



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE
SUBESTACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE
ENERGÍA ELÉCTRICA

Autor: Inés Martínez Escrig

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Proyecto técnico administrativo de subestación de la red de transporte de energía eléctrica en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Inés Martínez Escrig

Fecha: 24/ 06/ 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Matías Juan Sánchez Mingarro



Fecha 24/ 06/ 2025



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE
SUBESTACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE
ENERGÍA ELÉCTRICA

Autor: Inés Martínez Escrig

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE SUBESTACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Autor: Martínez Escrig, Inés.

Director: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Palabras clave: Subestación eléctrica, AIS, doble barra.

Este trabajo es un proyecto técnico administrativo de subestación de la red de transporte de energía eléctrica. Consiste en el diseño del parque de 132 kV de una subestación de 132/400 kV, situada en el municipio de Lucainena de las Torres, provincia de Almería.

El objetivo es la tramitación oficial del proyecto. Entre otros, se tendrá presente lo establecido en el Real Decreto 337/2014 del 9 de mayo, que incluye el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones de alta tensión y las Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01-23.

La subestación busca facilitar la conexión de generación fotovoltaica y reducir las pérdidas mejorando el transporte energético.

La subestación estará conectada a la red de 132 kV y a la red de 400 kV. Esta última conexión se realizará con la subestación de Antas 400 kV. El alcance del proyecto consiste en el diseño del parque de 132 kV hasta el transformador. De esta forma se contribuye al mallado de la red. Además, integrará en la red la generación de las plantas fotovoltaicas de Lucainena de las Torres, CSF Tabernas, Terrea solar, Ventura solar y Hornosol. Estas tres últimas se encuentran en desarrollo.

La instalación ocupa una superficie de 13122 m², donde se encuentra el parque de 132kV con configuración de doble barra y tecnología AIS (*Air Insulated Substation*). Se escoge esta tecnología por su flexibilidad ante cambios de diseño, facilidad de mantenimiento y bajo coste, en comparación con otras tecnologías disponibles. La configuración de doble barra equilibra rentabilidad y ventajas técnicas, destacando su flexibilidad, de forma que satisface los requisitos del sistema. El parque está formado por 7 posiciones: 5 procedentes de generación fotovoltaica, una de la red de 132 kV y otra posición de transformación a 400

kV. Además del transformador de potencia 132/400 kV y 315 MVA, la cantidad de aparataje se resume en la Tabla 1:

Tabla 1. Aparataje necesaria.

Interruptores	8
Seccionadores	23
Transformadores de Intensidad	24
Transformadores de Tensión capacitivos	27
Autoválvulas	24

Para los embarrados se utilizan tubos de aluminio normalizados de aleación es E-AlMg0,7Si F22. Los tubos de embarrado principal tendrán diámetro de 120/100 mm (exterior/interior) y los tubos de embarrado secundario tendrán diámetro de 80/60 mm.

En cuanto a las características eléctricas, la subestación tiene una tensión nominal de 132 kV, frecuencia nominal de 50 Hz y potencia nominal de 315 MVA. Las corrientes de cortocircuito monofásico y trifásico son 15 kA y 18 kA respectivamente. La duración del cortocircuito es de 0,5 s Tanto la tensión más elevada para el material como la tensión máxima de red son 145 kV.

La instalación consta de un edificio de control y tres casetas de relé, cada una de 4 x 6 m. El edificio de control contiene sala de control, sala de servicios auxiliares, aseos y almacén.

A la hora de realizar el proyecto, se tiene en consideración la integración con el entorno para minimizar el impacto visual, empleando barreras vegetales, iluminación cálida y colores terrosos en la edificación.

En la subestación se encuentran sistemas de protección que actuaran ante cualquier anomalía para proteger la instalación. Cuenta con protecciones de barras, de línea, de transformador y de interruptor. La instalación también dispone de sistemas de telecomunicación, sistemas contra incendios, sistemas antintrusismo y sistemas de alumbrado.

Para abastecer la subestación, esta los servicios auxiliares que alimentan dos niveles de tensión. Los sistemas auxiliares de corriente alterna alimentan el nivel de tensión de alterna de 400/230V y frecuencia 50Hz. Los sistemas auxiliares de corriente continua están

formados por equipos de rectificador-batería, y alimentan a los sistemas de continua de 125V.

La ejecución del proyecto requerirá un presupuesto de 5.161.024,50 €. Teniendo en cuenta el coste del proyecto y las subvenciones que se reciban para su ejecución, se obtiene un beneficio inicial de 735.593,50 €, que supone el 14,3% de la inversión.

TECHNICAL ADMINISTRATIVE PROJECT FOR THE ELECTRICITY TRANSMISSION NETWORK SUBSTATION

Author: Martínez Escrig, Inés.

Supervisor: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

Keywords: Electrical substation, AIS, double busbar configuration.

This project is a technical administrative project of an electrical substation transmission network. It consists of the design of the 132 kV park of a 132/400 kV substation, located in the municipality of Lucainena de las Torres, province of Almeria.

The objective is the official processing of the project. Among others, the provisions of Royal Decree 337/2014 of 9 May, which includes the Regulation on technical conditions and safety guarantees in high-voltage installations and the Complementary Technical Instructions ITC-RAT 01-23, will be considered.

The substation seeks to facilitate the connection of photovoltaic generation and to reduce losses by improving energy transport. The last connection will be made with the Antas 400 kV substation. The scope of the project consists of the design of the 132 kV park up to the transformer. In this way, it contributes to the meshing of the network. In addition, it will integrate the generation of the photovoltaic plants of Lucainena de las Torres, CSF Tabernas, Terrea solar, Ventura solar and Hornosol into the grid. The latter three photovoltaic plants are under development.

The facility occupies an area of 13122 m², where the 132kV park with double busbar configuration and AIS (Air Insulated Substation) technology is located. This technology is chosen for its flexibility to design changes, ease of maintenance and lower cost, compared to other available technologies. The Double Busbar Configuration balances cost-effectiveness and technical advantages with flexibility to meet system requirements. The park is made up of 7 positions: 5 from photovoltaic generation, one from the 132 kV grid and another 400 kV transformation position. In addition to the 132/400 kV and 315 MVA power transformer, the amount of switchgear is summarized in the following table:

Circuit breaker	8
Disconnectors	23
Current Transformers	24
Capacitive Voltage Transformers	27
Autovalves	24

The busbars will be made of standardized aluminum tubes of alloy E-AlMg0.7Si F22. The main busbar tubes will have a diameter of 120/100 mm (outside/inside) and the secondary busbar tubes will have a diameter of 80/60 mm.

In terms of electrical characteristics, the substation has a nominal voltage of 132 kV, nominal frequency of 50 Hz and nominal power of 315 MVA. The single-phase and three-phase short-circuit currents are 15 kA and 18 kA respectively. The short-circuit duration is 0.5 s. Both the highest voltage for the material and the maximum mains voltage are 145 kV.

The facility has a control building and three relay houses, each measuring 4 x 6 m. The control building contains a control room, auxiliary service room, toilets and warehouse.

When carrying out the project, the integration with the environment is taken into account with the aim of minimizing the visual impact, by using plant barriers, warm lighting and earthy colors in the building.

The substation has protection systems that will act in the event of any anomaly to protect the installation. It has busbars, lines, transformers and switch protections. The facility also has telecommunication systems, fire protection systems, anti-intrusion systems and lighting systems.

To supply the substation, there are auxiliary services that supply two voltage levels. The auxiliary AC systems supply the AC voltage level of 400/230V and frequency 50Hz. The auxiliary DC systems consist of battery-rectifier equipment, and power the 125V DC system.

The execution of the project will require a budget of € 5,161,024.50. Taking into account the cost of the project and the subsidies received for its execution, an initial profit of €735,593.50 is obtained, which represents 14.3% of the investment.

Índice de la memoria

Documento I	MEMORIA.....	9
1.	Memoria Descriptiva	10
1.1	Generalidades	10
1.1.1	Antecedentes y Estado del arte.....	10
1.1.2	Alcance.....	11
1.1.3	Objeto del Proyecto.....	11
1.1.4	Normativa.....	12
1.2	Descripción de la Subestación.....	12
1.2.1	Emplazamiento.....	12
1.2.2	Condiciones Ambientales.....	13
1.2.3	Características Eléctricas.....	13
1.2.4	Características de la Subestación.....	14
1.2.5	Tecnología de la Subestación.....	15
1.2.6	Integración con el Entorno.....	15
1.3	Descripción de las Posiciones.....	16
1.3.1	Sistemas Primarios.....	16
1.3.2	Sistemas Secundarios.....	27
2.	Cálculos.....	31
2.1	Características eléctricas	31
2.2	Embarrados Rígidos.....	33
2.2.1	Hipótesis de diseño.....	33
2.2.2	Normativa.....	34
2.2.3	Características.....	34
2.2.4	Cálculo de embarrado principal.....	36
2.2.5	Cálculo de embarrado secundario.....	47
2.3	Distancias.....	57
2.3.1	Hipótesis de diseño.....	57
2.3.2	Normativa.....	58
2.3.3	Desplazamiento del vano con el viento.....	59

2.3.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito.....	60
2.3.5 Aproximación de conductores.....	65
2.3.6 Distancia mínima.....	66
2.3.7 Distancias mínimas a adoptar.....	67
2.4 Selección de autoválvulas.....	68
2.5 Red de Tierras.....	70
2.5.1 Normativa.....	70
2.5.2 Red de Tierras Superiores.....	70
2.5.3 Red de Tierras Inferiores.....	71
2.6 Efecto corona.....	83
3. Estudio Económico.....	85
4. Anexos 86	
4.1 Objetivos de desarrollo sostenible.....	86
4.2 Características Eléctricas.....	87
4.3 Aparamenta.....	89
4.3.1 Interruptores.....	89
4.3.2 Seccionadores pantógrafos.....	91
4.3.3 Seccionadores rotativos de tres columnas.....	93
4.3.4 Transformadores de intensidad.....	95
4.3.5 Transformadores de tensión capacitivos.....	97
4.3.6 Autoválvulas.....	99
4.3.7 Aisladores soporte.....	106
4.4 Embarrado.....	107
4.5 Aportación Económica.....	108
5. Bibliografía.....	110
Documento II PLANOS.....	112
Documento III PLIEGO DE CONDICIONES.....	120
1. Generales y económicas.....	121
1.1 Objeto.....	121

1.2	Normativa aplicable.	122
1.2.1	<i>Equipamiento y montaje.</i>	<i>122</i>
1.2.2	<i>Obra civil.</i>	<i>124</i>
1.3	Gestión de calidad.	128
1.4	Gestión medioambiental.	129
1.5	Seguridad en el trabajo.	129
1.6	Verificación y validación.	129
1.7	Estudio de seguridad y salud.	130
1.7.1	<i>Memoria.</i>	<i>130</i>
1.7.2	<i>Características de la obra.</i>	<i>130</i>
1.7.3	<i>Pliego de condiciones.</i>	<i>144</i>
2.	<i>Técnicas y particulares.</i>	<i>146</i>
2.1	Ámbito de aplicación.	146
2.2	Requisitos de carácter general.	146
2.2.1	<i>Condicionados de los organismos de la administración.</i>	<i>146</i>
2.2.2	<i>Áreas de almacenamiento temporal o trasiego de combustible.</i>	<i>146</i>
2.2.3	<i>Cambios de aceite y grasa.</i>	<i>147</i>
2.2.4	<i>Campamento de obra.</i>	<i>147</i>
2.2.5	<i>Gestión de residuos.</i>	<i>148</i>
2.2.6	<i>Incidentes con consecuencias ambientales.</i>	<i>148</i>
2.3	Requisitos específicos para los movimientos de tierras.	149
2.3.1	<i>Zonificación de los trabajos.</i>	<i>149</i>
2.3.2	<i>Accesos.</i>	<i>149</i>
2.3.3	<i>Retirada de la cubierta vegetal.</i>	<i>149</i>
2.3.4	<i>Patrimonio cultural.</i>	<i>149</i>
2.3.5	<i>Movimiento de tierra para la explanación.</i>	<i>150</i>
2.4	Requisitos específicos para la obra civil.	150
2.5	Requisitos específicos para el montaje electromecánico.	151
2.5.1	<i>Llenado de equipos con aceite.</i>	<i>151</i>
2.5.2	<i>Llenado de equipos con SF6.</i>	<i>151</i>
2.6	Acondicionamiento final de la obra.	151
Documento IV	<i>PRESUPUESTO.</i>	<i>153</i>

1. Mediciones.....	154
1.1 Aparamenta y materiales.....	154
1.2 Servicios auxiliares.....	155
1.3 Sistemas de protección.....	155
1.4 Red de tierras.....	155
1.5 Sistema de control y comunicación.....	155
1.6 Construcción.....	156
1.7 Ingeniería.....	156
1.8 Otros.....	156
2. Precios unitarios.....	157
2.1 Aparamenta y materiales.....	157
2.2 Servicios auxiliares.....	158
2.3 Sistemas de protección.....	158
2.4 Red de tierras.....	158
2.5 Sistema de control y comunicación.....	158
2.6 Construcción.....	159
2.7 Ingeniería.....	159
2.8 Otros.....	159
3. Sumas parciales.....	160
3.1 Aparamenta y materiales.....	160
3.2 Servicios auxiliares.....	161
3.3 Sistemas de Protección.....	161
3.4 Red de tierras.....	161
3.5 Sistema de control y comunicación.....	161
3.6 Construcción.....	162
3.7 Ingeniería.....	162
3.8 Otros.....	162
4. Presupuesto general.....	163

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Corriente de cresta de cortocircuito trifásico.....	36
Ecuación 2. Esfuerzo por viento.....	37
Ecuación 3. Esfuerzo por el peso propio del tubo.	37
Ecuación 4. Esfuerzo por cortocircuito.	38
Ecuación 5. Frecuencia del tubo.....	38
Ecuación 6. Factor del efecto dinámico.....	39
Ecuación 7. Factor de reenganche.	39
Ecuación 8. Tensión de trabajo del tubo por el esfuerzo dinámico de cortocircuito.....	40
Ecuación 9. Tensión de trabajo según esfuerzo.....	40
Ecuación 10. Tensión total que ha de soportar el tubo.....	41
Ecuación 11. Tensión máxima que puede soportar el tubo.....	42
Ecuación 12. Esfuerzo por cortocircuito sobre el aislador.	42
Ecuación 13. Fuerza total.	43
Ecuación 14. Esfuerzo por viento sobre el aislador.....	43
Ecuación 15. Fuerza total sobre el aislador.	44
Ecuación 16. Flecha máxima de un vano.	44
Ecuación 17. Elongación del tubo por efectos térmicos.....	45
Ecuación 18. Intensidad térmica en cortocircuito.	45
Ecuación 19. Esfuerzo del viento sobre el conductor.....	59
Ecuación 20. Desplazamiento máximo del conductor.....	59
Ecuación 21. Distancia mínima entre conductores.....	59
Ecuación 22. Esfuerzo debido a un defecto bifásico.....	60
Ecuación 23. Proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito.....	61
Ecuación 24. Flecha estática en el conductor tendido.....	61
Ecuación 25. Periodo de oscilación de la flecha estática en el conductor tendido.....	62

Ecuación 26. Periodo de oscilación de la flecha estática en el conductor tendido ante cortocircuito.....	62
Ecuación 27. Módulo de Young real del conductor.	62
Ecuación 28. Factor de carga del conductor.....	63
Ecuación 29. Rigidez del sistema mecánico compuesto.	63
Ecuación 30. Ángulo de oscilación del vano durante el paso de la corriente de cortocircuito.	63
Ecuación 31. Ángulo máximo de oscilación.	64
Ecuación 32. Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito.	64
Ecuación 33. Parámetro combinatorio de los efectos de los factores de carga.	65
Ecuación 34. Desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito.....	65
Ecuación 35. Coeficiente de deformación elástica.....	66
Ecuación 36. Coeficiente de deformación térmica.....	66
Ecuación 37. Distancia mínima entre conductores en cortocircuito.	67
Ecuación 38. Factor de puesta a tierra.....	68
Ecuación 39. Tensión de funcionamiento continuo.	68
Ecuación 40. Tensión TOV.	68
Ecuación 41. Línea de fuga.	69
Ecuación 42. Radio crítico de cebado.	70
Ecuación 43. Coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial.....	71
Ecuación 44. Resistividad Superficial Aparente.	72
Ecuación 45. Sección mínima del conductor de tierra ITC-RAT 13.....	72
Ecuación 46. Sección mínima del conductor IEEE 80.....	73
Ecuación 47. Tensión de contacto aplicada ITC-RAT 13.....	75
Ecuación 48. Tensión de paso aplicada ITC-RAT 13.	75
Ecuación 49. Tensión de contacto máxima IEEE 80.....	76
Ecuación 50. Tensión de paso máxima IEEE 80.....	76
Ecuación 51. Resistencia de puesta a tierra.....	76
Ecuación 52. Corriente de defecto a tierra.	77
Ecuación 53. Intensidad total disipada por la malla a tierra.....	78

Ecuación 54. Factor de geometría.	79
Ecuación 55. Tensión teórica de contacto.	80
Ecuación 56. Factor de espaciado de la malla.	80
Ecuación 57. Factor de corrección efecto esquina malla.....	81
Ecuación 58. Factor de corrección efecto profundidad malla	81
Ecuación 59. factor de corrección de irregularidad.	81
Ecuación 60. Tensión teórica de paso.	82
Ecuación 61. Factor de espaciado de la tensión de paso.	82
Ecuación 62. Longitud efectiva de la red de conductores enterrados para la tensión de paso.	82
Ecuación 63. Tensión disruptiva.	83
Ecuación 64. Factor de corrección de la densidad del aire.....	83
Ecuación 65. Valor eficaz del campo eléctrico crítico.	84
Ecuación 66. Distancia media geométrica entre conductores.	84

Índice de tablas

Tabla 1. Aparamenta necesaria.....	8
Tabla 2. Condiciones Ambientales.....	13
Tabla 3. Características eléctricas.	14
Tabla 4. Características interruptores.	16
Tabla 5. Características seccionadores pantógrafos.	17
Tabla 6. Características seccionadores.	18
Tabla 7. Características transformadores de intensidad.	19
Tabla 8. Características transformadores de tensión posiciones 132 kV.	19
Tabla 9. Características transformadores de tensión final posición 400 kV.	20
Tabla 10. Características Autoválvulas posiciones 132 kV.	20
Tabla 11. Características Autoválvulas final posición 400 kV.	21
Tabla 12. Características embarrado principal.	24
Tabla 13. Características embarrado secundario.	25
Tabla 14. Características embarrado de tendido alto.....	25
Tabla 15. Características aisladores soporte.....	26
Tabla 16. Estimación de la potencia procedente de las fotovoltaicas	31
Tabla 17. Tensiones Nominales Normalizadas, ITC-RAT 04.[4].....	32
Tabla 18. Niveles de aislamiento nominales asociados con los valores normalizados de la tensión más elevada para materiales del Grupo B [4].	33
Tabla 19. Clasificación de la clase de descarga según la norma CEI 99-5.	69
Tabla 20. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta t_F ITC-RAT-13 [4].	74

Documento I

MEMORIA

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 GENERALIDADES.

1.1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.

El trabajo consiste en diseñar una subestación de 132 kV situada en el municipio de Lucainena de las Torres cerca de Sorbás, provincia de Almería.

La subestación integrará en la red de 400 kV la creciente generación de las plantas fotovoltaicas de Lucainena de las Torres, CSF Tabernas, Terrea solar, Ventura solar y Hornosol. Estas tres últimas se encuentran en desarrollo.

En Andalucía está en desarrollo el eje Caparcena Baza-Ribina [1], que culmina en la subestación de Antas. Una vez se encuentre operativo, la energía renovable producida en la provincia podrá ser evacuada eficientemente. Por ello es relevante conectar la subestación de este proyecto a Antas 400 kV.

De las tecnologías disponibles (AIS, GIS y HIS), se desarrolla la tecnología AIS pues, por el nivel de tensión y la disponibilidad de espacio, es la que se selecciona para este proyecto.

La tecnología AIS (*Air-Insulated Switchgear*) tiene por principio el empleo del aire como medio aislante, tanto para aislamiento entre fase y tierra como entre fases, en contraposición a la tecnología GIS (*Gas-Insulated Switchgear*) en la que el medio aislante que se utiliza es el gas SF₆. El uso del aire como medio dieléctrico implica un mayor requerimiento de espacio en comparación con las otras tecnologías disponibles. La tecnología GIS y, en menor medida, la tecnología híbrida HIS, requieren de menor espacio para su instalación, así como de menos frecuencia de mantenimiento, pero su mantenimiento es complejo. Asimismo, su resistencia frente a la contaminación y factores ambientales es mejor. Sin embargo, las subestaciones AIS tienen menor coste de inversión, mayor facilidad de mantenimiento y mayor flexibilidad operativa y de ampliación. La tecnología AIS se utiliza principalmente

en subestaciones de alta tensión, interconexiones con la red de transporte y cuando no hay limitaciones de espacio, como es el caso de este proyecto.

Esta tecnología está en continuo desarrollo. Los relés de protección digitales (IEC 61850) han reducido el cableado y flexibilizado la operación remota, y los sistemas de monitorización continua permiten una mejor predicción del mantenimiento. De cara al futuro, destaca la decisión tomada por la Unión Europea [2] de reducir gradualmente aquellas sustancias responsables del calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono, que sienta las bases para la eliminación de los gases fluorados dentro de la Unión Europea para el año 2050 [3]. Esta presión para reducir la presencia de SF₆ revaloriza la tecnología AIS como opción más sostenible,

lo que, unido a la creciente demanda de nudos de integración de energía renovable en la red, aumenta las posibilidades de que la tecnología AIS permanezca en uso.

1.1.2 ALCANCE.

Se selecciona el emplazamiento de la subestación atendiendo a condiciones ambientales, sociales y de acceso. También se seleccionan la tecnología y la configuración que se ajusten a las necesidades operativas de la subestación de forma económica, así como la aparamenta, embarrados y los sistemas secundarios. Se establece red de tierras necesaria así como la obra civil, la cual incluye movimiento de tierras, vías de acceso, vallado, drenaje y saneamiento, casetas de relés y edificio de control.

1.1.3 OBJETO DEL PROYECTO.

El objetivo principal es la tramitación del proyecto.

Además, esta subestación busca una mejor integración de la energía de origen solar en la red, así como contribuir al mallado de la red.

Los efectos de esta nueva subestación en la red serán positivos, pues se conseguirán descongestionar otras subestaciones y se reducirán las pérdidas con la mejora del transporte energético. Asimismo, esta propuesta favorecerá la implantación de otras instalaciones

fotovoltaicas al garantizar la conexión eficiente a la red, de forma que se aprovechen al máximo los recursos de la región.

1.1.4 NORMATIVA.

Para lograr la tramitación del proyecto se deberá tener en cuenta la normativa vigente a la hora de diseñarla. Fundamentalmente el Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23” [4]. Además, son de aplicación las siguientes normas:

- Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre [5], referente a los criterios de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero[6], por el que se aprueba el Reglamento de líneas de alta tensión (RLAT).
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre[7] que regula, entre otras, las actividades de transporte y distribución y los procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Normas UNE.
- Normas IEE.
- Normas CEI.

En el Pliego de condiciones del Documento III, se encuentra recogida la normativa aplicable al completo, que incluye lo referente a equipos y su montaje, estructuras, instalaciones y protección.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.

1.2.1 EMPLAZAMIENTO.

Se sitúa en el municipio de Lucainena de las Torres, provincia de Almería. Los datos de la parcela son los siguientes:

- Polígono 11 Parcela 26 LA RELLANA. LUCAINENA DE LAS TORRES (ALMERÍA).
- Referencia catastral: 04060A011000260000GQ.
- Coordenadas: (572.695,28; 4.104.193,87).

Latitud: 37°4'52.31"N – Longitud: 2°10'55.62"O.

- Superficie: 63.934 m².

Esta ubicación se encuentra alejada de grandes núcleos de población y próxima a la N-340a, lo que facilitará el transporte de equipos.

1.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES.

Las condiciones ambientales de la zona se obtienen de los datos de la estación meteorológica más cercana, Almería Aeropuerto (Municipio: Almería), a 25,62 km, recogidos por la AEMET[8] en los últimos diez años. En la siguiente Tabla 2 se encuentran, en la columna central, las condiciones ambientales del emplazamiento de la subestación y, en la columna de la derecha, los límites según la normativa.

Tabla 2. Condiciones Ambientales

	Emplazamiento Subestación	Limites según normativa
Temperatura máxima media (°C)	39,78	40
Temperatura mínima media (°C)	5,00	-5
Velocidad del viento (km/h)	104,13	140
Humedad relativa (%)	66%	95%
Altitud sobre el nivel mar (m)	549	1000

1.2.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.

La tensión nominal de la subestación es de 132 kV y la frecuencia nominal se corresponde con los 50 Hz de la red Española. Según el reglamento de alta tensión, la clasificación de la subestación es de categoría primera, pues su tensión nominal se encuentra comprendida entre

los 66 kV y los 220 kV. Las características eléctricas se recogen en la Tabla 3, y la obtención de los valores se describe en el Capítulo 2 “Cálculos”.

Tabla 3. Características eléctricas.

[U_N] Tensión nominal	132 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
[S_N] Potencia nominal de transformación	315 MVA
[I_N] Intensidad nominal	1377,8 A
[U_m] Tensión más elevada para el material	145 kV
[U_s] Tensión máxima de la Red	145 kV
[I_{cc,1φ}] Intensidad de cc monofásica	15 kA
[I_{cc,3φ}] Intensidad de cc trifásica	18 kA

Ante los valores de cortocircuito monofásico y trifásico, la corriente de cortocircuito normalizada es de 31,5 kA y su valor de cresta asignada 79 kA. Según el ITC-RAT-12 para el nivel de aislamiento, la instalación se clasifica en el Grupo B, con lo que la distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases es de 1300 mm.

1.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBESTACIÓN.

