.
	Instalación	1	Ud.
Sistema de alumbrado interior (LED)	Producción	36	Uds.
	Transporte	36	Ud.
	Instalación	36	Ud.
Sistema de alumbrado exterior (LED con sensor)	Producción	24	Uds.
	Transporte	24	Ud.
	Instalación	24	Ud.
Grupo electrógeno de emergencia 30 kVA	Producción	1	Ud.
	Transporte	1	Ud.
	Instalación	1	Ud.

1.3 PROTECCIONES

Protecciones	Concepto	Mediciones	Unidades
Protección diferencial de línea			
SIEMENS SIPROTEC 5 modelo 7SL87	Producción	6	Uds.
	Transporte	6	Uds.
	Instalación	6	Uds.
Protección de barras			
SEL-487B de Schweitzer	Producción	1	Uds.
	Transporte	1	Uds.
	Instalación	1	Uds.
Protección de interruptor			
SEL-451 de Schweitzer	Producción	12	Uds.
	Transporte	12	Uds.
	Instalación	12	Uds.

1.4 RED DE TIERRAS

Red de tierras	Concepto	Mediciones	Unidades
Conductor para la red de tierras			
Cable de cobre de 120 mm ²	Producción	11000	m
	Transporte	11000	m
	Instalación	11000	m
Puntas Franklin (pararrayos verticales)	Producción	8	Uds.
	Transporte	8	Uds.
	Instalación	8	Uds.

1.5 SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES

Sistema de control y comunicaciones	Concepto	Mediciones	Unidades
Bastidores, cuadros y convertidores	Producción	1	Uds.
	Transporte	1	Uds.

	Instalación	1	Uds.
Fibra óptica	Producción	1	Uds.
	Transporte	1	Uds.
	Instalación	1	Uds.
Conmutación (switches, routers, red IP interna)	Producción	1	Uds.
	Transporte	1	Uds.
	Instalación	1	Uds.
Control digital (SCADA, HMI, servidores)	Producción	1	Uds.
	Transporte	1	Uds.
	Instalación	1	Uds.

1.6 CONSTRUCCIÓN

1.6.1 OBRA CIVIL

Obra civil	Concepto	Mediciones	Unidades
Movimiento de tierras	-	25.000	m ³
Cimentaciones y plataforma	-	27.500	m ³
Casetas de relés prefabricadas (5 × 10 m)	-	3	Uds.
Edificio de control	-	1	Ud.
Vallado perimetral metálico galvanizado (2,5 m alto)	-	850	m
Drenajes y saneamientos	-	1	Ud.
Accesos desde carretera	-	75	m

1.6.2 PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO

Pruebas del correcto funcionamiento de la subestación	Medición	Unidad
---	----------	--------

Medida de las tensiones de contacto y paso	1	Uds.
Prueba dieléctrica de alta tensión a frecuencia industrial del circuito principal	1	Uds.
Prueba de estanqueidad, medición de estanqueidad y calidad del gas SF6	1	Uds.
Pruebas eléctricas y mecánicas del funcionamiento de la aparamenta	1	Uds.
Pruebas de los transformadores de tensión e intensidad	1	Uds.

1.7 SERVICIOS Y OTROS

Servicios y otros	Concepto	Medición	Unidades
Inspección de construcción	Servicio	1	Uds.
Seguridad y vigilancia	Servicio	1	Uds.
Cuidado medioambiental	Servicio	1	Uds.
Tasas municipales y autonómicas	Otro	1	Uds.
Seguridad y salud laboral	Otro	1	Uds.