La configuración seleccionada es la doble barra, por su buena relación flexibilidad, fiabilidad y coste. Cualquier posición puede estar conectada a cualquiera de las dos barras, por lo que en caso de fallo o mantenimiento en una barra o si algún parque está en mantenimiento, se pueden conectar las posiciones operativas a la otra barra y así continuar el servicio. También permite la futura ampliación con más posiciones sin necesidad de reconfigurar la subestación.

Se han descartado las configuraciones con simple barra, pese a ser más económicas, pues no permiten continuar con el servicio mientras se realizan mantenimientos e implican la pérdida del servicio completo ante falta o fallo en barra o interruptor. Por otra parte, pese a las ventajas técnicas de las configuraciones de interruptor y medio, doble barra con *bypass* o

doble barra con doble interruptor, estas también se han descartado por su elevado precio y requerimiento de espacio.

1.2.5 TECNOLOGÍA DE LA SUBESTACIÓN.

Se escoge la tecnología AIS (*Air Insulated Switchgear*) de intemperie. Esta opción resulta la opción más eficiente y económica en comparación con el resto de las tecnologías disponibles, debido a su flexibilidad ante cambios de diseño y a la facilidad de su mantenimiento.

La subestación se encuentra en una zona rural sin limitaciones de espacio, por lo que no es preciso compactarla. El clima seco de la zona es favorable. Supone un coste inicial más reducido que la tecnología GIS o HIS, y es muy flexible ante cambios de diseño.

1.2.6 INTEGRACIÓN CON EL ENTORNO.

Para minimizar el impacto visual se tendrán las siguientes consideraciones:

- Vallado del recinto con malla metálica con una altura de 2,4 m que servirá de medida antintrusismo y como medio para reducir la visibilidad de la subestación desde el exterior.
- Plantado de árboles autóctonos en el entorno de la subestación, como pinos, cipreses y romero, que actúen como barrera vegetal e impidan visualizar la instalación desde el exterior.
- La fachada del edificio de control será de color terroso claro imitando los tonos del entorno.
- Iluminación con LED cálido, con sensores de movimiento temporizados para reducir el impacto lumínico nocturno.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS POSICIONES.

1.3.1 SISTEMAS PRIMARIOS.

1.3.1.1 Esquema Unifilar.

La subestación cuenta con dos barras principales acopladas entre sí. Además, tiene 7 posiciones correspondientes con la red de 132 kV, las plantas fotovoltaicas Lucainena de las Torres, CSF Tabernas, Terrea solar, Ventura solar y Hornosol y una última posición de transformación hasta los 400 kV que conectará con una línea hacia la subestación de Antas.

En cuanto a los elementos que la componen, la subestación tiene un total de:

- 8 Interruptores.
- 14 Seccionadores pantógrafos.
- 9 Seccionadores de tres columnas giratorias.
- 24 Transformadores de Intensidad.
- 27 Transformadores de Tensión capacitivos.
- 24 Autoválvulas.
- 3 Transformadores monofásicos 132/400 kV de 315 MVA.

1.3.1.2 Aparamenta.

➤ Interruptores.

Se requieren 8 interruptores de potencia trifásicos. Han de cumplir con lo establecido en la ITC-RAT-06. Se selecciona el modelo LTB 145D1/B de ABB. Es un interruptor trifásico de tanque vivo y medio de extinción SF6. Sus características son las siguientes:

Tabla 4. Características interruptores.

INTERRUPTORES: LTB 145D1/B	ABB
Tensión nominal	145 kV
Frecuencia Nominal	50 Hz

Tensión soportada a nivel industrial a tierra y entre fases	275 kV
Tensión soportada a nivel industrial a través se polo abierto	275 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo a tierra y entre fases	650 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo a través se polo abierto	650 kV
Corriente nominal de servicio	3150 A
Corriente admisible de corta duración	40 kA
Tiempo de corte	40 ms
Secuencia de operación nominal	O-0.3 s-CO-3 min-CO or CO-15 s-CO

➤ **Seccionadores Pantógrafos.**

Se requieren 14 seccionadores pantógrafos, que se implementarán antes de la conexión a barras. Al ser verticales se ahorra espacio y se tiene buena visibilidad de la apertura. Han de cumplir con lo establecido en la ITC-RAT-06. Se selecciona el modelo GW45 de 145 kV de Hitachi. Sus características son las siguientes:

Tabla 5. Características seccionadores pantógrafos.

SECCIONADORES PANTÓGRAFOS: GW54 de 145 kV	HITACHI
Tensión nominal	145 kV
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión soportada a nivel industrial a tierra y entre fases	275 kV
Tensión soportada a nivel industrial a través se polo abierto	315 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo a tierra y entre fases	650 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo a través se polo abierto	750 kV
Corriente nominal de servicio	4000 A
Corriente admisible de corta duración	40 kA

➤ **Seccionadores rotativos de tres columnas.**

Se requieren 9 seccionadores de tres columnas giratorias, que se implementarán en las puestas a tierra, la entrada de línea y el acoplamiento de barras. Han de cumplir con lo establecido en la ITC-RAT-06. Se selecciona el modelo SG3CT-145/2000 + AE-90 + AGL-14 de MESA. Este seccionador de columna giratoria cuenta con cuchillas de puesta a tierra integradas por lo que puede actuar tanto como seccionador de línea como seccionador de puesta a tierra. Sus características son las siguientes:

Tabla 6. Características seccionadores.

SECCIONADORES COLUMNAS: SG3CT-145/2000 + AE-90 + AGL-14	MESA
Tensión nominal	145 kV
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión soportada a nivel industrial a tierra y entre fases	275 kV
Tensión soportada a nivel industrial a través se polo abierto	315 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo a tierra y entre fases	650 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo a través se polo abierto	750 kV
Corriente nominal	2000 ^a
Corriente admisible de corta duración	40 kA
Tipo de aislador	C4-650

➤ **Transformadores de Intensidad.**

Se requieren 24 transformadores de intensidad monofásicos, ubicando uno en cada fase de cada una de las posiciones y del acoplamiento. Han de cumplir con lo establecido en la ITC-RAT-08. Se selecciona el modelo CA-145 de Artech, con aislador papel-aceite. Sus características son las siguientes:

Tabla 7. Características transformadores de intensidad.

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD: CA-145	ARTECHE
Tensión máxima de servicio	145 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	275 kV
Tensión de ensayo a impulso	650 kV
línea de fuga estándar	3625 mm
Corrientes primarias	De 1 A a 5000 A
Corrientes de cortocircuito	Hasta 120 kA/1s

➤ **Transformadores de Tensión capacitivos.**

Se requieren 27 transformadores de tensión capacitivos, ubicando uno en cada una de las posiciones y uno en cada barra. Han de cumplir con lo establecido en la ITC-RAT-08. Para el nivel de tensión de 132 kV se selecciona el modelo DDB-145 de Artech, con aislamiento papel-aceite. Sus características son las siguientes:

Tabla 8. Características transformadores de tensión posiciones 132 kV.

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS: DDB-145	ARTECHE
Tensión máxima de servicio	145 kV
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	275 kV
Tensión de ensayo a impulso	650 kV
Capacidad estándar	3900 pF
Alta capacidad	19500 pF
Línea de fuga estándar	3625 mm

Para el final de la posición de 400 kV se selecciona el modelo DFK-420 de la marca Artech, con aislamiento papel-aceite. Sus características son las siguientes:

Tabla 9. Características transformadores de tensión final posición 400 kV.

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS: DFK-420	ARTECHE
Tensión máxima de servicio	420 kV
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	575/630 kV
Tensión de ensayo a impulso	1300/1425 kV
Tensión de ensayo maniobra	950/1050 kV
Capacidad estándar	3500 pF
Alta capacidad	7700 pF
Línea de fuga estándar	10500 mm

➤ **Autoválvulas.**

Se requieren 24 autoválvulas. Para el nivel de tensión de 132 kV se selecciona el modelo EXLIM Q-E EH145 de la marca ABB. Sus características son las siguientes:

Tabla 10. Características Autoválvulas posiciones 132 kV.

AUTOVÁLVULAS: EXLIM Q-E EH145	ABB
Tensión máxima de red	145 kV
Tensión nominal	108 kV
Tensión de trabajo continuo	86 kV
Sobretensión temporal (1 s)	125 kV
Sobretensión temporal (10 s)	118 kV
Tensión residual máxima con onda de corriente 2 kA, 30/60µs	223 kV
Tensión residual máxima con onda de corriente 10 kA	254 kV
Línea de fuga	3865 mm
Clase	3

Para el final de la posición de 400 kV se selecciona el modelo EXLIM P DM420 de la marca ABB. Sus características son las siguientes:

Tabla 11. Características Autoválvulas final posición 400 kV.

AUTOVÁLVULAS: EXLIM P DM420	ABB
Tensión máxima de red	420 kV
Tensión nominal	330 kV
Tensión de trabajo continuo	264 kV
Sobretensión temporal (1 s)	382 kV
Sobretensión temporal (10 s)	363 kV
Tensión residual máxima con onda de corriente 20 kA	823 kV
Línea de fuga	8864 mm
Clase	4

➤ **Transformador de potencia 132/400 kV.**

Se requieren tres transformadores monofásicos 132/400 kV de 315 MVA, los cuales serán encargados a la empresa EFACEC. Han de cumplir con lo establecido en ITC-RAT-07. Sus características son las siguientes:

- Frecuencia nominal: 50 Hz.
- Tipo de instalación: intemperie.
- Relación de transformación: 400/132±15%.
- Número de fases: monofásico.
- Potencia nominal:
 - Arrollamiento primario: 315 MVA.
 - Arrollamiento secundario: 315 MVA.
- Tensión nominal:
 - Arrollamiento primario: 132 kV.
 - Arrollamiento secundario: 400 kV.
- Corriente nominal:
 - Arrollamiento primario: 1378 A.
 - Arrollamiento secundario: 454 A.

- Corriente de cortocircuito:
 - o En 420 kV: 50 kA.
 - o En 132 kV: 31,5 kA.
- Refrigeración: OFAF.

1.3.1.3 Obra Civil.

La obra civil se realiza siguiendo las indicaciones del ITC-RAT 15.

➤ Movimiento de tierras.

El proceso de movimiento de tierras se realiza siguiendo las indicaciones del ITC-RAT 15 y consta de las siguientes fases:

1. Explanación del terreno, retirada del material que haya sobre el terreno y eliminación de la capa vegetal.
2. Excavación del terreno (la tierra extraída se depositará en un vertedero autorizado).
3. Excavaciones para la cimentación y drenaje.
4. Rellenar la explanación, instalando el mallado de la red de tierras a profundidad de 1 m.
5. Cubrir el suelo de la subestación con una capa de grava de 20 cm de espesor, para evitar el polvo y disminuir la tensión de paso y contacto aplicada al cuerpo humano.

Según la cartografía del Instituto Geológico y Minero Español [9], la composición del suelo de la zona es de areniscas y margas. Esta información se empleará en el diseño de la red de tierras, Capítulo 2 “Cálculos”, al no haber podido realizar un estudio geológico. Con carácter previo a realizar la obra, se tomarán las medidas necesarias para determinar las características exactas del terreno.

➤ Vía de acceso.

Construcción de una vía de acceso desde la N-340a por el interior de la parcela. Esta vía permitirá el acceso de vehículos convencionales y del transporte de la aparamenta. Tendrá

dos carriles (uno por sentido), cada uno de 5 m de ancho, debidamente pavimentados y asfaltados.

➤ **Vallado.**

La valla que rodea el recinto de la instalación tendrá 2,4 m de alto, cumpliendo con el límite mínimo de 2,2 m establecido en la ITC-RAT-15. El perímetro total de la valla será de 486 m. El enrejado estará formado por cuadrículas de 30 x 30 mm, cumpliendo con el límite mínimo de 50 x 50 mm establecido en la ITC-RAT-15. Así mismo, contará con seis señales de advertencia de peligro por alta tensión distribuidas por el perímetro.

➤ **Drenajes y saneamientos.**

Se instalará un sistema de canalización y drenaje que evacue el agua de lluvia y evite así encharcamientos en la instalación. El agua será evacuada hasta una balsa de retención.

El agua procedente de los aseos del edificio de control se evacuará a una fosa séptica con filtro, que será vaciada periódicamente.

➤ **Edificio de control.**

El edificio de control será de 20 x 30 m con una altura de 3 m. Estará formado por un pasillo distribuidor y cuatro salas: sala de control, sala de servicios auxiliares, aseos y almacén. Tendrá dos accesos, uno al pasillo distribuidor para personal y otro para el almacén. En el Documento II Planos se encuentra el plano de la edificación.

El edificio contendrá los sistemas de control y comunicación, cuadros de servicios auxiliares y los sistemas de seguridad y antintrusismo. Además, estará conectado con las casetas de relés de la subestación. Dispondrá de sistema de ventilación y climatización en todas las salas.

➤ **Casetas de Relés.**

Se construirán 3 casetas de relés de planta rectangular con dimensiones de 4 x 6 m. Contendrán los bastidores de relés, armarios de comunicaciones y cuadros de servicios

auxiliares. Dispondrán de sistema de climatización para mantener la temperatura de los equipos.

1.3.1.4 Estructuras Metálicas.

Para las estructuras metálicas y los soportes se utilizarán perfiles de acero normalizado con acabado galvanizado en caliente para evitar la corrosión.

Se realizarán cimentaciones en hormigón para anclar las estructuras, teniendo presentes los esfuerzos que tendrán que soportar. El hormigón se deposita en una primera etapa para asentar el cimiento, y posteriormente en una segunda etapa para anclar la estructura. Finalmente, para asegurar los elementos de la estructura como cajas o cables, se utilizará tornillería y herrajes auxiliares.

1.3.1.5 Embarrados.

Los embarrados se utilizan para conectar elementos de tensión en la subestación. En este caso, se emplean dos tipos de embarrados, principales, secundarios y de tendido alto, cuyas características se adjuntan a continuación.

- Embarrado Principal, empleado para conectar elementos de alta tensión.

Tabla 12. Características embarrado principal.

Aleación	E-AlMg0,7Si F22	-
Diámetro exterior (D)	120	mm
Diámetro interior (d)	100	mm
Espesor de la pared (e)	10	mm
Peso propio unitario (P_{pt})	9,331	kg/m
Sección(A)	3456	mm ²
Carga de rotura del material (a_r)	240	N/mm ²
Momento de inercia (J)	537	mm ⁴
Momento resistente (z)	89,5	mm ³
Módulo de Young (E)	69000	N/mm ²

Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023	mm/m°C
Máxima intensidad	4058	A
Límite de frecuencia mínimo del material (R_{p02})	200	N/mm ²

- Embarrado Secundario, empleado en la conexión de apartamenta.

Tabla 13. Características embarrado secundario.

Aleación	E-AlMg0,7Si F22	-
Diámetro exterior (D)	80	mm
Diámetro interior (d)	60	mm
Espesor de la pared (e)	10	mm
Peso propio unitario (P_{pt})	5,938	kg/m
Sección(A)	2199	mm ²
Carga de rotura del material (a_r)	240	N/mm ²
Momento de inercia (J)	140	mm ⁴
Momento resistente (z)	35	mm ³
Módulo de Young (E)	69000	N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023	mm/m°C
Máxima intensidad	2802	A
Límite de frecuencia mínimo del material (R_{p02})	200	N/mm ²

- Embarrado de tendido alto, conductores flexibles empleados en la interconexión.

Tabla 14. Características embarrado de tendido alto.

Longitud	38	m
Flecha máxima	1,14	m
Conductor	2	Dúplex RAIL
Diámetro	30	mm
Sección	516	mm ²

Peso propio	1,6	kg/m
Módulo de Young	69000	N/mm ²
Distancia entre fases	4	m
Tensión máxima	6925,86	N
R/X	0,07	-
Tiempo de despeje de falta	0,5	s
Corriente de cortocircuito	31,5	kA
Separación entre conductores de la misma fase	0,4	m

Así mismo, se incluyen los aisladores soporte. Se seleccionan los aisladores C8-650 de la empresa Poinsa.

- Aisladores soporte del vano.

Tabla 15. Características aisladores soporte.

Carga de rotura a flexión	8000	N
Carga de rotura a torsión	4000	N
Altura del aislador	1500	mm
Altura de la pieza de soporte	170	mm
Diámetro medio	350	mm

1.3.1.6 Red de Tierras.

Según lo establecido en la IRC-RAT 13 la subestación contará con una instalación de puesta a tierra que garantice la seguridad de las personas y de la instalación. Dicha puesta a tierra está formada por una red de tierras superiores y una red de tierras inferiores, cuyos cálculos detallados se encuentran en el Capítulo 2.

La red de tierras superiores tiene la función de capturar las descargas atmosféricas y conducir las hasta la red de tierras inferiores, una malla que se encuentra enterrada bajo la subestación. Se captarán las descargas atmosféricas que generen tensiones superiores a las

del nivel de aislamiento, logrando así el apantallamiento total de embarrados y aparamenta. De esta manera se protege la subestación, su personal y equipos. Está constituida por puntas franklin e hilos de guarda que se unen a la malla de la red de tierras inferiores a través de las estructuras metálicas sobre la que se ubican.

El objetivo de la red de tierras inferiores es derivar a tierra las corrientes que reciba. El terreno tiene una resistividad estimada de $280 \Omega\text{m}$, pero la superficie está cubierta por una capa de grava, de 20 cm y resistividad $3000 \Omega\text{m}$. La red de tierras inferiores es una malla enterrada a 1 m de profundidad, formada por retículas cuadradas de 4,5 m de largo de cable de cobre de 120 mm^2 de sección.

1.3.1.7 Acceso de líneas.

El acceso de las líneas será de forma aérea, puesto que no supone un gran impacto en el paisaje y la ubicación en zona rural de la subestación lo permite.

1.3.2 SISTEMAS SECUNDARIOS.

1.3.2.1 Servicios auxiliares.

1.3.2.1.1 Servicios auxiliares de corriente alterna.

El sistema auxiliar de corriente alterna opera a 400 V y frecuencia de 50 Hz. Estará alimentado desde una línea de media tensión. Por tanto, se dispondrá de un transformador prefabricado compacto, cuya tensión nominal puede ser 12/24/36 kV y la potencia será de 250 kVA. Además, se incluye un grupo electrógeno Diesel 50-100kVA, que opere a 400/230 V y 50 Hz. Abastecerá:

- Cuadro principal de corriente alterna, situado en la sala de servicios auxiliares del edificio de control.
- Cuadro principal de corriente alterna, que incluye el cuadro de alumbrado interior y exterior, cuadro de climatización y cuadro de la sala de comunicaciones.
- Cuadros de distribución de las casetas de relés.

- Rectificadores de corriente continua.

1.3.2.1.2 Servicios auxiliares de corriente continua.

Está formado por dos sistemas de corriente continua, uno de 125 V y otro de 48 V.

El sistema de 125 V de continua está formado por dos equipos rectificador-batería con entrada trifásica de 400 V y salida de 125 V de continua. Abastecerá:

- Cuadro principal de corriente continua.
- Relés de protección.
- Sistema de fuerza y alumbrado de emergencia.

El sistema de 48 V de continua está formado por dos equipos rectificador-batería con entrada trifásica de 400 V y salida de 48 V de continua. Abastecerá los circuitos de comunicación y control.

1.3.2.2 Sistemas de protección.

Los sistemas de protección se acogerán a la ITC-RAT 09. Este sistema lo constituyen los relés de protección de la subestación, que se encargan de identificar y localizar anomalías en el sistema y de actuar con el objetivo de proteger la instalación. Deben actuar con la seguridad, obediencia y fiabilidad necesaria de manera rápida y selectiva, para mantener las condiciones normales de funcionamiento. Se distinguen los siguientes sistemas según el elemento a proteger.

1.3.2.2.1 Protección de barras.

- Relé de protección diferencial, 87B.

1.3.2.2.2 Protección de líneas.

- Relé de distancia, 21.
- Relé de tensión máxima, 59.
- Relé de sobreintensidad direccional de neutro, 67N.

- Relé de reenganche, 79.
- Relé de protección diferencial, 87.
- Localizador de falta.
- Oscilografía.

1.3.2.2.3 Protección de transformador.

- Relé de protección diferencial de transformador, 87T.

1.3.2.2.4 Protección de interruptores.

- Relé de tensión mínima, 27.
- Protección de sobreintensidad instantánea y temporizada, 50 y 51.
- Relé fallo de interruptor, 50S-62.

1.3.2.3 Sistemas de telecomunicación y telecontrol.

El sistema de telecomunicación facilitará la coordinación entre los equipos. En las funciones críticas habrá doble sistema de comunicación.

Las comunicaciones de telecontrol se establecerán en tiempo real y estarán integradas en un sistema de monitoreo permanente. Para garantizar comunicaciones rápidas y eficientes se instalará una red fibra óptica. Además, el edificio de control dispondrá de red telefónica mediante conexión IP.

1.3.2.4 Sistemas contra Incendios.

La normativa aplicable es el ITC-RAT 14 para zonas de interior y el ITC-RAT 15 para zonas de exterior. Para las unidades monofásicas del transformador, se instalan muros cortafuegos. Se colocará al menos un extintor de eficacia mínima 89b en cada edificio, así como detectores de incendios automáticos y pulsadores manuales de alarma.

1.3.2.5 Sistemas antintrusismo.

Para evitar el acceso de personal no autorizado a la instalación, además de su vallado, se cuenta con cámaras de videovigilancia, situadas en la valla y en el interior del recinto, y de

un sistema de alarma. Para el acceso al recinto y al edificio de control será necesaria acreditación. El sistema antintrusismo tendrá conexión mediante fibra óptica con el sistema de telecomunicación con la empresa operadora.

1.3.2.6 Sistemas de alumbrado.

Para que la iluminación de la zona exterior garantice la operatividad y seguridad de los trabajos nocturnos se implantarán dos tipos de alumbrado. La iluminación general exterior será de 50 lux, a través de luminaria tipo LED industrial de 150 W y 230 V sobre columna de acero galvanizado de 3 m de altura. El encendido será automático, con posibilidad de encendido manual desde el correspondiente cuadro. En zonas exteriores de mayor operación se utilizará iluminación de operación de 225 lux, a través de luminaria tipo LED de alta potencia de 300 W y 230 V sobre columna de acero galvanizado de 1,5 m de altura. El encendido será manual a través de pulsadores estancos.

La iluminación interior en las salas de control y comunicaciones será de 500 lux mientras que la iluminación interior en las salas restantes y en las casetas de relés será de 300 lux. Ambas se realizarán mediante luminarias LED empotradas de 40 W, con control manual por interruptor.

Para el alumbrado de emergencia se instalarán luminarias autónomas de emergencia LED de 10 lux y autonomía mínima de dos horas. Se alimentarán desde el servicio auxiliar de corriente continua. Se ubicarán en las salidas de evacuación, en las zonas técnicas clave y en los pasillos de las edificaciones.

2. CÁLCULOS

2.1 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Tensión Nominal: $U_N = 132$ kV.

Frecuencia Nominal: $f_N = 50$ Hz.

Potencia nominal de transformación: $S_N = 315$ MVA.

Este valor resulta de la estimación de la potencia total que llegaría de las fotovoltaicas, dejando un margen para la ampliación de las subestaciones con nuevas conexiones. Dicha estimación, aparece a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16. Estimación de la potencia procedente de las fotovoltaicas

Planta FV	Potencia Estimada (MW)
Lucainea	50
CSF Tabernas	55
Terreara Solar	45,5
Ventura Solar	45,5
Hornosol	45,5
Potencia Total	241,5

Intensidad nominal: $I_N = 1377,8$ A.

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N}$$

Tensión más elevada del material: $U_m = 145$ kV.

Tensión máxima de la red: $U_s = 145$ kV.

Tabla 17. Tensiones Nominales Normalizadas, ITC-RAT 04.[4]

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (U_n) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DE LA RED (U_s) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DEL MATERIAL (U_m) kV
3	3,6	3,6
6	7,2	7,2
10	12	12
15	17,5	17,5
20	24	24
25	30	36
30	36	36
45	52	52
66	72,5	72,5
110	123	123
132	145	145
220	245	245
400	420	420

Intensidad de cortocircuito:

- Intensidad de Cortocircuito Monofásico: $I_{cc,1\phi} = 15$ kA.
- Intensidad de Cortocircuito Trifásico: $I_{cc,3\phi} = 18$ kA.

Corriente admisible asignada máxima: $I_k = 31,5$ kA.

Valor del pico de la cresta de la corriente admisible asignada: $I_p = 79$ kA.

$$I_p = 2,5 \cdot I_k$$

Tensión soportada a frecuencia industrial (valor eficaz): $U_f = 275$ kV.

Tensión soportada a impulso de tipo rayo: $U_l = 650$ kV.

Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases: 1300 mm.

Dado que la tensión más elevada del material ($U_m = 145$ kV) pertenece al rango (36; 245) kV, según el ITC-RAT-12 se clasifica en el Grupo B para determinar el nivel de aislamiento nominal.

Tabla 18. Niveles de aislamiento nominales asociados con los valores normalizados de la tensión más elevada para materiales del Grupo B [4].

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (U_m) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
52	95	250	480
72,5	140	325	630
123	185	450	900
	230	550	1100
145	185	450	900
	230	550	1100
	275	650	1300
170	230	550	1100
	275	650	1300
	325	750	1500
245	325	750	1500
	360	850	1700
	395	950	1900
	460	1050	2100

2.2 EMBARRADOS RÍGIDOS.

2.2.1 HIPÓTESIS DE DISEÑO.

Para el cálculo de los embarrados, se parte de los siguientes datos de la subestación: $U_N = 132$ kV, $U_s = 145$ kV, $I_{cc} = 40$ kA, $R/X = 0.07$, duración del cortocircuito 0,5 s.

Se emplean dos tipos de tubo según la función de la barra:

- Embarrado principal: se emplea tubo de aluminio normalizado de diámetros exterior e interior 120/100 mm respectivamente. Las condiciones del vano son:
 - Longitud vano: 14 m.
 - Distancia entre fases: 4 m.
 - Anclaje: fijos y aislados.
- Embarrado secundario: se emplea tubo de aluminio normalizado de diámetros exterior e interior 80/60 mm respectivamente. Las condiciones del vano son:
 - Longitud vano: 10 m.
 - Distancia entre fases: 4 m.
 - Anclaje: aparamenta.

2.2.2 NORMATIVA.

Los cálculos se realizan atendiendo a las siguientes normas y reglamentos técnicos, vigentes en España:

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo: “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23”.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero: “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09”.
- Norma CEI 865 de 1986, “Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito”.
- Norma CEI 909 de 1988, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.
- Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo”.
- Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO n.º 842/02 de 2 AGO en BOE: 18-SEPT-02.

2.2.3 CARACTERÍSTICAS.

- Embarrado Principal.

Aleación	E-AlMg0,7Si F22	-
Diámetro exterior (D)	120	mm
Diámetro interior (d)	100	mm
Espesor de la pared (e)	10	mm
Peso propio unitario (P_{pt})	9,331	kg/m
Sección(A)	3456	mm ²
Carga de rotura del material (a_r)	240	N/mm ²

Aleación	E-AlMg0,7Si F22	-
Momento de inercia (J)	537	mm ⁴
Momento resistente (z)	89,5	mm ³
Módulo de Young (E)	69000	N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023	mm/m°C
Máxima intensidad	4058	A
Límite de frecuencia mínimo del material (R _{p02})	200	N/mm ²

- Embarrado Secundario.

Aleación	E-AlMg0,7Si F22	-
Diámetro exterior (D)	80	mm
Diámetro interior (d)	60	mm
Espesor de la pared (e)	10	mm
Peso propio unitario (P _{pt})	5,938	kg/m
Sección(A)	2199	mm ²
Carga de rotura del material (a _r)	240	N/mm ²
Momento de inercia (J)	140	mm ⁴
Momento resistente (z)	35	mm ³
Módulo de Young (E)	69000	N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023	mm/m°C
Máxima intensidad	2802	A
Límite de frecuencia mínimo del material (R _{p02})	200	N/mm ²

- Aisladores soporte del vano.

Se seleccionan los aisladores C8-650 de la empresa Poinsa.

Carga de rotura a flexión	8000	N
Carga de rotura a torsión	4000	N
Altura del aislador	1500	mm

Altura de la pieza de soporte	170	mm
Diámetro medio	350	mm

2.2.4 CÁLCULO DE EMBARRADO PRINCIPAL.

2.2.4.1 Corriente de cortocircuito.

El cálculo de la corriente de cresta de cortocircuito trifásico se realiza según la Ecuación 1 procedente de la norma CEI 909:

$$I_{p,3\phi} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

Ecuación 1. Corriente de cresta de cortocircuito trifásico.

donde:

- I_{cc} : corriente de cortocircuito (kA). $I_{cc} = 40$ kA.
- $\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}}$

La corriente de cortocircuito es de 40 kA, y el parámetro R/X de relación de impedancias equivalentes del sistema toma un valor de 0,07. Por tanto:

$$\Rightarrow \chi = 1,814$$

$$\Rightarrow I_{p,3\phi} = 102,636 \text{ kA}$$

2.2.4.2 Tensión en el tubo.

La tensión total que ha de soportar el tubo tendrá en cuenta los esfuerzos por viento, peso propio del tubo, hielo y cortocircuito.

- Esfuerzo por viento.

$$F_v = p_v \cdot D$$

Ecuación 2. Esfuerzo por viento.

donde:

- p_v : presión del viento (N/m^2).

El viento en la zona es de 104,13 km/h, por tanto, la presión del viento a esta velocidad resulta: $p_v = 70 \cdot \left(\frac{V_{viento}}{120}\right)^2 = 70 \cdot \left(\frac{104,13}{120}\right)^2 \Rightarrow p_v = 52,713 \frac{N}{m^2}$

- D. diámetro exterior del tubo (m). $D = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_v = 6,326 \text{ N/m}$$

- Esfuerzo por el peso propio del tubo.

$$F_p = F_{pp} + P_{cable}$$

Ecuación 3. Esfuerzo por el peso propio del tubo.

donde:

- F_{pp} : fuerza debido al peso propio del tubo (N/m).

Siendo el peso propio unitario del tubo $P_{pt} = 9,331 \text{ kg/m}$ y con un valor de la gravedad de $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, entonces $F_{pp} = P_{pt} \cdot g = 9,331 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{pp} = 91,537 \text{ N/m}$

- P_{cable} : peso del cable por unidad de longitud (N/m).

Siendo el cable amortiguador del tipo Rail con un peso de 1,598 kg/m en los 4/3 del vano equivalente, entonces $P_{cable} = 1,598 \cdot \frac{4}{3} \cdot g \Rightarrow P_{cable} = 20,90 \text{ N/m}$

Por tanto:

$$\Rightarrow F_p = 112,439 \text{ N/m}$$

- Esfuerzo por el hielo.

Por las características de la zona no aplican los esfuerzos por el hielo.

- Esfuerzo por cortocircuito.

La fuerza estática por unidad de longitud entre conductores paralelos, se calcula mediante la Ecuación 4.

$$F_s = 0,866 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_{p,3\phi}^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Ecuación 4. Esfuerzo por cortocircuito.

donde:

- $I_{p,3\phi}$: intensidad de cresta de cortocircuito trifásico (A). $I_{p,3\phi} = 102636$ A
- a : distancia media entre fases (m). $a = 4$ m.
- μ_0 : permeabilidad magnética en el vacío. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Por tanto:

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

A continuación, se realiza el cálculo de los esfuerzos dinámicos debidos a la frecuencia de vibración del tubo. Para el cálculo de la frecuencia del tubo se aplica la Ecuación 5 de la norma CEI 865.

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

Ecuación 5. Frecuencia del tubo.

donde:

- Y : coeficiente del tubo y los apoyos.
Según la norma CEI 865 el coeficiente vale $Y = 1,57$.
- l : longitud del vano (m). $l = 14$ m.

- E: módulo de Young del material del tubo (N/mm²). E = 69000 N/mm².
- I: inercia de la sección (cm⁴). I = 537 cm⁴.
- m: masa unitaria del tubo más cable amortiguador.

$$m = \frac{F_p}{g} = \frac{112,439}{9,81} \Rightarrow m = 11,462 \text{ kg/m}$$

Por tanto:

$$\Rightarrow f_c = 14,40 \text{ Hz}$$

Dado que la relación $\frac{f_c}{f} = \frac{14,40}{50} = 0,288$ se pueden obtener el factor V_σ que representa el efecto dinámico con la Ecuación 6 y el factor V_r que representa el efecto del reenganche con la Ecuación 7.

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

Ecuación 6. Factor del efecto dinámico.

$$\Rightarrow V_\sigma = 0,770$$

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

Ecuación 7. Factor de reenganche.

$$\Rightarrow V_r = 1,332$$

Donde k=1,6 según la norma CEI 865.

Con ello se calcula la tensión de trabajo del tubo por el esfuerzo dinámico de cortocircuito mediante la Ecuación 8.

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

Ecuación 8. Tensión de trabajo del tubo por el esfuerzo dinámico de cortocircuito.

donde:

- V_σ : factor del efecto dinámico. $V_\sigma = 0,770$.
- V_r : factor de reenganche. $V_r = 1,332$.
- $\beta = 1$ según norma CEI 865.
- F_s : fuerza estática por unidad de longitud (N/m). $F_s = 456,13$ N/m.
- l : longitud del vano (m). $l = 14$ m.
- z : Módulo resistente de la sección del tubo (cm³). $z = 89,5$ cm³.

Por tanto:

$$\Rightarrow \sigma_m = 128,024 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión total que ha de soportar el tubo.

Para calcular la tensión de trabajo según cada esfuerzo se emplea la Ecuación 9.

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

Ecuación 9. Tensión de trabajo según esfuerzo.

donde:

- P : carga repartida que produce el esfuerzo (N/m).
- l : longitud del vano (m). $l = 14$ m.
- z : Módulo resistente de la sección del tubo (cm³). $z = 89,5$ cm³.

Por tanto:

$$\text{Tensión debido al esfuerzo por viento: } \sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot 14^2}{89,5} \Rightarrow \sigma_v = 1,732 \text{ N/mm}^2$$

Tensión debido al esfuerzo por peso propio: $\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot 14^2}{89,5} \Rightarrow \sigma_p = 30,78 \text{ N/mm}^2$

Tensión debido al esfuerzo por hielo: $\sigma_H = 0 \text{ N/mm}^2$

Tensión debido al esfuerzo por cortocircuito: $\sigma_m = 128,024 \text{ N/mm}^2$

De manera que la tensión total que ha de soportar el tubo:

$$\sigma_{TOT} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2}$$

Ecuación 10. Tensión total que ha de soportar el tubo.

$$\Rightarrow \sigma_{TOT} = 133,356 \text{ N/mm}^2$$

Para verificar que se cumple la norma CEI 865, $\sigma_{TOT} < \sigma_{max}$. Para calcular el valor máximo según la norma se aplica la fórmula de la Ilustración 1 para obtener el factor $q = 1,383$.

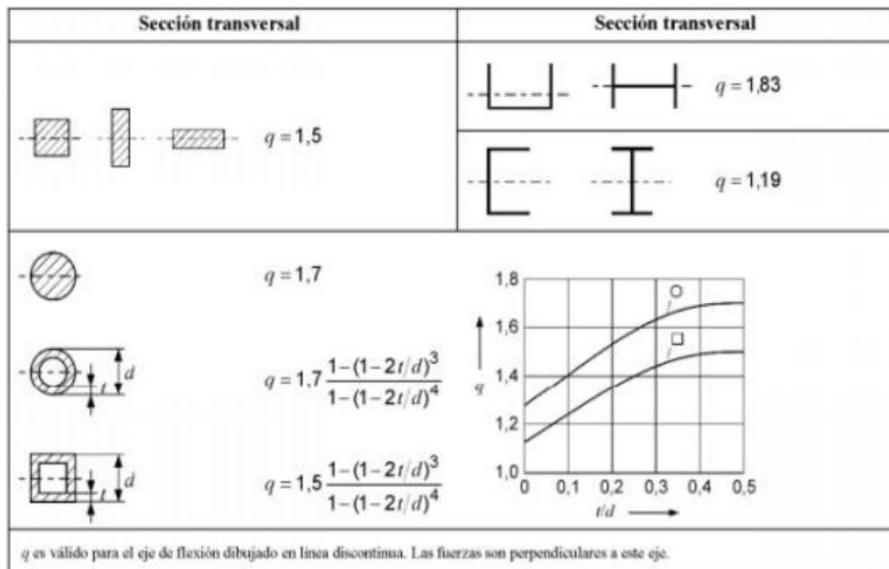


Ilustración 1. Factor q según la norma CEI 865.

Calculando el valor máximo con la Ecuación 11, se verifica que se cumple la norma.

$$\sigma_{max} = q \cdot R_{p0.2}$$

Ecuación 11. Tensión máxima que puede soportar el tubo.

donde:

- $R_{p0.2}$: límite de frecuencia mínimo del material. $R_{p0.2} = 200 \text{ N/mm}^2$.
- $q = 1,383$.

Por tanto:

$$\Rightarrow \sigma_{max} = 276,662 \text{ N/mm}^2$$

Como $133,356 < 276,662 \text{ N/mm}^2$, no se supera la tensión máxima.

2.2.4.3 Reacción sobre los aisladores soporte

El esfuerzo máximo se da en los aisladores intermedios. Según la norma CEI 865 se aplica superposición de esfuerzos y a cada esfuerzo se le aplica un factor 0,5.

- Esfuerzo por viento en el tubo.

En el apartado 2.2.4.2 se ha obtenido $F_v = 6,326 \text{ N/m}$.

- Esfuerzo por cortocircuito sobre el aislador.

$$F_{da} = 0,866 \cdot V_f \cdot V_r \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_{p,3\phi}^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Ecuación 12. Esfuerzo por cortocircuito sobre el aislador.

donde:

- V_r : factor de carga dependiente de f_c/f .

$$V_f = 0,232 + 3,52 \cdot e^{-1,45 \cdot k} + 0,166 \cdot \log\left(\frac{f_c}{f}\right) \Rightarrow V_f = 0,488$$

- V_r : factor de reenganche. $V_r = 1,332$.
- μ_0 : permeabilidad magnética en el vacío. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

- $I_{p,3\phi}$: intensidad de cresta de cortocircuito trifásico (A). $I_{p,3\phi} = 102636$ A
- a : distancia media entre fases (m). $a = 4$ m.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_{da} = 511,937N/m$$

- Fuerza total.

$$F_T = (F_v + F_{da}) \cdot \alpha \cdot l$$

Ecuación 13. Fuerza total.

donde.

- α : coeficiente de reparto para el soporte crítico en ambos vanos. $\alpha = 0,5$.
- l : longitud del vano (m). $l = 14$ m.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_T = 3627,835N$$

F_t se corresponde con el esfuerzo producido por el eje del tubo, de manera que la fuerza total, dado que el aislador tiene una altura de 1500 mm y que el tubo se encuentra a 170 mm sobre la cabeza del aislador, será:

$$F_T' = F_T \cdot \frac{(1500 + 170)}{1500}$$

$$\Rightarrow F_T' = 4038,99N$$

- Esfuerzo por viento sobre el aislador.

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

Ecuación 14. Esfuerzo por viento sobre el aislador.

donde:

- L_a : longitud del aislador (m). $L_a = 1,5$ m.
- D_a : diámetro del aislador (m). $D_a = 0,35$ m.
- P_v : presión del viento (N/m^2). $P_v = 52,713$ N/m^2 .
- α : coeficiente de reparto para el soporte crítico en ambos vanos. $\alpha = 0,5$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_{va} = 13,837N$$

- Fuerza total sobre el aislador.

$$F_{Ta} = F_T' + F_{va}$$

Ecuación 15. Fuerza total sobre el aislador.

$$\Rightarrow F_{Ta} = 4052,827N$$

En las peores condiciones, el aislador tendrá que operar con el siguiente coeficiente de seguridad respecto a la carga inferior de rotura:

$$\text{Coeficiente. Seguridad} = \frac{10000}{F_{Ta}} = 2,467$$

Dado que este coeficiente de seguridad es superior al mínimo requerido de 1,5 se concluye que se cumple la normativa.

2.2.4.4 Flecha en el tubo.

El cálculo de la flecha máxima de un vano se calcula mediante la Ecuación 16.

$$f = \frac{P \cdot l^4}{185 \cdot E \cdot I} \cdot (100cm/m)$$

Ecuación 16. Flecha máxima de un vano.

donde:

- P : carga vertical distribuida (N/m). $P = F_p = 112,439$ N/m .

- l : longitud del vano (m). $l = 14$ m.
- E : módulo de Young del material del tubo (N/m^2). $E = 69000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.
- I : inercia de la sección (m^4). $I = 537 \text{ cm}^4 = 537 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$.

Por tanto:

$$\Rightarrow f = 0,0023 \text{ cm}$$

2.2.4.5 Elongación del embarrado.

Se calcula la posible elongación del tubo por efectos térmicos.

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

Ecuación 17. Elongación del tubo por efectos térmicos.

donde:

- l_o : longitud inicial del tubo. $l_o = 14$ m.
- α : coeficiente de dilatación lineal del tubo. $\alpha = 0,023 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$.
- $\Delta \theta$: incremento de temperatura.

Suponiendo una temperatura de servicio de 80° frente a una temperatura de montaje de 35° , $\Delta \theta = 45^\circ \text{ C}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow \Delta l = 14,49 \text{ mm}$$

2.2.4.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.

Se aplica la Ecuación 18 para calcular la intensidad térmica en cortocircuito según la norma CEI 865.

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

Ecuación 18. Intensidad térmica en cortocircuito.

donde:

- I_p : corriente de cresta de cortocircuito trifásico (kA). $I_p = 102,636$ kA.
- Coeficientes térmicos de disipación $m = 0,097$ y $n = 0,758$.

Por tanto:

$$\Rightarrow I_{\theta} = 94,904 \text{ kA}$$

Para cumplir la normativa, se ha de cumplir:

$$I_{\theta} < A * \rho$$

donde:

- A : sección del tubo (mm^2). $A = 3456$ mm^2 .
- ρ : densidad de corriente (A/mm^2). $\rho = 116$ A/mm^2 .

Por tanto

$$A * \rho = 400,896 \text{ kA}$$

Como $94,904 < 400,896$ kA, se cumple la norma.

2.2.4.7 Intensidad nominal de las barras.

Según el fabricante, la corriente nominal del tubo es de 4058 A a 30° C de temperatura ambiente y 65° C de temperatura de trabajo del tubo. Según la norma DIN 43670 este valor de corriente se ha de corregir según las siguientes características:

- Tipo de aleación: $k_1 = 0,925$.
- Temperatura final de trabajo de 80° C: $k_2 = 1,25$.
- Tipo tubo: $k_3 = 1$.
- Altitud de la subestación a menos de 1000 m sobre el nivel del mar: $k_4 = 0,98$.

De manera que la corriente máxima resulta:

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

$$\Rightarrow I_{max} = 4598,22kA$$

Se verifica que la potencia máxima es mayor a la que accederá a la subestación ($S_N = 315$ MW):

$$S_{max} = \sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot 132kV$$

$$\Rightarrow S_{max} = 1051,29MVA$$

2.2.5 CÁLCULO DE EMBARRADO SECUNDARIO.

2.2.5.1 Corriente de cortocircuito.

El cálculo de la corriente de cresta de cortocircuito trifásico se realiza según la Ecuación 1 procedente de la norma CEI 909.

$$I_{p,3\phi} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

donde:

- I_{cc} : corriente de cortocircuito (kA). $I_{cc} = 40$ kA.
- $\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}}$

La corriente de cortocircuito es de 40 kA, y el parámetro R/X de relación de impedancias equivalentes del sistema toma un valor de 0,07. Por tanto:

$$\Rightarrow \chi = 1,814$$

$$\Rightarrow I_{p,3\phi} = 102,636 kA$$

2.2.5.2 Tensión en el tubo.

La tensión total que ha de soportar el tubo tendrá en cuenta los esfuerzos por viento, peso propio del tubo, hielo y cortocircuito

- Esfuerzo por viento

$$F_v = p_v \cdot D$$

donde:

- p_v : presión del viento (N/m^2).

El viento en la zona es de 104,13 km/h. Por tanto, la presión del viento a esta velocidad resulta: $p_v = 70 \cdot \left(\frac{V_{viento}}{120}\right)^2 = 70 \cdot \left(\frac{104,13}{120}\right)^2 \Rightarrow p_v = 52,713 \frac{N}{m^2}$

- D. diámetro exterior del tubo (m). $D = 80 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_v = 4,217N/m$$

- Esfuerzo por el peso propio del tubo.

$$F_p = F_{pp} + P_{cable}$$

donde:

- F_{pp} : fuerza debido al peso propio del tubo (N/m).

Siendo el peso propio unitario del tubo $P_{pt} = 5,938 \text{ kg/m}$ y con un valor de la gravedad de $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, entonces $F_{pp} = P_{pt} \cdot g = 5,938 \cdot 9,81 \Rightarrow F_{pp} = 58,252N/m$

- P_{cable} : peso del cable por unidad de longitud (N/m).

Siendo el cable amortiguador del tipo Rail con un peso de 1,598 kg/m en los 4/3 del vano equivalente, entonces $P_{cable} = 1,598 \cdot \frac{4}{3} \cdot g \Rightarrow P_{cable} = 20,90N/m$

Por tanto:

$$\Rightarrow F_p = 79,154N/m$$

- Esfuerzo por el hielo.

Por las características de la zona no aplican los esfuerzos por el hielo.

- Esfuerzo por cortocircuito.

La fuerza estática por unidad de longitud entre conductores paralelos se calcula mediante la Ecuación 4.

$$F_s = 0,866 \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_{p,3\phi}^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

donde:

- $I_{p,3\phi}$: intensidad de cresta de cortocircuito trifásico (A). $I_{p,3\phi} = 102636$ A
- a : distancia media entre fases (m). $a = 4$ m.
- μ_0 : permeabilidad magnética en el vacío. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Por tanto:

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

A continuación, se realiza el cálculo de los esfuerzos dinámicos debidos a la frecuencia de vibración del tubo. Para el cálculo de la frecuencia del tubo se aplica la Ecuación 5 de la norma CEI 865.

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

donde:

- Y : coeficiente del tubo y los apoyos.
Según la norma CEI 865 el coeficiente vale $Y = 1,57$.
- l : longitud del vano (m). $l = 10$ m.
- E : módulo de Young del material del tubo (N/mm²). $E = 69000$ N/mm².
- I : inercia de la sección (cm⁴). $I = 140$ cm⁴.
- m : masa unitaria del tubo más cable amortiguador.

$$m = \frac{F_p}{g} = \frac{79,154}{9,81} \Rightarrow m = 8,069 \text{ kg/m}$$

Por tanto:

$$\Rightarrow f_c = 17,18 \text{ Hz}$$

Dado que la relación $\frac{f_c}{f} = \frac{17,18}{50} = 0,344$ se pueden obtener el factor V_σ (que representa el efecto dinámico) con la Ecuación 6 y el factor V_r (que representa el efecto del reenganche) con la Ecuación 7.

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

$$\Rightarrow V_\sigma = 0,811$$

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

$$\Rightarrow V_r = 1,285$$

Donde $k=1,6$ según la norma CEI 865.

Con ello se calcula la tensión de trabajo del tubo por el esfuerzo dinámico de cortocircuito mediante la Ecuación 8.

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

donde:

- V_σ : factor del efecto dinámico. $V_\sigma = 0,811$.
- V_r : factor de reenganche. $V_r = 1,285$.
- $\beta = 1$ según norma CEI 865.
- F_s : fuerza estática por unidad de longitud (N/m). $F_s = 456,13$ N/m.
- l : longitud del vano (m). $l = 10$ m.

- z : Módulo resistente de la sección del tubo (cm^3). $z = 35 \text{ cm}^3$.

Por tanto:

$$\Rightarrow \sigma_m = 169,782 \text{ N/mm}^2$$

- Tensión total que ha de soportar el tubo.

Para calcular la tensión de trabajo según cada esfuerzo se emplea la Ecuación 9.

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

donde:

- P : carga repartida que produce el esfuerzo (N/m).
- l : longitud del vano (m). $l = 10 \text{ m}$.
- z : Módulo resistente de la sección del tubo (cm^3). $z = 35 \text{ cm}^3$.

Por tanto:

$$\text{Tensión debido al esfuerzo por viento: } \sigma_v = \frac{F_v \cdot 10^2}{8 \cdot 35} \Rightarrow \sigma_v = 1,506 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tensión debido al esfuerzo por peso propio: } \sigma_p = \frac{F_p \cdot 10^2}{8 \cdot 35} \Rightarrow \sigma_p = 28,269 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tensión debido al esfuerzo por hielo: } \sigma_H = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tensión debido al esfuerzo por cortocircuito: } \sigma_m = 169,782 \text{ N/mm}^2$$

De manera que la tensión total que ha de soportar el tubo:

$$\sigma_{TOT} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2}$$

$$\Rightarrow \sigma_{TOT} = 173,605 \text{ N/mm}^2$$

Para verificar que se cumple la norma CEI 865, $\sigma_{TOT} < \sigma_{max}$. Para calcular el valor máximo según la norma se aplica la fórmula de la siguiente Ilustración para obtener el factor $q = 1,438$.

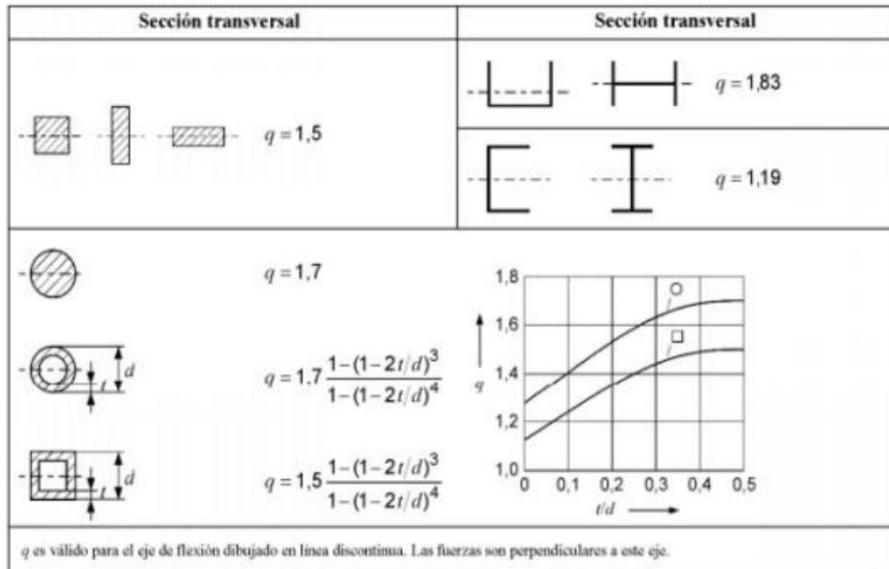


Ilustración 2. Factor q según la norma CEI 865.

Calculando el valor máximo con la Ecuación 11, se verifica que se cumple la norma.

$$\sigma_{max} = q \cdot R_{p0.2}$$

donde:

- $R_{p0.2}$: límite de frecuencia mínimo del material. $R_{p0.2} = 200 \text{ N/mm}^2$.
- $q = 1,438$.

Por tanto:

$$\Rightarrow \sigma_{max} = 287,543 \text{ N/mm}^2$$

Como $172,605 < 287,543 \text{ N/mm}^2$, no se supera la tensión máxima.

2.2.5.3 Reacción sobre los aisladores soporte.

El esfuerzo máximo se da en los aisladores intermedios. Según la norma CEI 865 se aplica superposición de esfuerzos y a cada esfuerzo se le aplica un factor 0,5.

- Esfuerzo por viento en el tubo.

En el apartado 2.2.4.2 se ha obtenido $F_v = 4,217 \text{ N/m}$.