Capítulo 2. PRECIOS UNITARIOS

2.1 APARAMENTA Y MATERIALES

Aparamenta y Materiales	Concepto	Precio unitario (€)	Unidad
Interruptores trifásicos modelo LTB 420E2 de ABB	Producción	43.665,49	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Seccionadores pantógrafos modelo GW54 de ABB	Producción	29.126,18	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Seccionadores columna giratoria eDB420 (sin PAT)	Producción	24.192,77	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Seccionadores columna giratoria eDB420 (con PAT)	Producción	30.742,74	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Transformadores de intensidad modelo CA-420 de Arteche	Producción	6.087,50	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Transformadores de tensión capacitivos UTF-420	Producción	3.183,06	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Autoválvulas modelo EXLIM P330-EH420 de ABB	Producción	985,99	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Embarrado principal (tubo 250/228 mm)	Producción	50,19	€/m
	Transporte	3,50	€/m
	Instalación	7,00	€/m
Embarrado secundario (tubo 150/134 mm)	Producción	17,91	€/m
	Transporte	3,50	€/m
	Instalación	7,00	€/m
Embarrado tendido alto (Lapwing dúplex)	Producción	2,61	€/m
	Transporte	3,50	€/m
	Instalación	7,00	€/m
Aisladores C16-1425	Producción	448,10	€/Ud

	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Aisladores C10-1425	Producción	576,13	€/Ud
	Transporte	297,50	€/Ud
	Instalación	273,70	€/Ud
Estructura metálica galvanizada	Producción	0,95	€/kg
	Transporte	0,07	€/kg
	Instalación	0,14	€/kg

2.2 SERVICIOS AUXILIARES

Servicios auxiliares	Concepto	Precio unitario (€)
Cuadro general de corriente alterna	Producción	1.435,50
	Transporte	35,00
	Instalación	105,00
Cuadro general de corriente continua 125 Vcc (2 barras)	Producción	2.170,76
	Transporte	42,00
	Instalación	350,00
Sistema rectificador-batería 125 Vcc (x2)	Producción	4.341,51
	Transporte	70,00
	Instalación	210,00
Sistema rectificador-batería 48 Vcc	Producción	1.540,54
	Transporte	42,00
	Instalación	140,00
Cuadro general 48 Vcc	Producción	1.995,69
	Transporte	35,00
	Instalación	175,00
Sistema de alumbrado interior (LED)	Producción	84,03
	Transporte	7,00
	Instalación	10,50
Sistema de alumbrado exterior (LED con sensor)	Producción	126,04
	Transporte	10,50
	Instalación	17,50
Grupo electrógeno emergencia 30 kVA	Producción	6.862,39
	Transporte	140,00
	Instalación	350,00

2.3 PROTECCIONES

Protecciones	Concepto	Precios unitarios	Unidades
SIEMENS SIPROTEC 5 modelo 7SL87	Producción	3.150,00 €	€/Uds.
	Transporte	94,50 €	€/Uds.
	Instalación	175,00 €	€/Uds.
Protección de barras SEL-487B	Producción	5.810,00 €	€/Uds.
	Transporte	94,50 €	€/Uds.
	Instalación	175,00 €	€/Uds.
Protección de interruptor SEL-451	Producción	3.640,00 €	€/Uds.
	Transporte	94,50 €	€/Uds.
	Instalación	175,00 €	€/Uds.

2.4 RED DE TIERRAS

Red de tierras	Concepto	Precios unitarios	Unidades
Conductor para la red de tierras (cobre 120 mm ²)	Producción	9,00 €	€/m
	Transporte	1,00 €	€/m
	Instalación	2,00 €	€/m
Puntas Franklin (pararrayos verticales)	Producción	300,00 €	€/Uds.
	Transporte	135,00 €	€/Uds.
	Instalación	250,00 €	€/Uds.

2.5 SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES

Sistema de control y comunicaciones	Concepto	Precios unitarios	Unidades
Bastidores, cuadros y convertidores	Producción	12.380,00 €	€/Uds.
	Transporte	190,00 €	€/Uds.
	Instalación	300,00 €	€/Uds.
Fibra óptica OS2 (€/m)	Producción	1,50 €	€/m
	Transporte	0,10 €	€/m
	Instalación	1,00 €	€/m
Conmutación (switches, routers, red IP interna)	Producción	5.000,00 €	€/Uds.
	Transporte	50,00 €	€/Uds.
	Instalación	250,00 €	€/Uds.