- Esfuerzo por cortocircuito sobre el aislador.

$$F_{da} = 0,866 \cdot V_f \cdot V_r \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_{p,3\phi}^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

donde:

- V_f : factor de carga dependiente de f_c/f .

$$V_f = 0,232 + 3,52 \cdot e^{-1,45 \cdot k} + 0,166 \cdot \log\left(\frac{f_c}{f}\right) \Rightarrow V_f = \mathbf{0,501}$$

- V_r : factor de reenganche. $V_r = 1,285$.
- μ_0 : permeabilidad magnética en el vacío. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.
- $I_{p,3\phi}$: intensidad de cresta de cortocircuito trifásico (A). $I_{p,3\phi} = 102636 \text{ A}$
- a : distancia media entre fases (m). $a = 4 \text{ m}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_{da} = \mathbf{506,703 \text{ N/m}}$$

- Fuerza total.

$$F_T = (F_v + F_{da}) \cdot \alpha \cdot l$$

donde.

- α : coeficiente de reparto para el soporte crítico en ambos vanos. $\alpha = 0,5$.
- l : longitud del vano (m). $l = 10 \text{ m}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_T = 2554,598N$$

F_T se corresponde con el esfuerzo producido por el eje del tubo, de manera que la fuerza total, dado que el aislador tiene una altura de 1500 mm y que el tubo se encuentra a 170 mm sobre la cabeza del aislador, será:

$$F_T' = F_T \cdot \frac{(1500 + 170)}{1500}$$

$$\Rightarrow F_T' = N$$

- Esfuerzo por viento sobre el aislador.

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

donde:

- L_a : longitud del aislador (m). $L_a = 1,5$ m.
- D_a : diámetro del aislador (m). $D_a = 0,35$ m.
- P_v : presión del viento (N/m^2). $P_v = 52,713$ N/m^2 .
- α : coeficiente de reparto para el soporte crítico en ambos vanos. $\alpha = 0,5$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_{va} = 13,837N$$

- Fuerza total sobre el aislador.

$$F_{Ta} = F_T' + F_{va}$$

$$\Rightarrow F_{Ta} = 2857,956N$$

En las peores condiciones, el aislador tendrá que operar con el siguiente coeficiente de seguridad respecto a la carga inferior de rotura:

$$\text{Coeficiente. Seguridad} = \frac{10000}{F_{Ta}} = 3,499$$

Dado que este coeficiente de seguridad es superior al mínimo requerido de 1,5 se concluye que se cumple la normativa.

2.2.5.4 Flecha en el tubo.

El cálculo de la flecha máxima de un vano se calcula mediante la Ecuación 16.

$$f = \frac{P \cdot l^4}{185 \cdot E \cdot I} \cdot (100\text{cm/m})$$

donde:

- P: carga vertical distribuída (N/m). $P = F_p = 79,154 \text{ N/m}$.
- l: longitud del vano (m). $l = 10 \text{ m}$.
- E: módulo de Young del material del tubo (N/m²). $E = 69000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.
- I: inercia de la sección (m⁴). $I = 140 \text{ cm}^4 = 140 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$.

Por tanto:

$$\Rightarrow f = 0,00443\text{cm}$$

2.2.5.5 Elongación del embarrado.

Se calcula la posible elongación del tubo por efectos térmicos.

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

donde:

- l_o : longitud inicial del tubo. $l_o = 10 \text{ m}$.
- α : coeficiente de dilatación lineal del tubo. $\alpha = 0,023 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$.
- $\Delta\theta$: incremento de temperatura.

Suponiendo un temperatura de servicio de 80° frente a una temperatura de montaje de 35°, $\Delta\theta = 45^\circ \text{ C}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow \Delta l = 10,35mm$$

2.2.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.

Se aplica la Ecuación 18 Ecuación 18 para calcular la intensidad térmica en cortocircuito según la norma CEI 865.

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

donde:

- I_p : corriente de cresta de cortocircuito trifásico (kA). $I_p = 102,636$ kA.
- Coeficientes térmicos de disipación $m = 0,097$ y $n = 0,758$.

Por tanto:

$$\Rightarrow I_{\theta} = 94,904kA$$

Para cumplir la normativa, se ha de cumplir:

$$I_{\theta} < A * \rho$$

donde:

- A : sección del tubo (mm^2). $A = 2199$ mm^2 .
- ρ : densidad de corriente (A/mm^2). $\rho = 116$ A/mm^2 .

Por tanto:

$$A * \rho = 255,084kA$$

Como $94,904 < 255,084$ kA, se cumple la norma.

2.2.5.7 Intensidad nominal de las barras.

Según el fabricante la corriente nominal del tubo es de 2077 A a 30° C de temperatura ambiente y 65° C de temperatura de trabajo del tubo. Según la norma DIN 43670 este valor de corriente se ha de corregir según las siguientes características:

- Tipo de aleación: $k_1 = 0,925$.
- Temperatura final de trabajo de 80° C: $k_2 = 1,25$.
- Tipo tubo: $k_3 = 1$.
- Altitud de la subestación a menos de 1000 m sobre el nivel del mar: $k_4 = 0,98$.

De manera que la corriente máxima resulta:

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

$$\Rightarrow I_{max} = 3175,02kA$$

Se verifica que la potencia máxima es mayor a la que accederá a la subestación ($S_N = 315$ MW):

$$S_{max} = \sqrt{3} \cdot I_{max} \cdot 132kV$$

$$\Rightarrow S_{max} = 725,91MVA$$

2.3 DISTANCIAS.

2.3.1 HIPÓTESIS DE DISEÑO.

Longitud	38	m
Flecha máxima	3% (1,14 m)	
Conductor	Dúplex RAIL (n=2)	
Diámetro	30	mm
Sección	516	mm ²

Peso propio	1,6	kg/m
Módulo de Young	69000	N/mm ²
Distancia entre fases	4	m
Tensión máxima	6925,86 N (706 kg, 50°C)	
R/X	0,07	-
Tiempo de despeje de falta	0,5	s
Corriente de cortocircuito	31,5	kA
Separación entre conductores de la misma fase	0,4	m
Longitud cadenas	4,5	m
Rigidez de los soportes	78000	N/m

2.3.2 NORMATIVA.

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo: “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23”.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero: “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09”.
- Norma UNE EN 60865-1: “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte I: Definiciones y métodos de cálculo”.
- Norma CEI 60909: “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma CEI 865: “Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito”.
- Norma CEI 909. “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

2.3.3 DESPLAZAMIENTO DEL VANO CON EL VIENTO.

Según la ITC LAT 07 el esfuerzo que el viento ejerce sobre el conductor se calcula con la Ecuación 19 dada una presión del viento de 52,283 kg/m², es decir una velocidad de 104,133 km/h.

$$F_v = P_v \cdot 0,03816$$

Ecuación 19. Esfuerzo del viento sobre el conductor.

$$\Rightarrow F_v = 1,995 \text{ kg/m}$$

El desplazamiento máximo del conductor se calcula con la Ecuación 20.

$$d_{max} = f_{max} \cdot \sin \theta$$

Ecuación 20. Desplazamiento máximo del conductor,

donde:

- f_{max} : flecha máxima. $f_{max} = 1,14 \text{ m}$
- $\theta = \arctg\left(\frac{F_v}{P}\right) = \arctg\left(\frac{1,995}{1,6}\right) \Rightarrow \theta = 51,272^\circ$

P: peso propio del conductor. $P = 2,6 \text{ kg/m}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow d_{max} = 0,889 \text{ m}$$

La distancia de aislamiento entre fases se puede reducir un 25% pues es muy poco probable la existencia de viento y sobretensión simultáneos. De manera que la distancia mínima entre conductores será la siguiente.

$$D_{min} = (0,75 \cdot d_{ff}) + 2 \cdot d_{max} + 0,4$$

Ecuación 21. Distancia mínima entre conductores.

donde:

- d_{ff} : es la distancia mínima de aislamiento entre fases (m).
Según ITC-RAT 12, $d_{ff} = 1,3$ m.
- d_{max} : desplazamiento máximo del conductor. $d_{max} = 0,889$ m.

Por tanto:

$$\Rightarrow D_{min} = 3,154m$$

La elección de 4 m como distancia entre conductores es correcta, ya que es mayor que la distancia mínima obtenida.

2.3.4 EFECTO EN CONDUCTORES POR CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

2.3.4.1 Parámetros.

Cálculo del esfuerzo debido a un defecto bifásico.

$$F = \frac{\mu_o}{2\pi} \cdot 0,75 \cdot \frac{I''_{k3}{}^2}{a} \cdot \frac{l_c}{l}$$

Ecuación 22. Esfuerzo debido a un defecto bifásico.

donde:

- μ_o : permeabilidad magnética en el vacío. $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$.
- I''_{k3} : corriente simétrica de cortocircuito trifásico (A). $I''_{k3} = 40000$ A
- a : separación entre fases (m). $a = 4$ m.
- l_c : longitud del vano sin cadenas (m). $l_c = 33,5$ m.
- l : longitud total del vano (m). $l = 38$ m.

Por tanto:

$$\Rightarrow F = 52,895N/m$$

Cálculo de la proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito.

$$r = \frac{F}{n \cdot m_s \cdot g}$$

Ecuación 23. Proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito.

donde:

- F: Esfuerzo debido a un defecto bifásico (N/m). $F = 52,895 \text{ N/m}$.
- n: números de conductores por fase. $n = 2$.
- m_s : peso de uno de los conductores (kg). $m_s = 1,6 \text{ kg}$.
- g: aceleración de la gravedad (m/s). $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Por tanto:

$$\Rightarrow r = 1,685$$

Dirección de la fuerza: $\delta_1 = \arctg(r) \Rightarrow \delta_1 = 59,312^\circ$

Cálculo de la flecha estática en el conductor tendido.

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

Ecuación 24. Flecha estática en el conductor tendido.

donde:

- n: números de conductores por fase. $n = 2$.
- m_s : peso de uno de los conductores (kg). $m_s = 1,2 \text{ kg}$.
- g: aceleración de la gravedad (m/s). $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
- l: longitud total del vano (m). $l = 38 \text{ m}$.
- F_{st} : fuerza de tracción estática del conductor para el caso más desfavorable, que será el de flecha máxima para 50° C (N). $F_{st} = 6925,86 \text{ N}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow b_c = 0,818m$$

Mediante la Ecuación 25, se calcula el periodo de oscilación de la flecha estática en el conductor tendido.

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

Ecuación 25. Periodo de oscilación de la flecha estática en el conductor tendido.

$$\Rightarrow T = 1,623s$$

En caso de cortocircuito, la oscilación será la resultante de la Ecuación 26.

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

Ecuación 26. Periodo de oscilación de la flecha estática en el conductor tendido ante cortocircuito.

$$\Rightarrow T_{res} = 1,243s$$

Se realiza la corrección del módulo de Young del conductor, para obtener el módulo real, en función del valor de la carga límite del cable σ_{fin} .

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

Ecuación 27. Módulo de Young real del conductor.

donde:

- E: módulo de Young (N/ mm²). E = 69000 N/ mm²
- F_{st}: fuerza de tracción estática del conductor (N). F_{st} = 6925,86 N.
- n: números de conductores por fase. n = 2.
- A_s: sección de un conductor (mm²). A_s = 516 mm².
- σ_{fin} : carga límite del cable (N/mm²). σ_{fin} = 50 N/mm².

Se obtiene $\frac{F_{st}}{n \cdot A_s} = 6,711 \text{ N/mm}^2$, entonces $E = 60866 \text{ N/mm}^2$.

La Ecuación 28 permite calcular el factor de carga del conductor.

$$\xi = \frac{(n \cdot m_s \cdot g \cdot l)^2}{24 \cdot F_{st}^3 \cdot N}$$

Ecuación 28. Factor de carga del conductor.

donde:

- n: números de conductores por fase. $n = 2$.
- m_s : peso de uno de los conductores (kg). $m_s = 1,6 \text{ kg}$.
- g: aceleración de la gravedad (m/s). $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
- l: longitud total del vano (m). $l = 38 \text{ m}$.
- F_{st} : fuerza de tracción estática del conductor (N). $F_{st} = 6925,86 \text{ N}$.
- N: rigidez del sistema mecánico compuesto.

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

Ecuación 29. Rigidez del sistema mecánico compuesto.

$$\Rightarrow N = 3,514 \cdot 10^{-7} \text{ N}^{-1}$$

Por tanto:

$$\Rightarrow \xi = 0,508$$

Ángulo de oscilación del vano durante el paso de la corriente de cortocircuito.

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

Ecuación 30. Ángulo de oscilación del vano durante el paso de la corriente de cortocircuito.

donde:

- T_{k1} : tiempo de despeje de falta (s). $T_{k1} = 0,5$ s.
- T_{res} : periodo de oscilación de la flecha ante cortocircuito (s). $T_{res} = 1,243$ s

Se obtiene $\frac{T_{k1}}{T_{res}} = 0,4024$, entonces $\delta_k = 107,809^\circ$.

El ángulo máximo de oscilación para que la duración del cortocircuito sea menor o igual al tiempo establecido de 0,5 s, se calcula aplicando la Ecuación 31.

$$\delta_m = \begin{cases} 1,25 \cdot \arccos(\chi) & \text{si } 0,766 \leq \chi \leq 1 \\ 10 + \arccos(\chi) & \text{si } -0,985 \leq \chi \leq 0,766 \\ 180 & \text{si } \chi \leq -0,985 \end{cases}$$

Ecuación 31. Ángulo máximo de oscilación.

donde:

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

Como $\delta_k = 107,809^\circ$, entonces $\chi = -0,685$ y por tanto el ángulo máximo de oscilación resulta $\delta_m = 143,234^\circ$.

2.3.4.2 Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito

$$F_t = 1,1 \cdot F_{st} \cdot (1 + \psi \cdot \phi)$$

Ecuación 32. Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito.

donde:

- F_{st} : fuerza de tracción estática del conductor (N). $F_{st} = 6925,86$ N.
- ϕ : parámetro de carga.

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

Como $T_{k1} = 0,5$ s y $\frac{T_{res}}{4} = 0,311$ s, entonces $\phi = 2,878$.

- ψ : parámetro que combina los factores de carga calculado según la norma CEI 865-1.

$$\phi^2 \cdot \psi^3 + \phi \cdot (2 + \xi) \cdot \psi^2 + (1 + 2 \cdot \xi) \cdot \psi - (2 + \phi) \cdot \xi = 0$$

Ecuación 33. Parámetro combinatorio de los efectos de los factores de carga.

Siendo $\xi = 0,508$, entonces $\psi = 0,516$.

Por tanto:

$$\Rightarrow F_t = 18939,24N$$

2.3.5 APROXIMACIÓN DE CONDUCTORES.

Desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito.

$$b_h = \begin{cases} C_F \cdot C_D \cdot b_C \cdot \sin(\delta_1) & \text{si } \delta_m \geq \delta_1 \\ C_F \cdot C_D \cdot b_C \cdot \sin(\delta_m) & \text{si } \delta_m < \delta_1 \end{cases}$$

Ecuación 34. Desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito.

donde:

- C_F :

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

Dado que $r = 1,685$, entonces $C_F = 1,138$.

- b_C : flecha estática en el conductor tendido (m). $b_C = 0,818$ m.
- C_D :

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

- o l : longitud total del vano (m). $l = 38$ m.
- o ε_{ela} : coeficiente de deformación elástica.

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

Ecuación 35. Coeficiente de deformación elástica.

- F_t : Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito (N). $F_t = 18939,24$ N.
- F_{st} : fuerza de tracción estática del conductor (N). $F_{st} = 6925,86$ N.
- N : rigidez del sistema mecánico compuesto. $N = 3,514 \cdot 10^{-7} \text{ N}^{-1}$.

$$\Rightarrow \varepsilon_{ela} = \mathbf{0,004}$$

- ε_{th} : coeficiente de deformación térmica.

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

Ecuación 36. Coeficiente de deformación térmica.

- c_{th} : factor de dilatación térmica del cable (m^4/A^2). $c_{th} = 0,27 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/\text{A}^2$.
- I''_{k3} : corriente simétrica de cortocircuito trifásico (A). $I''_{k3} = 40000$ A
- n : números de conductores por fase. $n = 2$.
- A_s : sección de un conductor (mm^2). $A_s = 516 \text{ mm}^2$.
- T_{k1} : tiempo de despeje de falta (s). $T_{k1} = 0,5$ s.
- T_{res} : periodo de oscilación de la flecha ante cortocircuito (s). $T_{res} = 1,243$ s

Como $T_{k1} = 0,5$ s y $\frac{T_{res}}{4} = 0,311$ s, entonces $\varepsilon_{th} = 2,01610^{-7}$.

Con estos parámetros, resulta $C_D = 2,1013$.

Por tanto, como $\delta_m = 143,23^\circ$ y $\delta_l = 59,31^\circ$, entonces $b_h = 0,723$ m.

2.3.6 DISTANCIA MÍNIMA.

Distancia mínima entre conductores en cortocircuito.

$$D = a - 2 \cdot b_h - 0,4$$

Ecuación 37. Distancia mínima entre conductores en cortocircuito.

donde:

- a: distancia entre fases (m). $a = 4$ m.
- b_h : desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito. $b_h = 0,723$ m.

Por tanto:

$$\Rightarrow D = 2,153m$$

Por tanto, las distancia escogidas para anchura de calles (6 m) y separación de conductores (4 m) es correcta, al ser superiores a la distancia mínima calculada.

2.3.7 DISTANCIAS MÍNIMAS A ADOPTAR.

A la luz de los resultados obtenidos tras los cálculos y teniendo en cuenta la normativa de la ITC-RAT 12, las distancias mínimas a adoptar son 1,3 m tanto en la distancia fase tierra como en la distancia fase-fase.

2.4 SELECCIÓN DE AUTOVÁLVULAS.

En primer lugar, se calcula el Factor de puesta a tierra k.

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

Ecuación 38. Factor de puesta a tierra.

donde:

- U_{ca} : tensión de funcionamiento continuo (kV). $U_{ca} = 83,716$ Kv.

$$U_{ca} = \frac{U_m}{\sqrt{3}}$$

Ecuación 39. Tensión de funcionamiento continuo.

- U_{TOV} : tensión TOV, *Temporary overvoltage* (kV). $U_{TOV} = 117,202$ Kv.

$$U_{TOV} = 1,4 \cdot U_{ca}$$

Ecuación 40. Tensión TOV.

Por tanto:

$$\Rightarrow k = 1,4$$

Como el valor de k calculado es igual al límite de 1,4 se puede considerar que el sistema está puesto a tierra.

El tiempo de falta de 0,5 s es inferior a 1 s, por tanto, se calcula U_r partiendo de la tensión más elevada del material $U_m = 145$ kV.

$$U_r = 0,72 \cdot U_m \Rightarrow U_r = 104,4 \text{ kV}$$

Por tanto, se elige una tensión de 110 kV.

En cuanto al nivel básico de aislamiento se emplea un factor de seguridad de 1,4 a la tensión soportada a impulso de tipo rayo.

$$U_{BIL} = \frac{U_l}{1,4} = \frac{650}{1,4} \Rightarrow U_{BIL} = 464,286kV$$

Según la clasificación de la norma CEI 99-5 que aparece en la Tabla 19, dado que $U_N = 132$ kV, serán autoválvulas de clase 2 o clase 3.

Tabla 19. Clasificación de la clase de descarga según la norma CEI 99-5.

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

Para el cálculo de la línea de fuga mínima se emplea la Ecuación 41.

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

Ecuación 41. Línea de fuga.

donde:

- $L_{min-esp}$: longitud mínima especificada para zona con contaminación de nivel medio (mm/kV). $L_{min-esp} = 20$ mm/kV.
- U_m : tensión más elevada del material (kV). $U_m = 145$ kV.

Por tanto:

$$\Rightarrow L_{fuga} = 2900mm$$

Finalmente se escoge el modelo EXLIM Q-E EH145 de la marca ABB que cumple con todos los resultados obtenidos en este apartado: clase 3, línea de fuga de 3685 mm superior a la mínima calculada de 2900 mm y tensión residual de 254 kV (8/20 μ s , 10 kA).

2.5 RED DE TIERRAS

2.5.1 NORMATIVA.

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo: “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23”.
- Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13, del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (RAT).
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero: “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09”.
- Norma ANSI/IEEE Standard 80-2000: “Guide for Safety in AC Substation Grounding”.

2.5.2 RED DE TIERRAS SUPERIORES.

La función de la red de tierras superiores es capturar las descargas atmosféricas y conducirlas hasta la red de tierras inferiores, una malla que se encuentra enterrada bajo la subestación. Se captarán las descargas atmosféricas que generen tensiones superiores a las del nivel de aislamiento, logrando así el apantallamiento total de embarrados y aparamenta. De esta manera se protege la subestación, su personal y equipos.

Está constituida por puntas franklin e hilos de guarda que se unen a la malla de la red de tierras inferiores a través de las estructura metálica sobre la que se ubican.

La red de tierras superiores capturarán las descargas que se encuentren dentro del radio crítico de cebado que se calcula a continuación.

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

Ecuación 42. Radio crítico de cebado.

donde:

$$- I = U_l \cdot \frac{N}{Z}$$

donde:

- U_l : tensión soportada a impulso tipo rayo (kV). $U_l = 650$ kV.
- N : número de líneas conectadas a la subestación. $N = 7$.
- Z : impedancia característica de las líneas (Ω). $Z = 400 \Omega$.

Por tanto:

$$\Rightarrow I = 11,375 \text{ kA}$$

Por tanto:

$$\Rightarrow r = 38,856 \text{ m}$$

2.5.3 RED DE TIERRAS INFERIORES.

2.5.3.1 Características del Terreno.

La resistividad terreno se considera de $280 \Omega\text{m}$, estimación obtenida a raíz de la composición del terreno, el cual se compone de margas ($100\text{-}300 \Omega\text{m}$) y areniscas ($150\text{-}500 \Omega\text{m}$). Se toma este valor estimado al no disponer de la medida exacta.

Del ITC-RAT 13 se obtiene la Ecuación 43 para calcular el coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial.

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

Ecuación 43. Coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial.

donde:

- h_s : espesor de la capa superficial, en metros (m). $h_s = 0,2$ m.
- ρ : resistividad del terreno natural (Ωm). $\rho = 280 \Omega\text{m}$.

- ρ^* : resistividad de la capa superficial (Ωm). $\rho^* = 3000 \Omega\text{m}$.

En este caso la capa superficial de grava tiene un espesor de 0,2 m y resistividad 3000 Ωm .

Por tanto:

$$\Rightarrow C_s = 0,8101$$

Mediante coeficiente reductor se calcula la Resistividad Superficial Aparente (ρ_s):

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

Ecuación 44. Resistividad Superficial Aparente.

$$\Rightarrow \rho_s = 2430,20 \Omega\text{m}$$

2.5.3.2 Características del Conductor a Tierra.

Se va a emplear como conductor a tierra un cable de cobre con una sección normalizada de 120 mm^2 , situado a 1 m de profundidad. A continuación, se comprueba su validez según la normativa.

El cálculo de la sección mínima del conductor de tierra según la Norma ITC-RAT-13 aparece en la Ecuación 45.

$$S_c = \frac{I_{cc}}{\delta_{cu} \cdot 1,2}$$

Ecuación 45. Sección mínima del conductor de tierra ITC-RAT 13.

dónde:

- I_{cc} : intensidad de falta máxima (A). $I_{cc} = 40 \text{ kA}$.
- δ_{cu} : densidad máxima del cobre de valor 160 A/mm^2 .

Por tanto:

$$\Rightarrow S_c = 208,33 \text{ mm}^2$$

La sección escogida es superior a la mitad del valor de la sección calculada (104,17 mm²). Se toma la mitad puesto que la corriente se conducirá como mínimo por dos conductores en cada punto de la malla.

La sección mínima del conductor según la norma IEEE 80 se calcula mediante la Ecuación 46.

$$A = \frac{I_{cc}}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot p_r}\right) \cdot \ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

Ecuación 46. Sección mínima del conductor IEEE 80.

donde:

- I_{cc} : mitad del valor eficaz de la corriente de falta a tierra (kA). $I_{cc} = 2,8$ kA.
El valor de esta corriente se realiza en el apartado 2.5.3.5 más adelante.
- TCAP: capacidad térmica del conductor (J/(cm³°C)). TCAP = 3,42 J/(cm³°C).
- t_c : tiempo máximo de falta (s). $t_c = 0,5$ s.
- α_r : coeficiente térmico de resistividad a 20° C (1/°C). $\alpha_r = 0,00381$ 1/°C.
- p_r : inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0° C ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$). $p_r = 1,78$ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$.
- K_o : inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0° C. $K_o = 242$.
- T_m : temperatura máxima que pueden alcanzar conductor y uniones (°C).
 $T_m = 1084$ ° C.
- T_a : temperatura ambiente (°C). $T_a = 40$ ° C.

Por tanto:

$$\Rightarrow A = 7,09 \text{ mm}^2$$

Esta sección es menor que la sección del 120 mm² del conductor de cobre que se ha seleccionado.

La intensidad máxima que puede circular por dos conductores, a partir de la corriente máxima soportada por el cable de cobre con densidad 160 A/mm² es la siguiente:

$$I_{max} = 2 \cdot (160 \text{ A/mm}^2 \cdot 120 \text{ mm}^2) \Rightarrow I_{max} = 38,4 \text{ kA}$$

Por tanto, la corriente máxima es superior a la mitad de la corriente de falta a tierra, de forma que los límites se cumplen. Se emplea la mitad de la corriente de falta, puesto que la malla se diseña de forma que llegan al menos dos conductores a cada uno de los puntos de la malla.

Se concluye que el conductor elegido cumple con las especificaciones.

2.5.3.3 Tensión de Paso y Contacto.

Se definen según lo establecido en el apartado 1 de la ITC-RAT 13. Según esta, los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada son los que se muestran en Tabla 20 y el valor admisible de la tensión de paso aplicada entre los dos pies de una persona es 10 veces la tensión de contacto aplicada ($U_{pa} = 10 U_{ca}$). Para ello se considera únicamente la impedancia del cuerpo humano.

Tabla 20. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada U_{ca} en función de la duración de la corriente de falta t_F ITC-RAT-13 [4].

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

Considerando un tiempo de falta de 0,5 s:

t_s	Duración de la corriente de falta	0,5 s
U_{ca}	Tensión de contacto aplicada Admisible	204 V
U_{pa}	Tensión de paso aplicada Admisible	2040 V

Con estos valores de tensiones admisibles y las expresiones de la ITC-RAT 13, se calcula mediante la Ecuación 47 la tensión de contacto aplicada y con la Ecuación 48 la tensión de paso aplicada:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 \cdot \rho_s}{Z_B} \right)$$

Ecuación 47. Tensión de contacto aplicada ITC-RAT 13.

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{Z_B} \right)$$

Ecuación 48. Tensión de paso aplicada ITC-RAT 13.

donde:

- R_{a1} : resistencia del calzado, la resistencia de superficies de material aislante, etc. Para la resistencia del calzado utiliza $R_{a1} = 2000 \Omega$.
- Z_B : resistencia del cuerpo humano, que toma un valor de 1000Ω .
- ρ_s : resistividad Superficial Aparente (Ωm). $\rho_s = 2430,20 \Omega m$.

Por tanto,

$$\Rightarrow U_c = 1151,640 V$$

$$\Rightarrow U_p = 39945,619 V$$

Además, se calculan las tensiones de contacto y de paso máximas según la norma IEEE 80.

$$E_c = (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{00,157}{\sqrt{t_s}}$$

Ecuación 49. Tensión de contacto máxima IEEE 80.

$$E_p = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{00,157}{\sqrt{t_s}}$$

Ecuación 50. Tensión de paso máxima IEEE 80.

donde:

- C_s : coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial. $C_s = 0,810$.
- ρ_s : resistividad Superficial Aparente (Ωm). $\rho_s = 2430,20 \Omega\text{m}$.
- t_s : duración de la corriente de falta (s). $t_s = 0,5 \text{ s}$.

Por tanto:

$$\Rightarrow E_c = 648,47V$$

$$\Rightarrow E_p = 2101,75V$$

2.5.3.4 Resistencia de Puesta a Tierra.

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra se realiza según la Ecuación 51 procedente de la norma IEEE 80:

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

Ecuación 51. Resistencia de puesta a tierra.

donde:

- ρ : resistividad del terreno natural (Ωm). $\rho = 280 \Omega\text{m}$.
- L : longitud total del conductor enterrado (m). $L = 6075 \text{ m}$.
- A : área que ocupa la malla (m^2). $A = 13122 \text{ m}^2$.

- h: profundidad a la que se encuentra el conductor enterrado (m). $h = 1$ m.

Como se ha comentado previamente, la malla se encontrará a 1 m de profundidad. Se escoge una malla rectangular que cubrirá 81 x 162 m con una área total de 13122 m². Los conductores se espacian 4,5 m unos de otros en forma de rejilla, por tanto, tendrá 19 conductores en sentido x y 37 conductores en sentido y. De manera que la longitud total del conductor enterrado es de 6075 m.

Por tanto:

$$\Rightarrow R_g = 1,119\Omega$$

2.5.3.5 Corriente de Defecto.

El cálculo de la corriente de defecto a tierra según la Norma ITC-RAT-13 aparece en la Ecuación 52.

$$I_F = 0,7 \cdot I_k$$

Ecuación 52. Corriente de defecto a tierra.

donde:

- I_k : Corriente admisible asignada máxima (kA). $I_k = 40$ kA.
- 0,7: pues dado que la tensión supera los 100 kV, a efectos de tensiones aplicadas de paso y contacto se considera el 70% de la corriente de puesta a tierra.

Por tanto:

$$\Rightarrow I_F = 28 \text{ kA}$$

Con la corriente de defecto a tierra se calcula la intensidad total disipada por la malla a tierra según la Ecuación 53.

$$I_G = S_f \cdot I_F$$

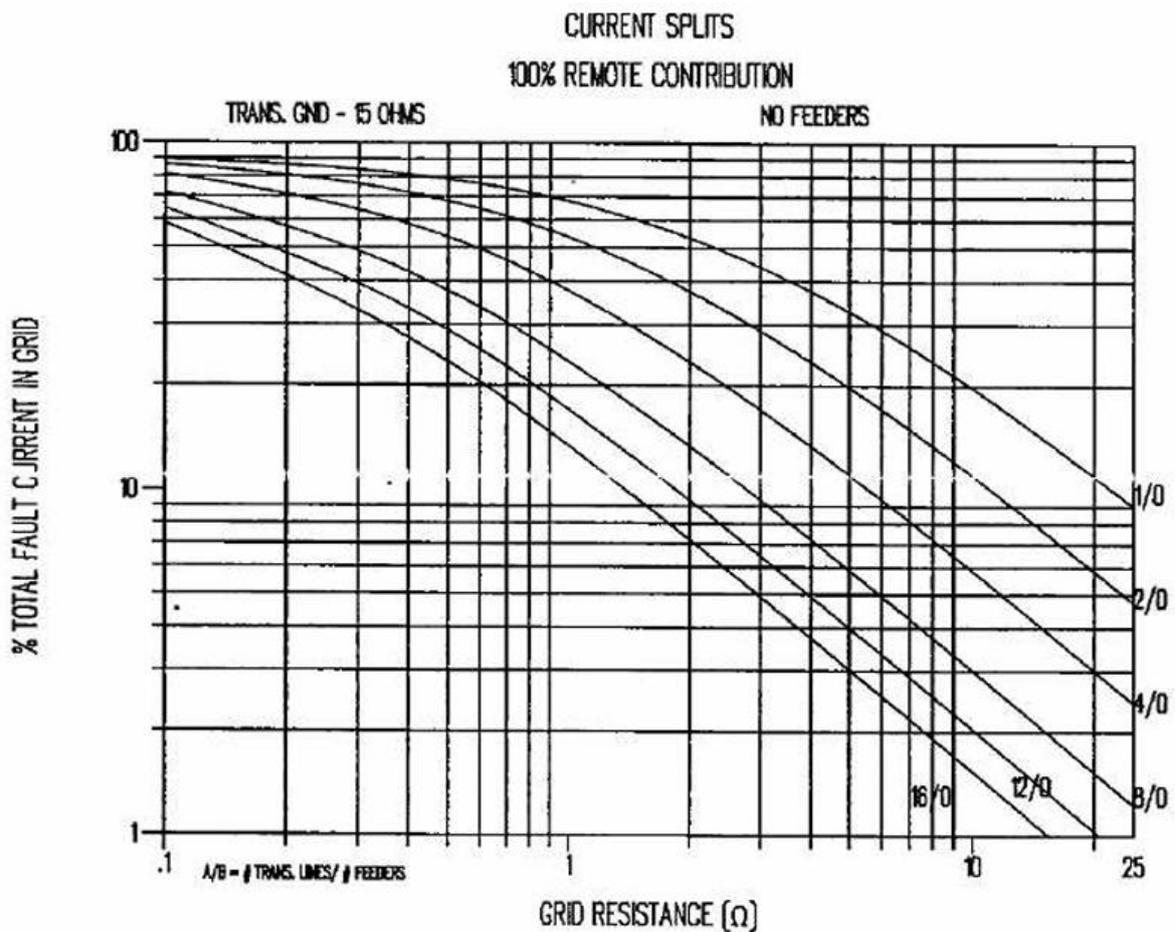
Ecuación 53. Intensidad total disipada por la malla a tierra.

donde:

- I_F : corriente de defecto a tierra (kA). $I_F = 28$ kA.
- S_f : factor de reducción, dependiente de la resistencia de puesta a tierra y del número de líneas de la subestación.

Dado que la subestación cuenta con siete líneas y que $R_g = 1,119 \Omega$, se obtiene el valor del factor $r = 0,2$ a partir de la siguiente Ilustración.

Ilustración 3. Factor de red



ucción S_f .

Por tanto:

$$\Rightarrow I_G = 5,6 \text{ kA}$$

2.5.3.6 Evaluación de la Tensión de paso y contacto.

Para el cálculo de las tensiones teóricas de contacto y de paso se necesita calcular el factor de geometría n .

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

Ecuación 54. Factor de geometría.

donde:

- $n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p}$
- $n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$
- $n_c = \left(\frac{L_x \cdot L_y}{A}\right)^{\frac{0,7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}}$
- $n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$

A su vez:

- L_c : longitud total de los conductores de la malla (m). $L_c = 6075$ m.
- L_p : longitud del perímetro de la malla (m). $L_p = 486$ m.
- L_x : longitud máxima de la malla en dirección x (m). $L_x = 81$ m.
- L_y : longitud máxima de la malla en dirección y (m). $L_y = 162$ m.
- A : área ocupada por la malla de tierra (m²). $A = 13122$ m².
- D_m : máxima distancia entre dos puntos en la malla (m). $D_m = 181,1$ m.

De manera que:

$$n_a = 25; n_b = 1,03; n_c = 1; n_d = 1$$

Por tanto:

$$\Rightarrow n = 25,747$$

El cálculo de la tensión teórica de contacto se realiza según la Ecuación 55 procedente de la norma IEEE 80:

$$E_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_m}$$

Ecuación 55. Tensión teórica de contacto.

donde:

- ρ : resistividad del terreno natural (Ωm). $\rho = 280 \Omega\text{m}$.
- I_G : corriente máxima a disipar por la malla (A). $I_E = 5600 \text{ A}$.
- K_m : factor de espaciado de la malla.

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

Ecuación 56. Factor de espaciado de la malla.

donde:

- D: separación entre conductores (m). $D = 4,5 \text{ m}$.
- d: diámetro del conductor enterrado (m). Dado la sección de 120 mm^2 , el diámetro del conductor resulta de $d = 0,0124 \text{ m}$.
- h: profundidad a la que se encuentra el conductor enterrado (m). $h = 1 \text{ m}$.
- n: factor de geometría (número de conductores en paralelo de una malla rectangular equivalente). $n = 25,747$.
- K_{ii} : factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de la malla.

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

Ecuación 57. Factor de corrección efecto esquina malla.

$$\Rightarrow K_{ii} = 0,867$$

- K_h : factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla.

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

Ecuación 58. Factor de corrección efecto profundidad malla

Siendo $h = 1$ m la profundidad a la que está enterrada la malla y $h_o = 1$ m la profundidad de referencia de la malla:

$$\Rightarrow K_h = 1,414$$

De manera que:

$$\Rightarrow K_m = 0,5325$$

- K_i : factor de corrección de irregularidad.

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

Ecuación 59. factor de corrección de irregularidad.

$$\Rightarrow K_i = 4,455$$

- L_m : longitud total del conductor enterrado. $L_m = 6075$ m.

Por tanto:

$$\Rightarrow E_m = 612,20V$$

El cálculo de la tensión teórica de paso se realiza según la Ecuación 60 procedente de la norma IEEE 80:

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_E \cdot K_s \cdot K_i}{L_s}$$

Ecuación 60. Tensión teórica de paso.

donde:

- ρ : resistividad del terreno natural (Ωm). $\rho = 280 \Omega\text{m}$.
- I_E : corriente máxima a disipar por la malla (A). $I_E = 5600 \text{ A}$.
- K_s : factor de espaciado de la tensión de paso.

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

Ecuación 61. Factor de espaciado de la tensión de paso.

donde:

- o h : profundidad de enterramiento de la red mallada (m). $h = 1 \text{ m}$.
- o D : separación entre conductores paralelos de la red de tierra (m). $D = 4,5 \text{ m}$.
- o n : factor de geometría (número de conductores en paralelo de una malla rectangular equivalente). $n = 25,747$.

De manera que:

$$\Rightarrow K_s = 0,2878$$

- K_i : factor de corrección de irregularidad. $K_i = 4,455$.
- L_s : longitud efectiva de la red de conductores enterrados para la tensión de paso (m).

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

Ecuación 62. Longitud efectiva de la red de conductores enterrados para la tensión de paso.

$$\Rightarrow L_s = 4556,25\text{m}$$

Por tanto:

$$\Rightarrow E_s = 441,146\text{V}$$

Tanto la tensión de contacto como la tensión de paso teóricas son menores a las tensiones máximas según la norma IEEE 80 calculadas en el apartado 2.5.3.3.

2.6 EFECTO CORONA.

Se calcula la tensión disruptiva, tensión a partir de la cual se puede manifestar el efecto corona.

Ecuación 63. Tensión disruptiva.

$$U_c = m_c \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{of} \cdot r_1 \cdot \log\left(\frac{D}{R_1}\right)$$

donde:

- m_c : coeficiente de irregularidad del conductor.
Al ser tubo cilíndrico liso, $m_c = 1$.
- m_t : coeficiente meteorológico que tiene en cuenta la influencia de la humedad.
Para tiempo seco $m_t=1$ y para tiempo húmedo $m_t=0,8$.
- δ : factor de corrección de la densidad del aire.

Ecuación 64. Factor de corrección de la densidad del aire.

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

donde:

- H: presión atmosférica (cmHg).
La subestación se encuentra a una altura inferior de 1000 metros sobre el nivel del mar, luego $H=76$ cmHg.
- Φ : temperatura del aire, en el caso más desfavorable ($^{\circ}$). $\Phi = 40^{\circ}$.
- r_1 : radio exterior del tubo del embarrado (cm).
Emparrado principal: $r_1 = 60$ cm.
Embarrado secundario: $r_1 = 30$ cm.
- E_{of} : valor eficaz del campo eléctrico crítico (kV/cm).

Ecuación 65. Valor eficaz del campo eléctrico crítico.

$$E_{of} = 30 \cdot m_o \cdot \frac{1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta \cdot r_1}}}{\sqrt{2}}$$

Emparrado principal: $E_{of} = 22,058kV/cm$

Emparrado secundario: $E_{of} = 22,408kV/cm$

- D: distancia media geométrica entre conductores (cm).

Ecuación 66. Distancia media geométrica entre conductores.

$$D = a \cdot \sqrt[3]{2}$$

Siendo $a=4$ m la distancia entre fases, entonces $D=503,97$ cm.

Por tanto:

- Para tiempo seco:
 - Embarrado primario: $U_c = 1164,3kV$
 - Embarrado secundario: $U_c = 784kV$
- Para tiempo húmedo:
 - Embarrado primario: $U_c = 931,4kV$
 - Embarrado secundario: $U_c = 627,2kV$

Todos los valores de tensión disruptiva obtenidos (para ambas situaciones y ambos embarrados) se encuentran alejados del valor eficaz de la tensión entre fase y tierra de los conductores de 83,72 kV. Dado que los conductores se encuentran en el mismo plano, la tensión en el conductor central disminuye un 4% y tensión en los conductores laterales aumenta un 6%. Aplicando estas ponderaciones, se sigue estando muy alejado de la tensión de 83,72kV, por lo tanto el efecto corona no llegará a producirse.

3. ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación, se va a realizar el estudio de la viabilidad del proyecto. Los datos necesarios son la inversión inicial de 5.644.624,50 €, cuyo cálculo se detalla en el Documento IV: Presupuesto, y las subvenciones que se recibirán.

Según lo establecido en el BOE sábado 12 de diciembre de 2015, núm. 297 [10], se recibirán:

- 9.796 €/MVA por transformadores trifásicos (400/220/132 kV)[10].
- 401.554 € por cada posición convencional de intemperies con $U > 123$ kV.

En este proyecto se cuenta con 7 posiciones de 132 kV y un transformador trifásico 400/132 kV de 315 MVA, de forma que la subvención será de:

$$\text{subvención} = 7 \cdot 401.554\text{€} + 315\text{MVA} \cdot 9.796\text{€/MVA} = 5.896.618\text{€}$$

Obteniéndose por tanto el siguiente beneficio: $5.896.618 - 5.161.024,50 = 735.593,50\text{€}$ que supone el 14,3% de la inversión.

4. ANEXOS

4.1 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

El presente proyecto está alineado con el objetivo noveno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS son “un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible”[11].

Se contribuye al objetivo número 9 “Industria, innovación e infraestructura”[12], ya que este proyecto mejorará la capacidad tecnológica del sector energético, correspondiéndose en particular con el subobjetivo 9.5, así como con el subobjetivo 9.1 “desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad”[11].

4.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.

4.3 NIVELES DE AISLAMIENTO E INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO.

Los valores normalizados para los niveles de tensión utilizados en EDE son:

Tensión Nominal U_n (kV)	Niveles aislamiento $U_m/U_f/U_i$ (kV)	I_{ter} kA (1 seg) *	Valor cresta I_{cc} (kA)
220	245/460/1050	40/50/63	100/125/158
132	145/275/650	25/31,5/40	63/80/100
110	145/275/650	25/31,5/40	63/80/100
66	72,5/140/325	25/31,5	63/80
50	72,5/140/325	25/31,5	63/80
45	52/95/250	25/31,5	63/80
30	36/70/170	25/31,5	63/80
25	36/70/170	25/31,5	63/80
20	24/50/125	16**/25/31,5	40**/63/80
15	24/50/125	16**/25/31,5	40**/63/80
13,2	24/50/125	16**/25/31,5	40**/63/80
11	24/50/125	16**/25/31,5	40**/63/80
10	24/50/125	16**/25/31,5	40**/63/80

Tabla 3. Niveles aislamiento e intensidades de cortocircuito

(*) La elección de la I_{ter} vendrá determinada por la potencia de cortocircuito en el punto de conexión de la instalación. Este valor será facilitado por EDE.

(**) Se utilizará $I_{ter}=16kA$ en aquellas instalaciones en las que la apartada de media tensión instalada esté limitada a esta intensidad (Apartado 7.3.5. SISTEMAS DE MEDIA TENSIÓN. Container). En este caso se contemplará, además, un tiempo de defecto de 0.5 segundos.

U_n : Tensión nominal

U_m : Tensión más elevada para el material

U_f : Tensión soportada a frecuencia industrial (kV ef)

U_i : Tensión soportada con onda de choque tipo rayo (kV cresta)

I_{ter} : Intensidad térmica de cortocircuito

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito

Tensión Nominal U_n	ANDALUCÍA Y EXTREMADURA	ARAGÓN	BALEARES	CANARIAS	CATALUÑA
220	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁
132	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	-	PAT ₁
110	-	PAT ₁	-	-	NA/PAT ₁
66	PAT ₁ (*)	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁	PAT ₁ / PAT ₂
45	-	PAT ₁	-	-	-
30	-	PAT ₁ (**)	PAT ₁ (**)	PAT ₁ (**)	-
25	PAT ₂	PAT ₃	-	-	PAT ₃
20	PAT ₂	NA	-	PAT ₃	-
15	PAT ₂ / PAT ₃	NA	PAT ₃	-	-
13,2	-	PAT ₃	-	-	-
11	-	PAT ₂	-	-	PAT ₂
10	-	NA	-	-	-

4.3 APARAMENTA.

4.3.1 INTERRUPTORES.

LTB D and LTB E

Technical data according to IEC

(General data, deviations may occur)

		LTB 72.5D1/B	LTB 123D1/B	LTB 145D1/B	LTB 170D1/B	LTB 72.5E1	LTB 170E1	LTB 245E1	LTB 420E2	LTB 550E2	LTB 800E4
Number of breaks per pole		1	1	1	1	1	1	1	2	2	4
Rated voltage	kV	72.5	123	145	170	72.5	170	245	420	550	800
Rated frequency	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50 60	50 60	50 60	50 60	50 60	50
Power frequency withstand voltage ¹⁾											
- To earth and between phases	kV	140	230	275	325	140	325	460	520	620	830
- Across open pole	kV	140	230	275	325	140	325	460	610	800	1150
Lightning Impulse Withstand Level (LIWL)											
- To earth and between phases	kV	325	550	650	750	325	750	1050	1425	1550	2100
- Across open pole	kV	325	550	650	750	325	750	1050	1425 (+240)	1550 (+315)	2100 (+455)
Switching Impulse Withstand Level (SIWL)											
- To earth / Between phases	kV	-	-	-	-	-	-	-	1050/1575	1175/1760	1550/2480
- Across open pole	kV	-	-	-	-	-	-	-	900 (+345)	1300 (+450)	1175 (+650)
Rated normal current	A	3150	3150	3150	3150	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Rated s.c breaking current	kA	40	40	40	40	50 40	50 40	50 40	50 40	50 40	50
First-pole-to-clear factor	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3
Making current peak	kA	100/104	100/104	100/104	100/104	125 104	125 104	125 104	125 104	125 104	125
Duration of short-circuit	s	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Closing time ²⁾	ms	< 40	< 40	< 40	< 40	< 65	< 65	< 65	< 70	< 70	< 65
Opening time ²⁾	ms	22	22	22	22	17	17	17	18	18	20
Break time ²⁾	ms	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Dead time	ms	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Rated operating sequence	-	O-0.3 s-CO-3 min-CO or CO-15 s-CO									

¹⁾ Up to and including 245 kV, power frequency withstand voltage ratings apply for both wet and dry conditions

²⁾ Depending on operating mechanism

LTB D

Dimensions

LTB D1/B, Three-column stand, Three-pole operation, BLK mechanism
Rated voltage: 72.5 - 170 kV

Dimensions (mm)

Rated voltage	A	B	C	D	E	F
72.5 kV	4647	1164	670	3283	1050	3266
145 kV	5197	1164	1220	3833	1750	4666
170 kV	5808	1475	1520	4133	1750	4666

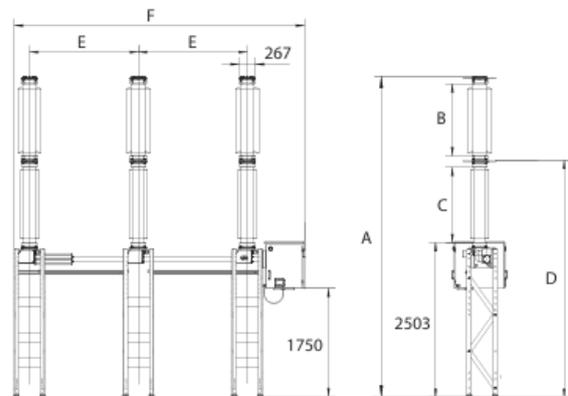
Available dimensions for phase distances and heights to lowest part of insulator (mm)

Rated voltage	Phase distance				
72.5 kV	1050	1500	1750*	2500	3000
145 kV	-	1500**	1750*	2500	3000
170 kV	-	-	1750*	2500	3000

* Standard ** BIL 550 kV

Rated voltage	Height to lowest part of insulator **			
72.5-170 kV	800	2503*	2950	3203

* Standard ** Other dimensions can be provided



4.3.2 SECCIONADORES PANTÓGRAFOS.

High-voltage products | Disconnectors

Pantograph disconnectors up to 550 kV – GW54

Maximum reliability and minimal maintenance

Pantograph disconnector type GW54 is mainly used for outdoor installations. It can ensure isolation and connection directly across the vertical gap of busbars. It is especially suitable for substations with small installation area.

Features

- Designed and tested in accordance with latest IEC specification
- Maintenance - free contact system to provide reliable combining forces
- Simple and reliable interlocking system
- Easy installation and commissioning
- Easy and convenient operation with motor operating device
- Remote operation possible with SCADA and remote monitoring through GPS connectivity

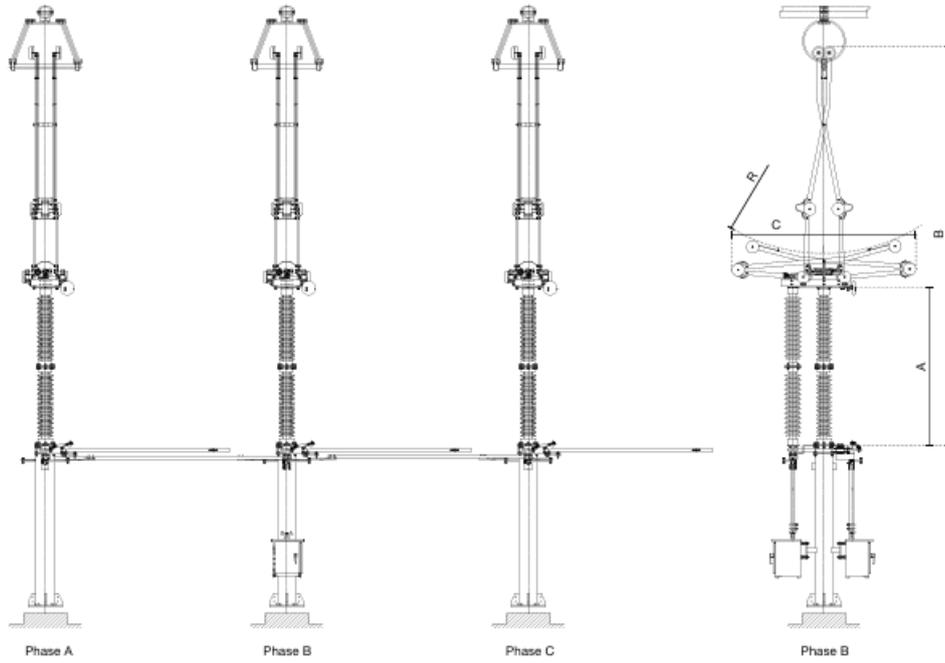


Technical data – GW54

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

Other values on request





Dimensions - GW54

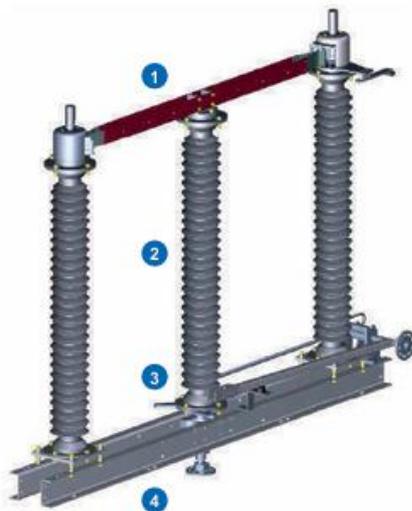
	126 kV	145 kV	252 kV	300 kV	420 kV	550 kV
A	1220	1500	2300	2900	3350	4400
B	3956	4236	5825	6425	8258	10726
C	2235	2235	2668	2668	3940	4965
R	1650	1650	2550	2550	3200	4550

All dimensions are in mm.

[13]

4.3.3 SECCIONADORES ROTATIVOS DE TRES COLUMNAS.

Componentes del seccionador



Construcción

Seccionadores con montaje estándar de los polos en paralelo y apertura de las cuchillas hacia la derecha. Cualquier otra disposición por favor consultar. Las partes férricas son de acero inoxidable o galvanizadas por inmersión en caliente de acuerdo a la norma ISO 1461.