Control digital (SCADA, HMI, servidores)	Producción	20.000,00 €	€/Uds.
	Transporte	300,00 €	€/Uds.
	Instalación	1.000,00 €	€/Uds.

2.6 CONSTRUCCIÓN

2.6.1 OBRA CIVIL

Obra civil	Concepto	Precio unitario	Unidades
Movimiento de tierras	Obra civil	21,00 €	€/m³
Cimentaciones y plataforma	Obra civil	71,12 €	€/m³
Casetas de relés prefabricadas (5×10 m)	Obra civil	18.000,00 €	€/Uds.
Edificio de control	Obra civil	75.000,00 €	€/Uds.
Vallado metálico galvanizado (2,5 m alto)	Obra civil	37,50 €	€/m
Drenajes y saneamientos	Obra civil	9.000,00 €	€/Uds.
Accesos desde carretera	Obra civil	7,50 €	€/m

2.6.2 PRUEBAS PREVIAS Y PUESTA EN SERVICIO

Pruebas	Concepto	Precio unitario	Unidades
Medida de las tensiones de contacto y paso	Prueba	100,00 €	€/Uds.
Prueba dieléctrica de alta tensión a frecuencia industrial del circuito principal	Prueba	900,00 €	€/Uds.
Prueba de estanqueidad, medición de	Prueba	350,00 €	€/Uds.

estanqueidad y calidad del gas SF6			
Pruebas eléctricas y mecánicas de la aparatenta	Prueba	2.500,00 €	€/Uds.
Prueba de los transformadores de tensión e intensidad	Prueba	300,00 €	€/Uds.

2.7 *SERVICIOS Y OTROS*

Servicios y otros	Concepto	Precio unitario	Unidades
Inspección de construcción	Servicio	5.000,00 €	€/Uds.
Seguridad y vigilancia	Servicio	4.000,00 €	€/Uds.
Cuidado medioambiental	Servicio	2.000,00 €	€/Uds.
Tasas municipales y autonómicas	Otro	30.000,00 €	€/Uds.
Seguridad y salud laboral	Otro	8.000,00 €	€/Uds.

Capítulo 3. SUMAS PARCIALES

3.1 APARAMENTA Y MATERIALES

Aparamenta y Materiales	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Interruptores trifásicos LTB 420E2 de ABB	Producción	479.920,45	€
	Transporte	3.570	€
	Instalación	3.284,40	€
Seccionadores pantógrafos GW54 de ABB	Producción	233.014,60	€
	Transporte	2.380	€
	Instalación	2.189,60	€
Seccionadores columna giratoria eDB420	Producción	387.162,71	€
	Transporte	4.760	€
	Instalación	4.379,20	€
Seccionadores de columna con puesta a tierra eDB420	Producción	245.743,34	€
	Transporte	2.380	€
	Instalación	2.189,60	€
Transformadores de intensidad CA-420 de Artech	Producción	73.130,73	€
	Transporte	3.570	€
	Instalación	3.284,40	€
Transformadores de tensión capacitivos UTF-420 Artech	Producción	19.089,27	€
	Transporte	1.785	€
	Instalación	1.642,20	€
Autoválvulas EXLIM P ABB clase 4	Producción	2.957,49	€
	Transporte	892,50	€
	Instalación	821,10	€
Embarrado principal (tubo 250/228 mm)	Producción	32.137,35	€
	Transporte	2.240	€
	Instalación	4.480	€
Embarrado secundario (tubo 150/134 mm)	Producción	42.985,82	€
	Transporte	8.400	€
	Instalación	16.800	€
Embarrado de tendido alto (Lapwing dúplex)	Producción	3.134,94	€
	Transporte	4.200	€
	Instalación	8.400	€
Aisladores C16-1425	Producción	7.169,68	€
	Transporte	7.140	€
	Instalación	6.568,80	€