1 Partes conductoras

Son de cobre electrolítico. Los contactos son puntuales con gran presión de conexión y efecto autolimpiante con las maniobras y reciben el tratamiento superficial adecuado para cada intensidad. Las bornas giran de forma que permiten la maniobra de las cuchillas, siendo el par soportado por el conductor de la línea inferior a 1 kg m.

2 Aisladores

De porcelana, esmaltados en marrón, dimensiones según la norma CEI-60273 y para líneas de fuga hasta 25 mm/kV según la norma CEI-60815. Poliméricos según las normas CEI-60273 y CEI-62231, para líneas de fuga superiores.

Los aisladores estándares son de tipo C4. Aisladores de tipo C6-C8 están disponibles bajo demanda.

3 Cuchillas de puesta a tierra

Nuestros seccionadores se suministran con cuchillas de puesta a tierra enclavadas mecánicamente con las principales y cuentan con una capacidad de cortocircuito de 40 kA/3s. Bajo demanda, contamos con la posibilidad de suministrar seccionadores con dos cuchillas de puesta a tierra.

4 Soporte giratorio

Está engrasado de por vida aunque cuenta con la posibilidad de engrase si fuera necesario. Por su robustez y perfecto ajuste, permite montar nuestros seccionadores en cualquier disposición sin que las columnas sufran movimientos axiales o laterales. Los topes limitadores de giro son regulables, y se envían previamente ajustados en fábrica.

5 Mandos

De construcción sencilla y robusta, los mandos cumplen las mayores exigencias mecánicas y eléctricas. La envolvente se construye con chapa pretratada, y se pinta tanto por el interior como exterior de pintura de polvo poliéster en color gris mate RAL-7038. Su grado de protección es IP-54 según CEI-144.



5 Mando AE-85



5 Mando AE-90

Doble apertura lateral SG3C(T)



Referencias

Referencia MESA	Descripción	Tensión nominal kV	Intensidad nominal A	Tensión de ensayo				Intensidad corta carrera (valor eficaz) (kA)	Valor crítico de la energía de la construcción	Tipo de aislador
				A tierra y entre polos		Sobre la distancia de secc.				
				A frecuencia industrial bajo lluvia kV	A impulso kV	A frecuencia industrial bajo lluvia kV	A impulso kV			
WNW03175FD1	SG3C-420/3150 + AE-85									
WNW03174FD1	SG3CT-420/3150 + AE-85 + AGL-14	420	3150	520	1425	1050	1665	50	125	C8-1425
WNW03173FD1	SG3CT-420/3150 + AE-85 + AE-85									
WNW03168FD1	SG3C-245/2000 + AE-90									
WNW03167FD1	SG3CT-245/2000 + AE-90 + AGL-14	245	2000	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
WNW03166FD1	SG3CT-245/2000 + AE-90 + AE-85									
WNW03161FD1	SG3C-145/2000 + AE-90									
WNW03160FD1	SG3CT-145/2000 + AE-90 + AGL-14		2000					40	100	
WNW03159FD1	SG3CT-145/2000 + AE-90 + AE-85									
WNW03158FD1	SG3C-145/1250 + AE-90	145		275	650	315	750			C4-850
WNW03154FD1	SG3CT-145/1250 + AE-90 + AGL-14		1250					31,5	80	
WNW03153FD1	SG3CT-145/1250 + AE-90 + AE-85									
WNW03151FD1	SG3C-72/2000 + AE-85									
WNW03150FD1	SG3CT-72/2000 + AE-85 + AGL-14		2000					40	100	
WNW03149FD1	SG3CT-72/2000 + AE-85 + AE-85									
WNW03148FD1	SG3C-72/1250 + AE-85	72		140	325	160	375			C4-325
WNW03147FD1	SG3CT-72/1250 + AE-85 + AGL-14		1250					31,5	80	
WNW03146FD1	SG3CT-72/1250 + AE-85 + AE-85									
WNW03141FD1	SG3C-36/1250 + AGL-14	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170

[14]

4.3.4 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD.



TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Serie CA

GAMA

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

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

Ratio: Múltiples combinaciones posibles en un solo dispositivo.

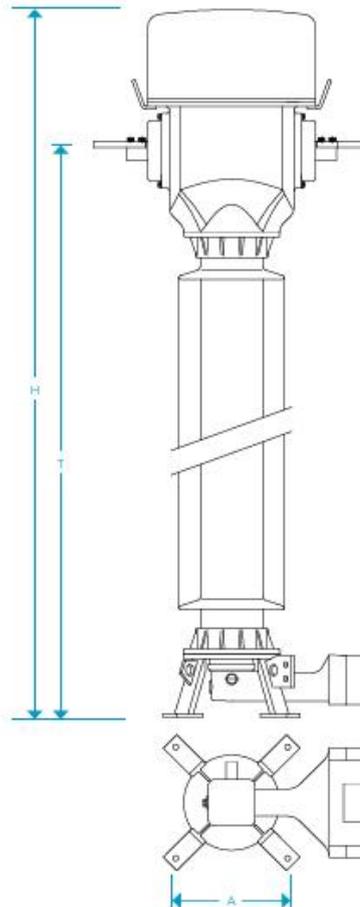
Arrollamientos secundarios para:

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

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

Corrientes primarias: de 1 A a 5.000 A.

Corriente de cortocircuito: hasta 120 kA/1s.



TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Serie CA



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

[15]

4.3.5 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS.



TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS > Serie DDB/DFK

GAMA

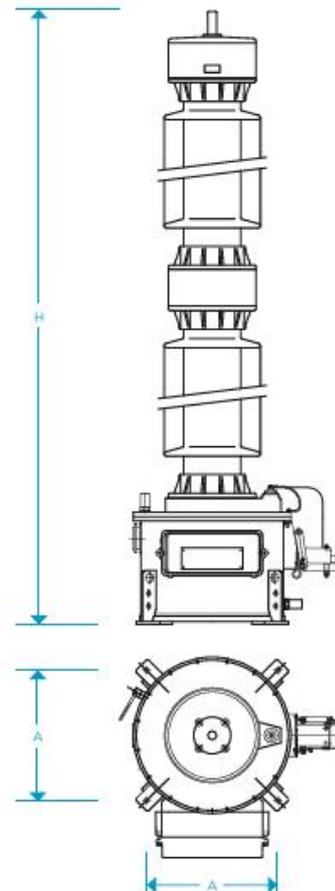
Esta serie se denomina con las letras DDB o DFK seguidas de 2 o 3 números que indican la tensión máxima de servicio para la que han sido diseñados.

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

Arrollamientos secundarios para:

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

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



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

[16]

4.3.6 AUTOVÁLVULAS.

EXLIM Q-E

Descargadores con revestimiento de porcelana

Descargador de óxido de cinc EXLIM Q-E

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

- en zonas con alta intensidad de descargas atmosféricas y requisitos energéticos elevados.
- en lugares donde las condiciones de puesta a tierra o apantallamiento son deficientes o incompletas



Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red (U_m) _m	52 -245 kV
Tensiones nominales (U_n)	42 -228 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	10 kA _{pico}
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10 kA _{pico}
Resistencia de corriente de descarga	
Corriente alta 4/10 μ s	100 kA _{pico}
Corriente baja 2.400 μ s	700 A _{pico}
Corriente baja 2.000 μ s	900 A _{pico}
Capacidad de energía:	
Clase de descarga de línea (IEC)	Clase 3
[2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	7,8 kJ/kV (U_n)
Cumple con/sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 245 kV.	
Capacidad de cortocircuito/alivio de presión	65 kA _{sim}
Aislamiento externo	Cumple con/sobrepasa las normas
Resistencia mecánica:	
Carga de servicio estática admisible (PSSL)	3.000 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	7.500 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

Descargadores con revestimiento de porcelana

EXLIM Q-E

Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 µs			8/20 µs			
						U _C	MCOV	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA
U _m	U _r	U _C	MCOV	1 s	10 s	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}
36³⁾	24	19.2	19.5	27.8	26.4	46.1	47.6	49.5	53.6	56.4	62.1	69.4
	30	24.0	24.4	34.8	33.0	57.6	59.5	61.8	67.0	70.5	77.6	86.8
	33	26.4	26.7	38.2	36.3	63.4	65.4	68.0	73.7	77.6	85.4	95.4
	36	28.8	29.0	41.7	39.6	69.2	71.4	74.2	80.4	84.6	93.1	105
	39	31.2	31.5	45.2	42.9	74.9	77.3	80.3	87.1	91.7	101	113
52	42	34	34.0	48.7	46.2	80.7	83.3	86.5	93.8	98.7	109	122
	48	38	39.0	55.6	52.8	92.2	95.1	98.9	108	113	125	139
	51	41	41.3	59.1	56.1	98.0	102	105	114	120	132	148
	54	43	43.0	62.6	59.4	104	107	112	121	127	140	157
	60	48	48.0	69.6	66.0	116	119	124	134	141	156	174
72	54	43	43.0	62.6	59.4	104	107	112	121	127	140	157
	60	48	48.0	69.6	66.0	116	119	124	134	141	156	174
	66	53	53.4	76.5	72.6	127	131	136	148	156	171	191
	72	58	58.0	83.5	79.2	139	143	149	161	170	187	209
	75	60	60.7	87.0	82.5	144	149	155	168	177	194	217
	78	62	63.1	90.4	85.8	150	155	161	175	184	202	226
	81	65	65.6	93.9	89.1	156	161	167	181	191	210	235
	84	67	68.0	97.4	92.4	162	167	173	188	198	218	243
100	84	67	68.0	97.4	92.4	162	167	173	188	198	218	243
	90	72	72.0	104	99.0	173	179	186	201	212	233	261
	96	77	77.0	111	105	185	191	198	215	226	249	278
123	90	72	72.0	104	99.0	173	179	186	201	212	233	261
	96	77	77.0	111	105	185	191	198	215	226	249	278
	108	78	84.0	125	118	208	214	223	242	254	280	313
	120	78	98.0	139	132	231	238	248	268	282	311	347
	132	78	106	153	145	254	262	272	295	311	342	382
	138	78	111	160	151	265	274	285	309	325	357	399
145	108	86	86.0	125	118	208	214	223	242	254	280	313
	120	92	98.0	139	132	231	238	248	268	282	311	347
	132	92	106	153	145	254	262	272	295	311	342	382
	138	92	111	160	151	265	274	285	309	325	357	399
	144	92	115	167	158	277	286	297	322	339	373	417
170	132	106	106	153	145	254	262	272	295	311	342	382
	144	108	115	167	158	277	286	297	322	339	373	417
	162	108	131	187	178	312	321	334	362	381	419	469
	168	108	131	194	184	323	333	346	376	395	435	486
245	180	144	144	208	198	346	357	371	402	423	466	521
	192	154	154	222	211	369	381	396	429	452	497	555
	198	156	160	229	217	381	393	408	443	466	512	573
	210	156	170	243	231	404	417	433	469	494	543	608
	216	156	175	250	237	415	428	445	483	508	559	625
	219	156	177	254	240	421	434	451	489	515	567	634
	222											
	228	156	180	264	250	438	452	470	510	536	590	660

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 pruebas tipo.

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 √3.

2) Con servicio anterior igual a la carga energética máxima de impulso simple (4,5 kJ/kV (U_p)).

3) A petición del cliente se pueden suministrar descargadores para tensiones de red de 36 kV o inferiores, cuando el pedido también contiene descargadores para sistemas de alta tensión.

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

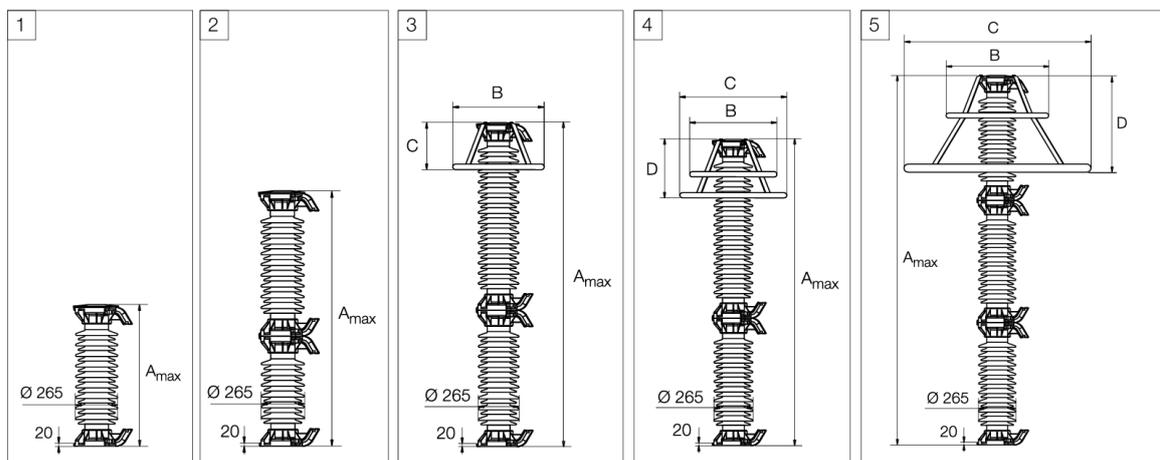
EXLIM Q-E

Descargadores con revestimiento de porcelana

Datos técnicos de los revestimientos

Tensión máxima de red	Tensión nominal	En-vuelta	Dis-tancia de fuga mm	Aislamiento externo ^{*)}				Dimensiones					
				1,2/50 μ s seco kV _{pico}	50 Hz húmedo (60s) kV _{rms}	60 Hz húmedo (10s) kV _{rms}	250/2.500 μ s húmedo kV _{pico}	Masa kg	A _{máx.}	B	C	D	Fig.
36	24-39	EV036	1615	275	129	133	n.a.	45	725	-	-	-	1
52	42-60	EV052	1615	275	129	133	n.a.	48	725	-	-	-	1
72	54-84	EV072	2651	394	221	203	n.a.	66	997	-	-	-	1
100	84-96	EH100	2651	394	221	203	n.a.	67	997	-	-	-	1
	84-96	EV100	3685	568	287	261	n.a.	82	1268	-	-	-	1
123	90-108	EM123	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	90-138	EH123	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
	90-96	EV123	4266	669	350	336	n.a.	106	1697	600	-	300	3
	108-138	EV123	4266	669	350	336	n.a.	110	1697	-	-	-	2
145	108-144	EH145	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
	108-120	EV145	5302	788	442	406	n.a.	124	1969	600	-	300	3
	132-144	EV145	5302	788	442	406	n.a.	125	1969	-	-	-	2
170	132-144	EM170	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
	132	EH170	4266	669	350	336	n.a.	111	1697	600	-	300	3
	144-168	EH170	4266	669	350	336	n.a.	113	1697	-	-	-	2
	132-144	EV170	5302	788	442	406	n.a.	127	1969	600	-	300	3
	162-168	EV170	5302	788	442	406	n.a.	128	1969	-	-	-	2
245	180-198	EH245	6336	962	508	464	753	151	2240	600	800	400	4
	210-228	EH245	6336	962	508	464	753	153	2240	600	-	300	3
	180-228	EV245	7953	1182	663	609	960	201	2941	800	1400	700	5
Descargadores con neutro a tierra													
52	30-36	EN052	1615	275	129	133	n.a.	45	725	-	-	-	1
72	42-54	EN072	1615	275	129	133	n.a.	48	725	-	-	-	1
100	60	EN100	1615	275	129	133	n.a.	48	725	-	-	-	1
123	72-108	EN123	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120	EN123	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
145	84-108	EN145	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120	EN145	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
170	96-108	EN170	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120	EN170	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1
245	108	EN245	2651	394	221	203	n.a.	69	997	-	-	-	1
	120-144	EN245	3685	568	287	261	n.a.	88	1268	-	-	-	1

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



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

Descargadores con revestimiento de porcelana

EXLIM P

Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red U_m kV _{rms}	Tensión nominal U_r kV _{rms}	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	30/60 μs			8/20 μs			
		U_c kV _{rms}	MCOV 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}	40 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
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.

EXLIM P

Descargadores con revestimiento de cerámica

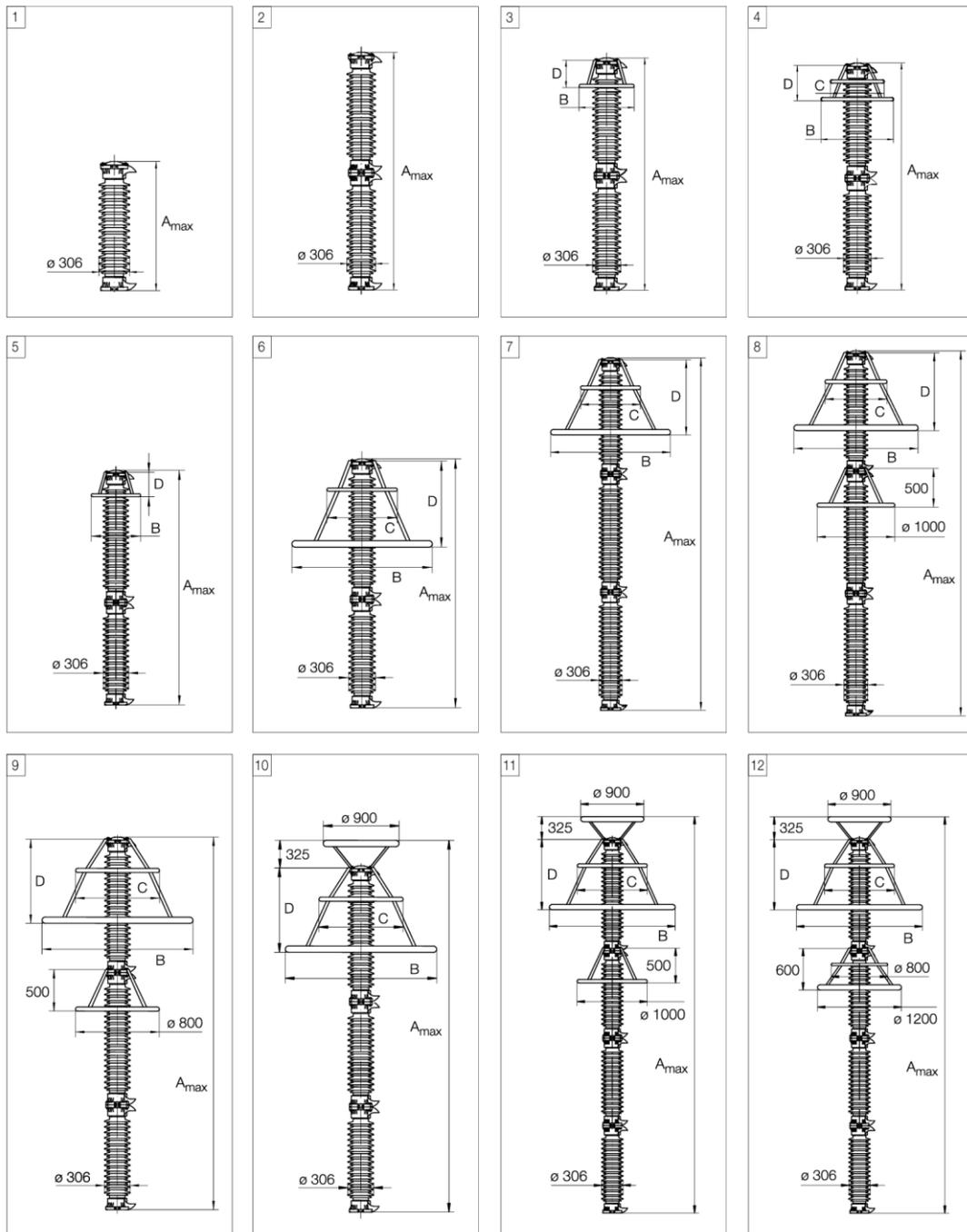
Datos técnicos de los revestimientos

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

Descargadores con revestimiento de porcelana

EXLIM P

Datos técnicos de los revestimientos



4.3.7 AISLADORES SOPORTE.

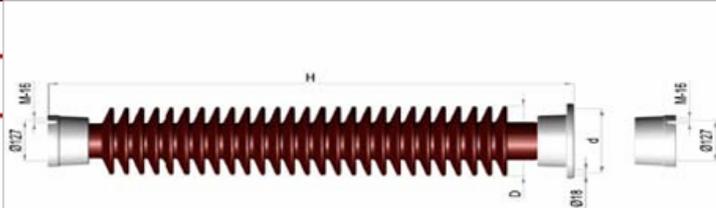
4.1.1 AISLADORES DE SOPORTE EXTERIOR CON HERRAJES EXTERNOS OUTDOOR POST INSULATORS WITH EXTERNAL METAL PARTS

TENSIÓN NOMINAL MÁXIMA DE 110 A 170 kV MAXIMUM NOMINAL VOLTAGE 110 A 170 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

		C4-550	C6-550	C10-550	C4-650	C6-650	C8-650	C10-650	C6-750
Línea de fuga mínima según nivel de polución CEI 60815 (mm.) <i>Minimum creepage distance according to pollution level IEC 60815 (mm.)</i>	I	1968	1968	1968	2320	2320	2320	2320	2720
	II	2460	2460	2460	2900	2900	2900	2900	3400
	III	3075	3075	3075	3625	3625	3625	3625	4250
	IV	3813	3813	3813	4495	4495	4495	4495	5270

DIMENSIONES / DIMENSIONS

			C4-550	C6-550	C10-550	C4-650	C6-650	C8-650	C10-650	C6-750
Altura del aislador montado <i>Height of the post insulator once assembled</i>	H mm		1220	1220	1220	1500	1500	1500	1500	1700
Diámetro máximo parte aislante <i>Maximum diameter of insulating part</i>	D mm		300	300	350	350	350	350	400	350
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d1 mm		127	127	*	127	127	127	*	127
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d mm		*	200	225	200	200	225	254	225

DATOS ELECTRICOS / ELECTRICAL VALUES

			C4-550	C6-550	C10-550	C4-650	C6-650	C8-650	C10-650	C6-750
Tensión nominal / máxima <i>Nominal voltage / maximum voltage</i>	- kV		110-123	110-123	110-123	132-145	132-145	132-145	132-145	170
Tensión soportada al choque <i>Lightning impulse withstand voltage</i>	- kV		550	550	550	650	650	650	650	750
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz <i>Power frequency withstand voltage, wet 50Hz</i>	- kV		230	230	230	275	275	275	275	325

DATOS MECANICOS / MECHANICAL VALUES

			C4-550	C6-550	C10-550	C4-650	C6-650	C8-650	C10-650	C6-750
Mínima carga de rotura a Flexión <i>Minimum bending failing load</i>	- N		4000	6000	10000	4000	6000	8000	10000	6000
Mínima carga de rotura a la Torsión <i>Minimum bending failing load</i>	- N		3000	4000	4000	3000	3000	4000	4000	3000

[18]

4.4 EMBARRADO.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 6063 T6 / CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 6063 T6

Tabla 5 / Quadro 5

Denominación / Denominação	Características físicas / Características físicas				Características eléctricas / Características elétricas		Características estáticas / Características estáticas		
	Ø ext / Ø int / Ø ext. (mm) / Espessura (mm)	Ø ext. (mm) / Espessura (mm)	Sección (mm ²) / Seção (mm ²)	Peso (g/m) / Peso (g/m)	Intensidad adm. desde 65°C (A) / Intensidade adm. desde 65°C (A)	Intensidad adm. desde 85°C (A) / Intensidade adm. desde 85°C (A)	Momento inercia (cm ⁴) / Momento inércia (cm ⁴)	Momento de elasticidad (cm ³) / Momento de elasticidade (cm ³)	
40/36	40	2	239	645	559	742	4,40	2,20	
40/34		3	349	942	675	869	6,10	3,10	
40/32		4	452	1.221	770	1.014	7,60	3,80	
40/30		5	550	1.484	821	1.111	8,80	4,40	
40/28		6	641	1.730	869	1.208	9,70	4,90	
45/40		45	3	334	901	569	752	7,56	3,36
50/44	50	3	443	1.196	773	1.063	12,50	5,00	
50/42		4	578	1.561	918	1.208	15,70	6,30	
50/40		5	707	1.909	1.014	1.353	18,50	7,40	
50/38		6	829	2.239	1.111	1.449	20,80	8,30	
50/34		8	1.056	2.850	1.256	1.642	24,60	9,80	
50/30		10	1.257	3.393	1.353	1.787	27,20	10,90	
60/50	60	5	864	2.333	1.024	1.354	32,93	10,98	
63/57	63	3	565	1.527	966	1.304	26,00	8,20	
63/55		4	741	2.002	1.111	1.497	33,00	10,50	
63/53		5	911	2.460	1.256	1.642	39,30	12,50	
63/51		6	1.074	2.901	1.353	1.787	44,90	14,30	
63/47		8	1.382	3.732	1.546	2.077	54,40	17,30	
68/60		68	4	804	2.171	1.038	1.371	41,34	12,16
70/60	70	5	1.021	2.757	1.182	1.563	54,24	15,50	
80/74	80	3	726	1.959	1.208	1.594	54,90	13,70	
80/72		4	955	2.579	1.353	1.836	70,40	17,60	
80/70		5	1.178	3.181	1.497	2.077	84,80	21,20	
80/68		6	1.395	3.766	1.642	2.222	97,90	24,50	
80/64		8	1.810	4.886	1.884	2.560	121,00	30,20	
80/60		10	2.199	5.938	2.077	2.802	140,00	35,00	
90/80	90	5	1.335	3.605	1.491	1.971	121,00	26,89	
100/94	100	3	914	2.468	1.449	1.932	110,00	21,90	
100/92		4	1.206	3.257	1.642	2.222	142,00	28,40	
100/90		5	1.492	4.029	1.836	2.512	172,00	34,40	
100/88		6	1.772	4.784	1.980	2.705	200,00	40,00	
100/84		8	2.312	6.243	2.270	3.140	251,00	50,20	
110/100		110	5	1.649	4.453	1.792	2.369	227,81	41,42
120/112	120	4	1.458	3.936	1.932	2.608	250,00	41,70	
120/110		5	1.806	4.877	2.125	2.947	305,00	50,80	
120/108		6	2.149	5.802	2.319	3.188	357,00	59,40	
120/104		8	2.815	7.600	2.657	3.671	452,00	75,30	
120/100		10	3.456	9.331	2.995	4.058	537,00	89,50	
150/136		150	7	3.145	8.491	2.793	3.692	805,76	107,43
150/134	8		3.569	9.636	2.976	3.933	902,38	120,32	
150/125	13		5.400	14.579	3.660	4.838	1.286,63	171,55	
160/152	160		4	1.960	5.293	2.464	3.381	608,00	76,00
160/150			5	2.435	6.574	2.705	3.768	746,00	93,20
160/148			6	2.903	7.838	2.995	4.106	878,00	110,00
160/144		8	3.820	10.314	3.430	4.734	1.127,00	141,00	
160/140		10	4.712	12.723	3.816	5.217	1.356,00	170,00	
200/190		200	5	3.063	8.270	3.285	4.589	1.484,00	148,00
200/188	6		3.657	9.873	3.575	4.927	1.754,00	175,00	
200/184	8		4.825	13.029	4.154	5.700	2.269,00	227,00	
200/180	10		5.969	16.116	4.589	6.376	2.751,00	275,00	
200/176	12		7.087	19.136	5.024	6.956	3.202,00	320,00	
250/240	250		5	3.848	10.391	3.961	5.507	2.942,00	235,00
250/238		6	4.599	12.418	4.347	6.086	3.489,00	279,00	
250/234		8	6.082	16.422	4.927	6.956	4.540,00	363,00	
250/230		10	7.540	20.358	5.507	7.729	5.539,00	443,00	
250/226		12	8.972	24.225	5.990	8.502	6.487,00	519,00	