Aisladores C10-1425	Producción	13.827,24	€
	Transporte	7.140	€
	Instalación	6.568,80	€
Estructura metálica galvanizada	Producción	521.082,09	€
	Transporte	38.500	€
	Instalación	77.000	€

3.2 *SERVICIOS AUXILIARES*

Servicios Auxiliares	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Cuadro general corriente alterna	Producción	1.435,50	€
	Transporte	35,00	€
	Instalación	105,00	€
Cuadro general corriente continua 125 Vcc	Producción	2.170,76	€
	Transporte	42,00	€
	Instalación	350,00	€
Sistema rectificador-batería 125 Vcc (x2)	Producción	8.683,02	€
	Transporte	140,00	€
	Instalación	420,00	€
Sistema rectificador-batería 48 Vcc	Producción	1.540,54	€
	Transporte	42,00	€
	Instalación	140,00	€
Cuadro general 48 Vcc	Producción	1.995,69	€
	Transporte	35,00	€
	Instalación	175,00	€
Alumbrado interior (LED)	Producción	3.025,05	€
	Transporte	252,00	€
	Instalación	378	€
Alumbrado exterior (LED con sensor)	Producción	3.025,05	€
	Transporte	242,00	€
	Instalación	420,00	€
Grupo electrógeno emergencia 30 kVA	Producción	6.862,39	€
	Transporte	140,00	€
	Instalación	350,00	€

3.3 *PROTECCIONES*

Protecciones	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
SIEMENS SIPROTEC 5 modelo 7SL87	Producción	18.900,00€	€
	Transporte	567,00 €	€
	Instalación	1.050,00 €	€
Protección de barras SEL-487B	Producción	5.810,00€	€
	Transporte	94,50 €	€
	Instalación	175,00 €	€
Protección de interruptor SEL-451	Producción	43.680,00 €	€
	Transporte	1.134,00 €	€
	Instalación	2.100,00 €	€

3.4 *RED DE TIERRAS*

Red de Tierras	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Conductor para la red de tierras (cobre 120 mm ²)	Producción	99.000,00 €	€
	Transporte	11.000,00 €	€
	Instalación	22.000,00 €	€
Puntas Franklin (pararrayos verticales)	Producción	2.400,00 €	€
	Transporte	1.080,00 €	€
	Instalación	2.000,00 €	€

3.5 *SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIONES*

Sistema de Control y Comunicaciones	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Bastidores, cuadros y convertidores	Producción	12.380,00 €	€
	Transporte	190,00 €	€
	Instalación	300,00 €	€
Fibra óptica OS2	Producción	1500 €	€
	Transporte	100 €	€
	Instalación	1000 €	€
Conmutación (switches, routers, red IP interna)	Producción	5.000,00 €	€
	Transporte	50,00 €	€
	Instalación	250,00 €	€

Control digital (SCADA, HMI, servidores)	Producción	20.000,00 €	€
	Transporte	300,00 €	€
	Instalación	1.000,00 €	€

3.6 CONSTRUCCIÓN

3.6.1 OBRA CIVIL

Obra Civil	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Movimiento de tierras	Obra civil	525.000,00 €	€
Cimentaciones y plataforma	Obra civil	2.066.507,34 €	€
Casetas de relés prefabricadas (5×10 m)	Obra civil	54.000,00 €	€
Edificio de control	Obra civil	75.000,00 €	€
Vallado metálico galvanizado (2,5 m alto)	Obra civil	31.875,00 €	€
Drenajes y saneamientos	Obra civil	9.000,00 €	€
Accesos desde carretera	Obra civil	562,50 €	€

3.6.2 PRUEBAS PREVIAS Y PUESTA EN SERVICIO

Pruebas y Puesta en Servicio	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Medida de las tensiones de contacto y paso	Prueba	100,00 €	€
Prueba dieléctrica de alta tensión a frecuencia industrial del circuito principal	Prueba	900,00 €	€
Prueba de estanqueidad, medición de	Prueba	350,00 €	€

estanqueidad y calidad del gas SF6			
Pruebas eléctricas y mecánicas de la aparatamenta	Prueba	2.500,00 €	€
Pruebas de transformadores de tensión e intensidad	Prueba	300,00 €	€

3.7 *SERVICIOS Y OTROS*

Servicios y Otros	Concepto	Suma Parcial (€)	Unidades
Inspección de construcción	Servicio	5.000,00 €	€
Seguridad y vigilancia	Servicio	4.000,00 €	€
Cuidado medioambiental	Servicio	2.000,00 €	€
Tasas municipales y autonómicas	Otro	30.000,00 €	€
Seguridad y salud laboral	Otro	8.000,00 €	€

Capítulo 4. PRESUPUESTO GENERAL

Concepto	Precio total	Unidades
Aparamenta y materiales	2.285.921,31	€
Servicios auxiliares	32.004,00	€
Protecciones	73.510,50	€
Red de tierras	137.480,00	€
Sistema de control y comunicaciones	42.070,00	€
Construcción	2.766.094,84	€
Servicios y otros	49.000,00	€
TOTAL	6.515.155,59	€



PROYECTO DE EJECUCIÓN

PROYECTO TÉCNICO – ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN
ELÉCTRICA DE 400 kV PARA LA RED DE TRANSPORTE DE GALICIA

DOCUMENTO 5

BIBLIOGRAFÍA

Barrero Olea, A. (2018). *Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV con configuración de interruptor y medio para evacuación de generación* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

Rambla, A. (2018). *Proyecto técnico de una subestación eléctrica de 220 kV para conexión a red de transporte* [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. (2019). *Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 220/66 kV en Aragón para integración de renovables* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

Sainz Martín, T. M. (2024). *Proyecto de una subestación de 220 kV en el norte de España para refuerzo de red de transporte* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

Conde Poole, A. (2023). *Proyecto técnico administrativo de una subestación de 400 kV para la evacuación de generación* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.

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

Pliego de Condiciones Técnicas. Documento técnico interno de proyecto de subestación (2013).

Anexo 3 – Estudio de Seguridad. Documento técnico de proyecto de subestación (2013).

Anexo 2 – Especificaciones Técnicas Medioambientales. Documento técnico de proyecto de subestación (2013).

Cálculos PE. Documento técnico de cálculos eléctricos de proyecto de subestación (2013).

ABB. (2019). *Descargador de óxido de cinc EXLIM P*. Catálogo técnico.

ABB. (2018). *Interruptor LTB 420E2 J8*. Catálogo técnico.

Arteche. (2020). *Transformadores de Intensidad y Tensión de Alta Tensión*. Documento técnico.

Gilva S.A. (2015). *Catálogo de soluciones eléctricas. 50 aniversario*.

Hitachi Energy. (2022). *Seccionadores de columna tipo eDB420, hasta 420 kV*. Catálogo técnico.

GE Grid Solutions. (2017). *Pantógrafo GW54*. Documento técnico.

El clima en Ordes, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) – AEMET. (s. f).
Agencia Estatal de Meteorología.
<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>

Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus ITC-RAT. *Boletín Oficial del Estado*, 22 de mayo de 2014.

Red Eléctrica de España (REE). (2021). *Plan de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica 2021–2026*. REE.

IEEE. (2013). *IEEE Std 80-2013: Guide for Safety in AC Substation Grounding*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

CIGRÉ. (2010–2020). *Technical Brochures on Substation Design and Equipment*. Conseil International des Grands Réseaux Électriques.

García, L. (2015). *Subestaciones eléctricas de alta tensión*. Editorial Díaz de Santos.