4.5 APORTACIÓN ECONÓMICA.

BOE sábado 12 de diciembre de 2015, núm. 297-13488 [20], Anexo I:



Posiciones convencionales

Código	Tensión	Descripción	Inversión €	Operación y mantenimiento €
TI-91U	U > 123 kV	TI-91 Posición Convencional-Interior-U> 123 kV	401.554	10.798
TI-92U	U > 123 kV	TI-92 Posición Convencional-Interior-U> 123 kV	401.554	10.798
TI-91V	123 kV ≥ U > 72,5 kV	TI-91 Posición Convencional-Interior-123 kV ≥ U > 72,5 kV	378.163	10.169
TI-92V	123 kV ≥ U > 72,5 kV	TI-92 Posición Convencional-Interior-123 kV ≥ U > 72,5 kV	378.163	10.169
TI-98U	72,5 kV ≥ U > 52 kV	TI-98 Posición Convencional-Interior-72,5 kV ≥ U > 52 kV	250.711	6.742
TI-99U	72,5 kV ≥ U > 52 kV	TI-99 Posición Convencional-Interior-72,5 kV ≥ U > 52 kV	250.711	6.742
TI-98V	52 kV ≥ U > 36 kV	TI-98 Posición Convencional-Interior-52 kV ≥ U > 36 kV	226.834	6.099
TI-99V	52 kV ≥ U > 36 kV	TI-99 Posición Convencional-Interior-52 kV ≥ U > 36 kV	226.834	6.099
TI-105U	36 kV ≥ U > 24 kV	TI-105 Posición Convencional-Interior-36 kV ≥ U > 24 kV	86.774	2.333
TI-106U	36 kV ≥ U > 24 kV	TI-106 Posición Convencional-Interior-36 kV ≥ U > 24 kV	86.774	2.333
TI-105V	24 kV ≥ U > 17,5 kV	TI-105 Posición Convencional-Interior-24 kV ≥ U > 17,5 kV	75.456	2.029
TI-106V	24 kV ≥ U > 17,5 kV	TI-106 Posición Convencional-Interior-24 kV ≥ U > 17,5 kV	75.456	2.029
TI-105W	17,5 kV ≥ U > 12 kV	TI-105 Posición Convencional-Interior-17,5 kV ≥ U > 12 kV	67.910	1.826
TI-106W	17,5 kV ≥ U > 12 kV	TI-106 Posición Convencional-Interior-17,5 kV ≥ U > 12 kV	67.910	1.826
TI-105B	12 kV ≥ U ≥ 1 kV	TI-105 Posición Convencional-Interior-10 kV ≥ U ≥ 1 kV	60.365	1.623
TI-106B	12 kV ≥ U ≥ 1 kV	TI-106 Posición Convencional-Interior-10 kV ≥ U ≥ 1 kV	60.365	1.623

BOE sábado 12 de diciembre de 2015, núm. 297-13487 [10], Anexo I:



BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO



Núm. 297

Sábado 12 de diciembre de 2015

Sec. I. Pág. 117255

Posiciones blindadas	Término €/posición
Blindada 220 kV, 50 kA, en intemperie, todas las configuraciones, con fluoductos. . .	1.521.993
Blindada 220 kV, 63 kA, en intemperie, todas las configuraciones	1.400.234
Blindada 220 kV, 63 kA, en intemperie, todas las configuraciones, con fluoductos. . .	1.750.292

Posiciones móviles	Término €/posición
Móvil 400 kV, todas las configuraciones.	2.512.565
Móvil 220 kV, todas las configuraciones.	1.023.124

Posiciones de reserva convencionales	Porcentaje sobre unitario correspondiente
Posición de reserva sin equipar (Convencional) 400 kV	41,40%
Posición de reserva sin equipar (Convencional) 220 kV	33,50%
Equipamiento de posición de reserva (Convencional) 400 kV	58,60%
Equipamiento de posición de reserva (Convencional) 220 kV	66,50%

Posiciones de reserva blindadas	Porcentaje sobre unitario correspondiente
Posición de reserva sin equipar (Blindada) 400 kV	21,60%
Posición de reserva sin equipar (Blindada) 220 kV	48,50%
Equipamiento de posición de reserva (Blindada) 400 kV	78,40%
Equipamiento de posición de reserva (Blindada) 220 kV	51,50%

Valores unitarios de referencia de inversión para máquinas

Máquinas de potencia	Término variable €/MVA
Transformadores monofásicos (400/220 kV)	9.835
Transformadores trifásicos (400/220/132 kV)	9.796

Máquinas de compensación de reactiva	Término variable €/MVAr
Reactancias (400 ó 220 kV)	15.499
Condensadores (400 ó 220 kV)	19.613

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Red Eléctrica pone en servicio el tramo eléctrico Caparacena-Baza, clave para el desarrollo económico de Andalucía Oriental | Red Eléctrica». Accedido: 29 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2022/11/Red-Elctrica-pone-en-servicio-el-tramo-electrico-Caparacena-Baza-clave-para-el-desarrollo-economico-de-Andalucia-Oriental>
- [2] R. Smith, «Regulation (EU) No 492/2011 of the European Parliament and of the Council of 5 April 2011», en *Core EU Legislation*, London: Macmillan Education UK, 2015, pp. 187-194. doi: 10.1007/978-1-137-54482-7_20.
- [3] Aktif, «The Changing Landscape of SF₆ Regulation - A Global Overview», Aktif Elektrotechnik. Accedido: 24 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aktif.net/en/the-changing-landscape-of-sf6-regulation-a-global-overview/>
- [4] «BOE-A-2014-6084 Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.» Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2014-6084>
- [5] «BOE-A-2020-17278 Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.» Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-17278>
- [6] «BOE-A-2008-5269 Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.» Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-5269>
- [7] «BOE-A-2000-24019 Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.» Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2000-24019>
- [8] «Base de datos meteorológica desde 2013. Consulta de Datos de temperatura». Accedido: 20 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://datosclima.es/Aemet2013/Temperatura2013.php>
- [9] «Editado84_Sintesis200.pdf». Accedido: 15 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://info.igme.es/cartografiadigital/datos/sintesis200/pdfs/Editado84_Sintesis200.pdf
- [10] «BOE-A-2015-13487.pdf». Accedido: 13 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/12/12/pdfs/BOE-A-2015-13487.pdf>

- [11] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 30 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [12] M. Moran, «Infraestructura», Desarrollo Sostenible. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- [13] «Seccionador de pantógrafo GW54 | Hitachi Energy». Accedido: 16 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hitachienergy.com/es/es/products-and-solutions/disconnectors/pantograph-up-to-550-kv>
- [14] «Seccionadores y pantógrafos de AT - Mesa». Accedido: 16 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mesa.es/productos/seccionadores-y-pantografos-de-at/>
- [15] «Serie CA - Transformadores de Intensidad AT | Artech». Accedido: 17 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.artech.com/es/serie-ca-transformadores-de-intensidad>
- [16] «Transformadores de Alta Tensión Capacitivos y Condensadores de Acoplamiento | Artech». Accedido: 17 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.artech.com/es/transformadores-de-alta-tension-capacitivos-y-condensadores-de-acoplamiento>
- [17] «ABB_pararrayos_guia_comprador.pdf». Accedido: 14 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.unioviedo.es/pcasielles/uploads/cat%C3%A1logos/Pararrayos/ABB_pararrayos_guia_comprador.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [18] «Aisladores de apoyo de exterior e interior», Poina. Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://poina.com/aisladores-de-apoyo-de-exterior-e-interior/>
- [19] «Tubo de aluminio», Bronmetal. Accedido: 11 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bronmetal.com/aluminio/tubo-de-aluminio/>
- [20] «BOE-A-2015-13488.pdf». Accedido: 13 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/12/12/pdfs/BOE-A-2015-13488.pdf>
- Sánchez Mingarro, M. (s.f). Apuntes de Centrales y Subestaciones (Curso 2024-2025).
 - Barrero Olea, Alberto. Subestación de 132 kV y ampliación del parque de 400 kV adyacente para alimentar a la nueva interconexión península Ceuta. Septiembre 2018.
 - Quintana del Olmo, Andrés. Diseño de una subestación para evacuación de 220 kV para la red de transporte española.
 - Rambla Batalla, Alejandro. Subestación de 66 kV de transporte en la red insular española de transporte ubicada en entorno protegido. Junio 2018.

Documento II

PLANOS

LISTA DE PLANOS

Plano de implantación.

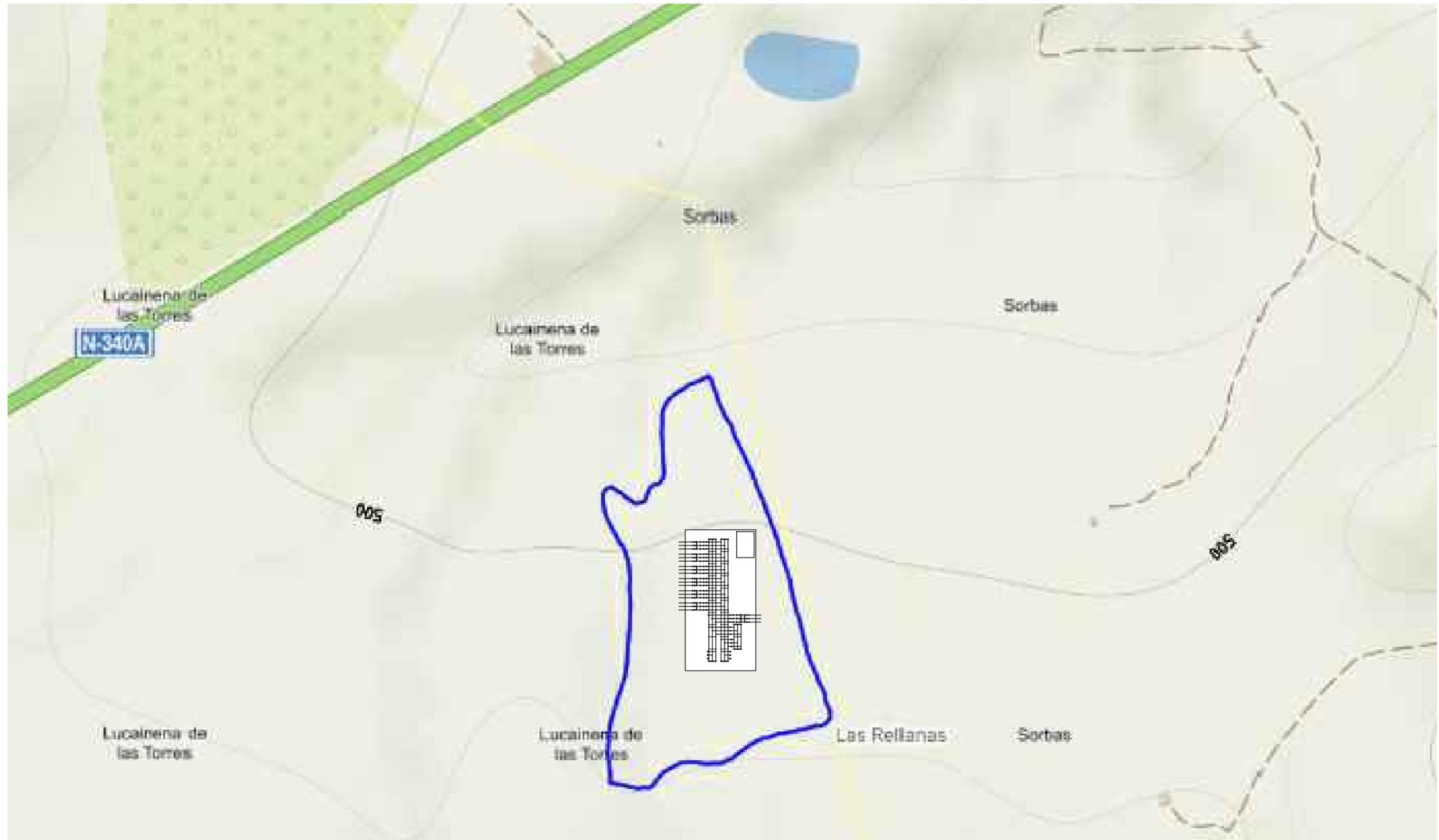
Esquema unifilar.

Plano de Planta.

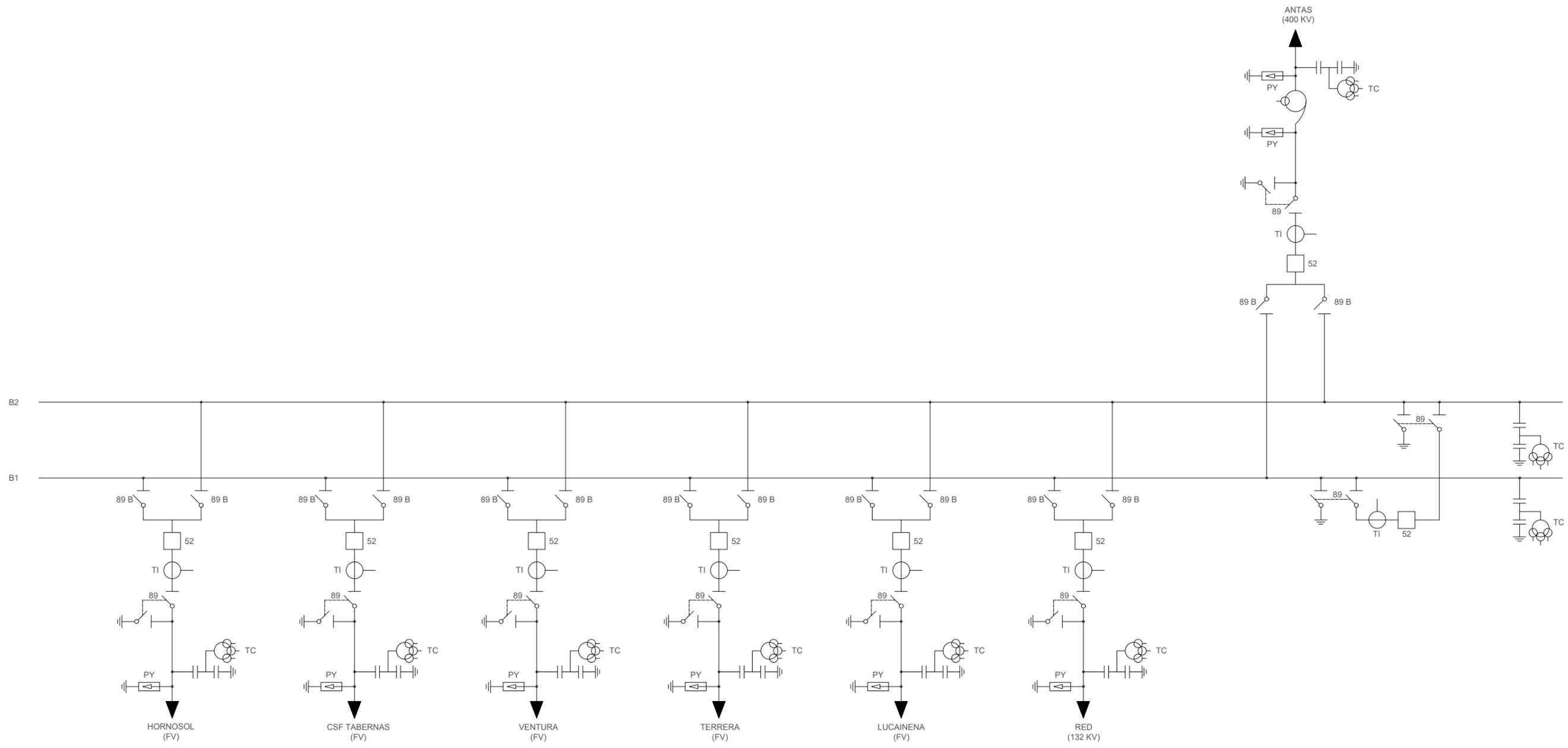
Plano de Alzado.

Plano del Edificio de Control

Plano de caseta de relé.

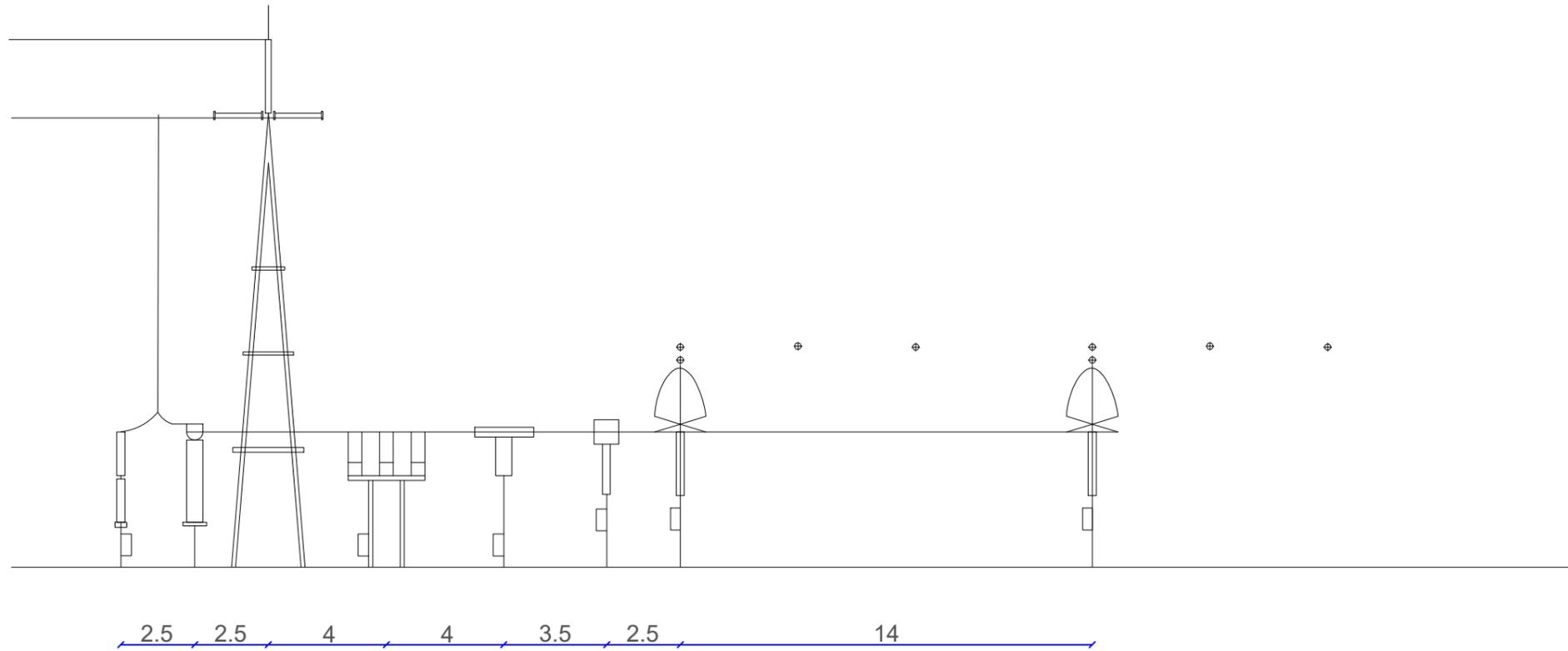


	NOMBRE	FECHA	I.C.A.I	PLANO DE IMPLANTACIÓN
DIBUJADO	INÉS MARTÍNEZ	19/03/2025		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 400 / 132 KV	
ESCALA	TRABAJO DE FIN DE GRADO			

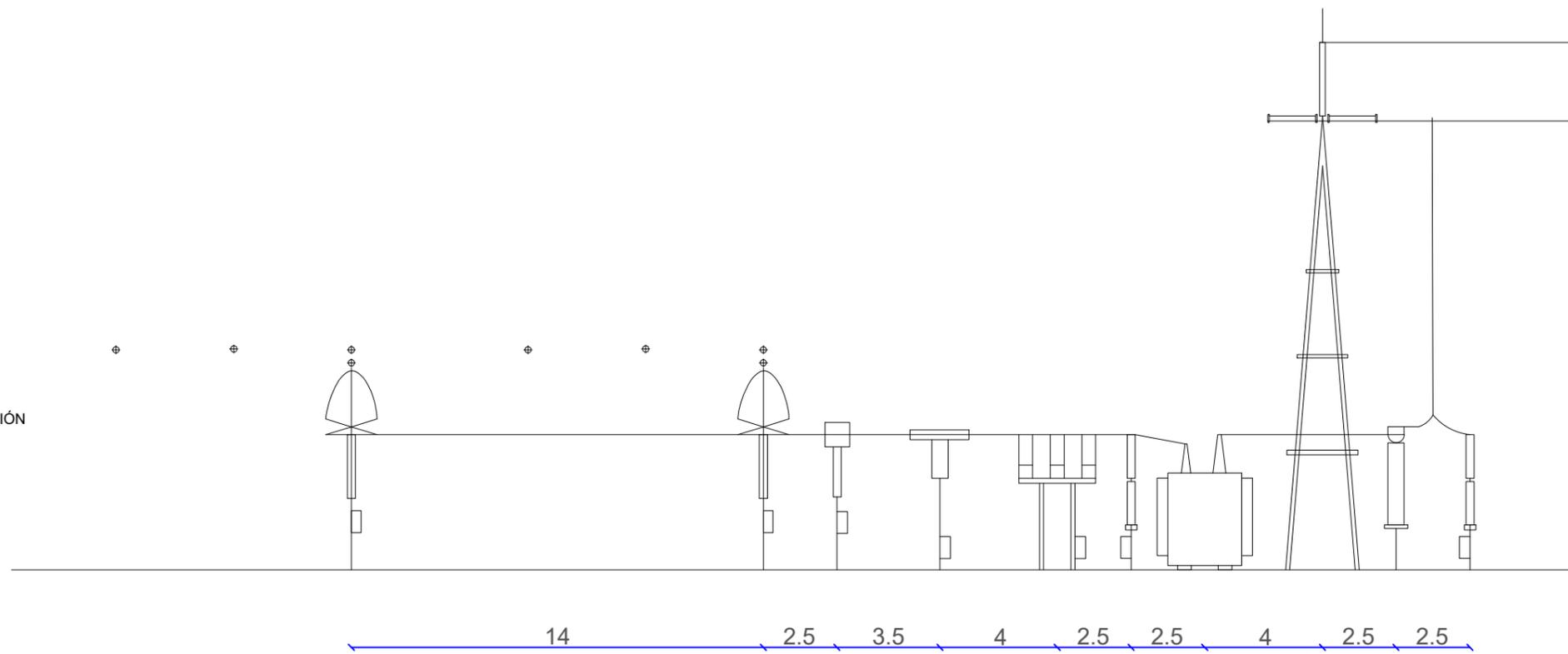


	NOMBRE	FECHA	I.C.A.I	ESQUEMA UNIFILAR
DIBUJADO	INÉS MARTÍNEZ	19/03/2025		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 400 / 132 KV	
ESCALA	TRABAJO DE FIN DE GRADO			

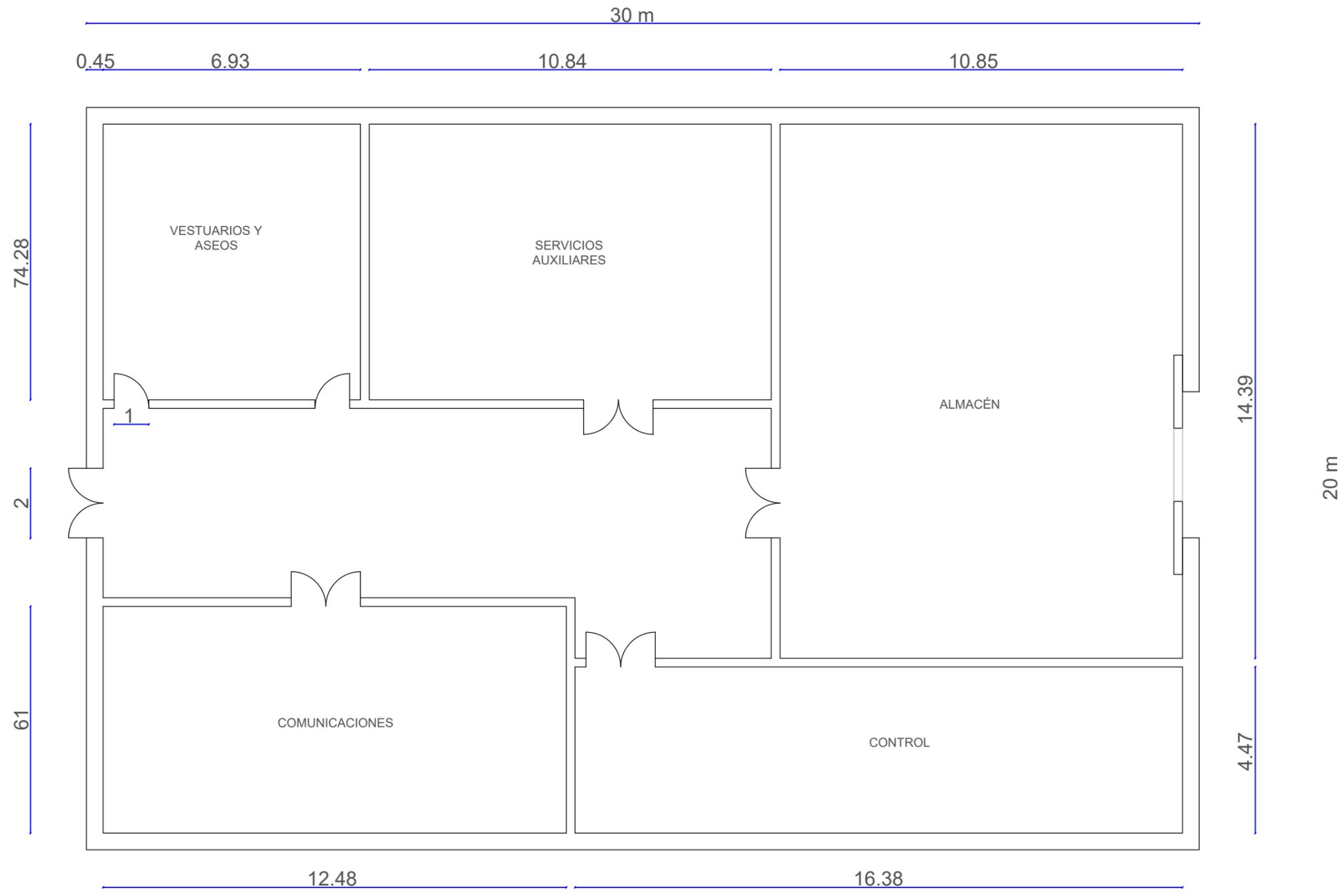
POSICIÓN
132 KV



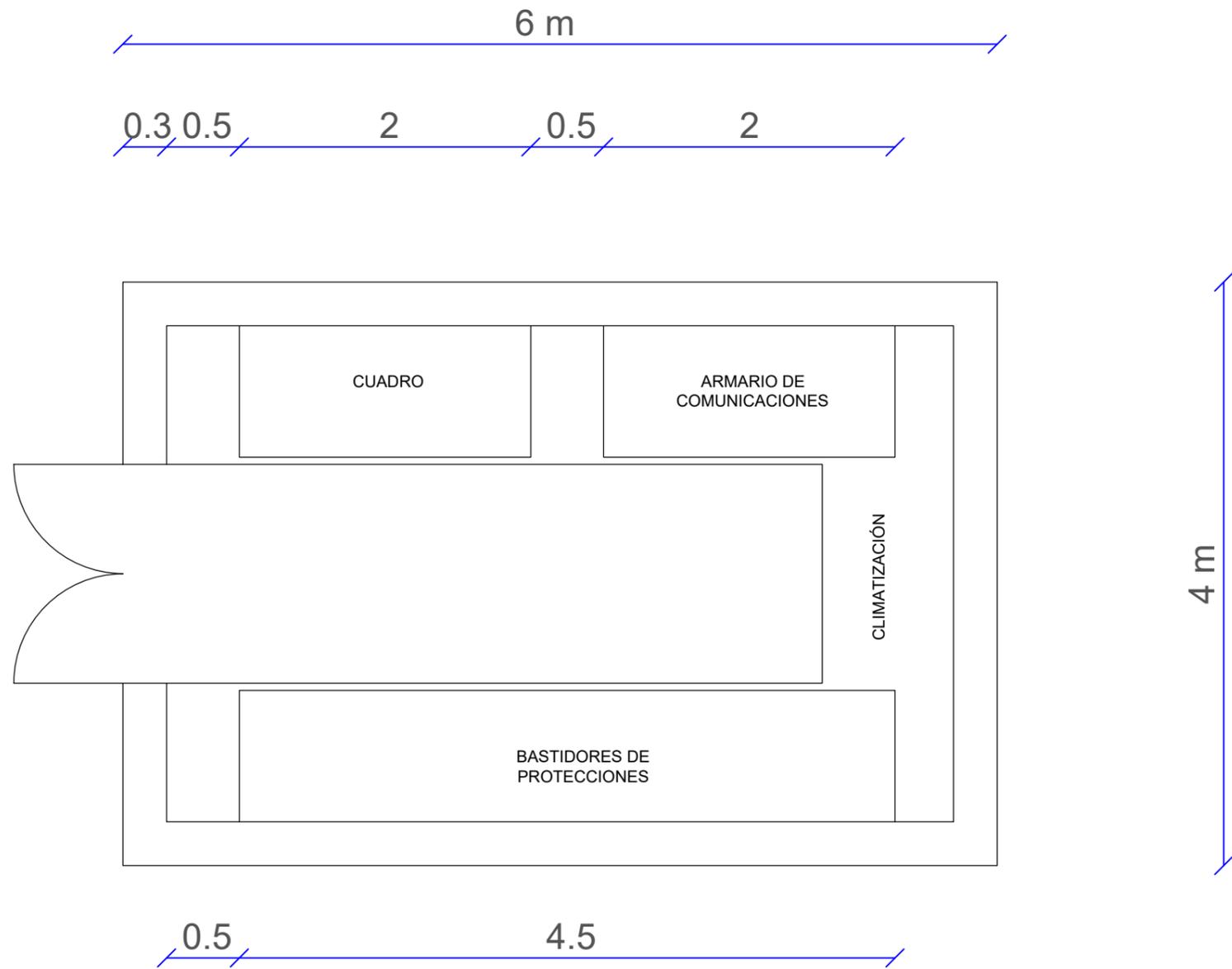
POSICIÓN
TRANSFORMACIÓN



		FECHA	I.C.A.I	ALZADO
DIBUJADO	INÉS MARTÍNEZ	15/06/2025		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 400 / 132 KV	
ESCALA	TRABAJO DE FIN DE GRADO			
1:200				



	NOMBRE	FECHA	I.C.A.I	EDIFICIO DE CONTROL
DIBUJADO	INÉS MARTÍNEZ	27/05/2025		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 400 / 132 KV	
ESCALA 1:125	TRABAJO DE FIN DE GRADO			



		FECHA	I.C.A.I	CASETA DE RELÉ
DIBUJADO	INÉS MARTÍNEZ	23/06/2025		
COMPROBADO	MATÍAS SÁNCHEZ		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 400 / 132 KV	
ESCALA 1:40	TRABAJO DE FIN DE GRADO			

Documento III

PLIEGO DE

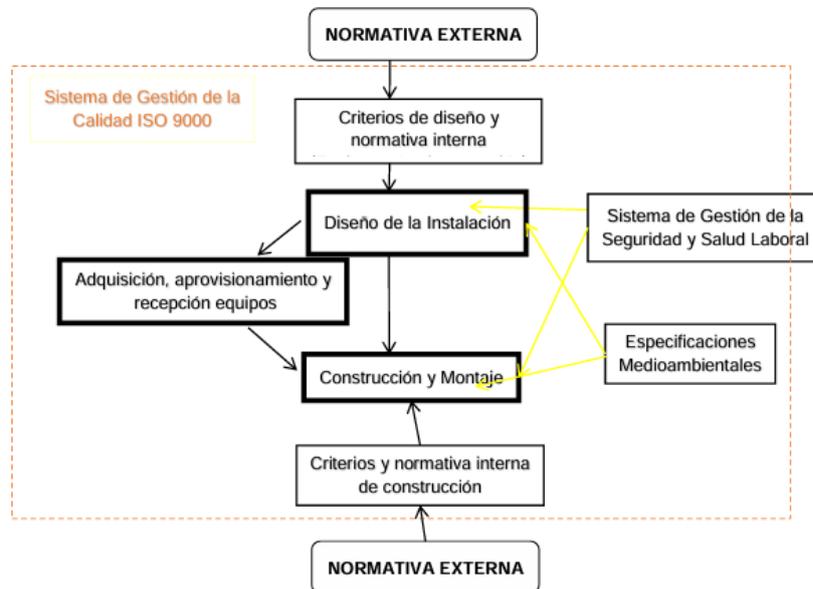
CONDICIONES

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:

- 1.º Normativa: Los equipos y su montaje serán conformes a la normativa legal y de referencia.
- 2.º 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.
- 3.º Gestión medioambiental: Con el objeto de minimizar los impactos que puedan acarrear la construcción y funcionamiento de la instalación.
- 4.º Seguridad Laboral: Para asegurar que tanto el montaje como la explotación de los equipos de la instalación cumplen con las medidas de seguridad requeridas.



1.2 *NORMATIVA APLICABLE.*

Se aplicarn 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 Direcci3n).
- 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 sern de obligado cumplimiento:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. Decreto 337/2014 de 9 de mayo.

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: "INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA".
- ITC-MIE-RAT-15: "INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE EXTERIOR".
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. "REBT". Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología BOE: 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.
- 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 de noviembre, del Ministerio de Industria y Energía BOE: 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 de abril, del Ministerio de Industria y Energía. BOE: 28-ABR-98.
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. Real Decreto 786/2001, de 6 de julio, del Ministerio de Ciencia y Tecnología. BOE: 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. BOE: 28-MAR-06.
- 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 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación (NCSR-02). Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento. BOE: 11-OCT-02.

- Acero.

Documento Básico de Seguridad Estructural SE-A “Acero” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006, de 17 de 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 de 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. BOE: 22-AGO-08.

- Forjados.

Actualización de las fichas de autorización de uso de sistemas de forjados Resolución de 30 de enero de 97, del Ministerio de Fomento. BOE: 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. BOE: 21-FEB-2003.

- Electricidad.

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

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Industria y Energía. BOE: 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 de enero de 1988, de la Dirección General de Innovación Industrial. BOE: 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. BOE: 14-DIC-1993. Corrección de errores: 7-MAY-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. BOE: 28-AB-1998.

Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. Real Decreto 786/2001, de 6 de julio, del Ministerio de Ciencia y Tecnología. BOE: 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 de 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 de 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 de marzo, del Ministerio de la Vivienda

1.2.2.4 Varios.

Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Normas tecnológicas de la edificación. Decreto n.º 3655/72, de 23 de diciembre, del Ministerio de la Vivienda. BOE 15-ENE-73.

Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. Real Decreto 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 n.º 842/02, de 2 de agosto, en BOE: 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.

Real Decreto 614/01, de 8 de junio, sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

Real Decreto 1215/97, de 18 de julio, sobre equipos de trabajo.

Real Decreto 486/97, de 14 de abril, sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.

Real Decreto 487/97, de 14 de abril, sobre Manipulación manual de cargas.

Real Decreto 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 verificando y validando la instalación y equipos mediante:

- Pruebas en Vacío.

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

- Pruebas en Tensión.

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

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

1.7 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

1.7.1 MEMORIA.

1.7.1.1 Objeto de este estudio.

Este Estudio de Seguridad y Salud establece las medidas de Seguridad que deben adoptarse en los trabajos de explanación, obra civil y montaje electromecánico a realizar en la construcción de la nueva subestación de Lucainena. Facilitando la aplicación que la Dirección Facultativa debe realizar de tales medidas, conforme establece el Real Decreto 1627/97 por el que se establecen disposiciones mínimas de Seguridad en las Obras de Construcción.

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

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

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

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

1.7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA.

1.7.2.1 Situación y descripción de la obra.

La subestación de Lucainena está situada en el municipio de Lucainena de las Torres, Almería.

Las condiciones climáticas y geotécnicas en el punto de la instalación son las siguientes:

- Altura del terreno: 549 m.
- Tipo de Zona: A.
- Temperaturas extremas: +5/+40°.
- Velocidad máxima del viento: .
- Contaminación ambiental: baja.
- Nivel de niebla: bajo.
- Pluviometría: baja.

La obra consiste en:

La construcción de una subestación de 132 kV a la intemperie, con configuración de doble barra.

La subestación contará con seis posiciones de línea y una posición de transformador de alta tensión 132/400 kV.

La aparamenta que se instalará será:

- 8 interruptores.
- 14 Seccionadores de barras pantógrafos.
- 9 Seccionadores de 3 columnas giratorias.
- 24 Transformadores de Intensidad (medida).
- 27 Transformadores de Tensión capacitivos.
- 24 Autoválvulas.

Para ello se procederá a realizar las siguientes actividades:

- Las cimentaciones de la estructura de pórticos de amarre de las líneas y de las estructuras metálicas de soporte de la aparamenta.
- La construcción de un Edificio destinado a albergar los equipos de control y de maniobra de la instalación principal, así como los sistemas de alimentación de los servicios auxiliares.
- Obra Civil de 2 CR's donde se ubicarán los equipos de protección.

- Se construirán canales cables de reducida profundidad que unirán el parque con el edificio de control y las casetas de relés.
- Montaje de las estructuras metálicas de pórticos de entrada y de soportes de aparamenta.
- Montaje de la aparamenta correspondientes a las calles equipadas y a sus embarrados de conexión.
- Se dispondrán las cajas de centralización para los transformadores de medida, así como para los circuitos de control y fuerza de las celdas a equipar.
- Montaje de embarrados principales y embarrado altos.
- Se modificarán los Sistemas de Control, Telecomunicaciones, Protección y Medida, instalando los BR's en sus casetas de relés.
- Se ampliarán los servicios de c.a y c.c. de Servicios Auxiliares,
- Será modificada la red de tierras, así como a la instalación de fuerza y alumbrado.
- Se procederá al cerramiento perimetral de parque.

1.7.2.2 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.

En el portón de acceso se dispondrán señales informativas de riesgo.

1.7.2.3 Trabajos previos, interferencias y servicios afectados.

Los trabajos de Explanación y Movimiento de tierras no estarán interferidos por ningún otro.

Los trabajos de Obra Civil no estarán interferidos en su mayor parte con ningún otro, si bien en la fase final interferirán con el inicio de los trabajos de montaje.

Los desplazamientos y las maniobras de trabajadores y maquinaria prevista en Obra estarán condicionados por la existencia de elementos en tensión. La actuación en cuanto a las vías de paso autorizado se planificará de forma que no afecte a la instalación en servicio y siempre conforme a las normas indicadas en este documento en los apartados que les afecten.

1.7.2.4 Unidades constructivas que componen la obra.

1.7.2.4.1 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 132 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. Se realizará con tubo drenante en distribución que no produzca un efluente masivo. La zanja principal alcanzará en su punto más bajo una profundidad que se estima en 1,5 m.

1.7.2.4.2 Obra Civil.

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

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

- Cimentaciones de soportes.

Las cimentaciones para los pórticos y estructuras soportantes de la nueva apartamentada y de las cajas de centralización se realizarán en dados de hormigón armado.

- 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. Los canales de cables serán hormigonados in situ.

- Casetas de relés.

Se construirán 3 casetas de planta rectangular con dimensiones de 4 x 6 m. Se construirán con muro de fábrica con bloques de hormigón armado y forjado plano.

- Edificio de Control.

Será de planta rectangular construido con muros de fábrica con bloques de hormigón armado y forjados planos. La solera del suelo será de falso suelo en las salas de equipos eléctricos y pavimento de hormigón industrial en las salas de taller y auxiliares.

1.7.2.4.3 Montaje de estructuras y equipos.

En esta fase se instalarán los pórticos, embarrados altos, las estructuras de los equipos y los propios equipos.

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

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

- Trabajos de cableado y trabajos en b.t.

El tendido de cables de fuerza y control desde los equipos del parque a las casetas de relés se realizará manualmente siguiendo el trazado marcado por los canales.

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

- Puesta en Servicio.

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

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

1.7.2.5 Identificación de riesgos.

Las Empresas adjudicatarias de las obras han de considerar que la evaluación de los riesgos asociados a cada una de las actividades de construcción de 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:

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

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Proyecciones	Impacto por fragmentos, partículas sólidas o líquidas.
Contactos térmicos	Contactos con fluidos o sustancias calientes/ fríos. Contacto con proyecciones.
Contactos químicos	Contacto con sustancias corrosivas, irritantes/ alergizantes u otras.
Contactos eléctricos	Contactos directos, indirectos o descargas eléctricas.
Arcos eléctricos	Calor, proyecciones o radiaciones no ionizantes.
Sobresfuerzos	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.

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

1.7.2.6 Organización de la seguridad.

- Coordinador en Materia de Seguridad y Salud.

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

- Jefes de Trabajo de las Empresas Contratistas.

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

- Vigilante de Seguridad de la Empresa Contratista.

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

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

1.7.2.6.1 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.

1.7.2.6.2 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 Real Decreto 614/2001.

1.7.2.6.3 Medicina Preventiva.

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

En cualquier momento la Empresa Propietaria podrá solicitar certificados de estos reconocimientos.

1.7.2.6.4 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.

1.7.2.7 Locales de descanso y servicios higiénicos.

Conforme a lo establecido en el Real Decreto 486/1997 sobre Disposiciones Mínima de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo y particularmente en su Anexo V, el Contratista dispondrá de los locales y servicios higiénicos necesarios.

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

1.7.2.8 Disposiciones de emergencia.

1.7.2.8.1 Vías de Evacuación.

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

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

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

Dada la ausencia de recintos cerrados, no se considera necesario establecer Equipos de Evacuación ni realizar simulacros al respecto.

1.7.2.8.2 Iluminación.

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

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

1.7.2.8.3 Instalaciones de suministro y reparto de energía.

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

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

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

1.7.2.8.4 Ventilación.

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

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

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

Dado que se utilizarán herramientas o máquinas que producen gases o vapores que pueden disminuir peligrosamente la concentración de oxígeno (<18%), y no está asegurada una buena renovación del aire existente en el lugar de trabajo, se instalará un sistema de ventilación de aire limpio.

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

1.7.2.8.5 Ambientes nocivos y factores atmosféricos.

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

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

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

1.7.2.8.6 Detección y lucha contra incendios.

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

La Obra dispondrá de extintores en 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.

1.7.2.8.7 Primeros auxilios.

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

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

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

1.7.2.8.8 Plan de seguridad.

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

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

1.7.3 PLIEGO DE CONDICIONES.

1.7.3.1 Normativa legal de aplicación.

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

- Ley 31/95, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/03, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 1627/97, de 24 de octubre, sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.
- RD 171/04, de 30 enero, por el que desarrolla el Art. 24 de la Ley 31/95, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- R.D. 614/2001, de 8 de junio, sobre Disposiciones mínimas para la Protección de la Salud y Seguridad de los trabajadores frente al Riesgo Eléctrico.
- R.D. 486/97, de 14 de abril, sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo.
- R.D. 487/97, de 14 de abril, sobre Manipulación Manual de Cargas.

- R.D. 773/97, de 30 de mayo, sobre Utilización por los trabajadores de Equipos de Protección Individual.
- Orden Ministerial, de 18 de octubre de 1994. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

1.7.3.2 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 mantenimiento manual y mecánica.
- IC-003 Subcontratación por proveedores de Red Eléctrica a terceros.

2. TÉCNICAS Y PARTICULARES.

2.1 ÁMBITO DE APLICACIÓN.

Este documento tiene por objeto establecer los requisitos ambientales que se deben cumplir en los trabajos de obra civil y montaje electromecánico que se van a realizar para la construcción de la subestación de 132/400 kV en el municipio de Lucainena de las Torres, 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 en cada momento establecidos en los distintos ámbitos: europeo, estatal, autonómico y municipal. Las Especificaciones Ambientales de Construcción de Subestaciones que regirán la ejecución de la obra indicarán todos los requisitos a cumplir en relación con los trabajos.

2.2.1 CONDICIONADOS DE LOS ORGANISMOS DE LA ADMINISTRACIÓN.

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

2.2.2 ÁREAS DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL O 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 ACEITE Y GRASA.

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

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

2.2.4 CAMPAMENTO DE OBRA.

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

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

2.2.5 GESTIÓN DE RESIDUOS.

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

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

2.2.6 INCIDENTES CON CONSECUENCIAS AMBIENTALES.

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

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

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

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

2.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS.

2.3.1 ZONIFICACIÓN DE LOS TRABAJOS.

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

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

2.3.2 ACCESOS.

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

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

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

2.3.3 RETIRADA DE LA CUBIERTA VEGETAL.

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

2.3.4 PATRIMONIO CULTURAL.

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

2.3.5 MOVIMIENTO 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 sus zonas de policía, 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 su adecuada gestión.

2.6 ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA.

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

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

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

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

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

Documento IV

PRESUPUESTO

1. MEDICIONES.

1.1 APARAMENTA Y MATERIALES.

		Mediciones	Unidad
Interruptores de potencia	Fabricación y transporte	8	uds
	Instalación	8	uds
Seccionadores pantógrafos	Fabricación y transporte	14	uds
	Instalación	14	uds
Seccionadores de tres columnas giratorias	Fabricación y transporte	9	uds
	Instalación	9	uds
Transformadores de intensidad	Fabricación y transporte	24	uds
	Instalación	24	uds
Transformadores de tensión Capacitivos 132kV	Fabricación y transporte	24	uds
	Instalación	24	uds
Transformadores de tensión Capacitivos 400kV	Fabricación y transporte	3	uds
	Instalación	3	uds
Autoválvulas 132kV	Fabricación y transporte	21	uds
	Instalación	21	uds
Autoválvulas 400kV	Fabricación y transporte	3	uds
	Instalación	3	uds
Embarrado principal		840	m
Embarrado secundario		60	m
Aisladores soporte		48	uds
Transformador de potencia		1	uds

1.2 SERVICIOS AUXILIARES.

		Mediciones	Unidad
Transformador de servicios auxiliares	Fabricación y transporte	1	uds
	Instalación	1	uds
Batería 125 Vcc y Rectificador	Fabricación y transporte	2	uds
	Instalación	2	uds
Batería 48 Vcc y Rectificador	Fabricación y transporte	2	uds
	Instalación	2	uds
Grupo Electrónico	Fabricación y transporte	1	uds
	Instalación	1	uds

1.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN.

	Mediciones	Unidades
Sistemas de protección	1	uds

1.4 RED DE TIERRAS.

	Mediciones	Unidades
Puntas Franklin	7	uds
Conductor de cobre	6075	m

1.5 SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN.

	Mediciones	Unidades
Sistema de control y comunicación	1	uds

1.6 CONSTRUCCIÓN.

	Mediciones	Unidades
Terreno	63934	m ²
Movimiento de tierras	26244	m ³
Cimentación y plataforma	13122	m ²
Vallado	486	m
Edificio de control	1	uds
Caseta de relés	3	uds

1.7 INGENIERÍA.

	Mediciones	Unidades
Obra civil	1	uds
Montaje electromecánico	1	uds

1.8 OTROS.

	Mediciones	Unidades
Pruebas de puesta en servicio	1	uds
Tasas municipales	1	uds
Seguridad y vigilancia	1	uds
Adecuación medioambiental	1	uds
Seguridad y salud laboral	1	uds

2. PRECIOS UNITARIOS.

2.1 APARAMENTA Y MATERIALES.

		Precios unitarios	Unidad
Interruptores de potencia	Fabricación y transporte	37.000,00	€/uds
	Instalación	6.000,00	€/uds
Seccionadores pantógrafos	Fabricación y transporte	16.000,00	€/uds
	Instalación	2.700,00	€/uds
Seccionadores de tres columnas giratorias	Fabricación y transporte	17.000,00	€/uds
	Instalación	3.000,00	€/uds
Transformadores de intensidad	Fabricación y transporte	10.000,00	€/uds
	Instalación	900,00	€/uds
Transformadores de tensión Capacitivos 132kV	Fabricación y transporte	8.000,00	€/uds
	Instalación	1.000,00	€/uds
Transformadores de tensión Capacitivos 400kV	Fabricación y transporte	11.000,00	€/uds
	Instalación	3.000,00	€/uds
Autoválvulas 132kV	Fabricación y transporte	5.000,00	€/uds
	Instalación	900,00	€/uds
Autoválvulas 400kV	Fabricación y transporte	9.000,00	€/uds
	Instalación	1.500,00	€/uds
Embarrado principal		70,00	€/m
Embarrado secundario		25,00	€/m
Aisladores soporte		700,00	€/uds
Transformador de potencia		1.900.000,00	€/uds

2.2 *SERVICIOS AUXILIARES.*

		Precios unitarios	Unidad
Transformador de servicios auxiliares	Fabricación y transporte	25.000,00	€/uds
	Instalación	4.000,00	€/uds
Batería 125 Vcc y Rectificador	Fabricación y transporte	8.900,00	€/uds
	Instalación	150,00	€/uds
Batería 48 Vcc y Rectificador	Fabricación y transporte	5.600,00	€/uds
	Instalación	150,00	€/uds
Grupo Electrógeno	Fabricación y transporte	19.000,00	€/uds
	Instalación	100,00	€/uds

2.3 *SISTEMAS DE PROTECCIÓN.*

	Precios unitarios	Unidades
Sistemas de Protección	104.000,00	€/uds

2.4 *RED DE TIERRAS.*

	Precios unitarios	Unidades
Puntas Franklin	300,00	€/uds
Conductor de cobre	2,70	€/m

2.5 *SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN.*

	Precios unitarios	Unidades
Sistema de control y comunicación	140.000,00	€/uds

2.6 CONSTRUCCIÓN.

	Precios unitarios	Unidades
Terreno	5,00	€/m ²
Movimiento de tierras	9,00	€/m ³
Cimentación y plataforma	6,00	€/m ²
Vallado	34,00	€/m
Edificio de control	260.000,00	€/uds
Caseta de relés	30.000,00	€/uds

2.7 INGENIERÍA.

	Precios unitarios	Unidades
Obra civil	55.000,00	€/uds
Montaje electromecánico	55.000,00	€/uds

2.8 OTROS.

	Precios unitarios	Unidades
Pruebas de puesta en servicio	50.000,00	€/uds
Tasas municipales	100.000,00	€/uds
Seguridad y vigilancia	40.000,00	€/uds
Adecuación medioambiental	35.000,00	€/uds
Seguridad y salud laboral	30.000,00	€/uds

3. SUMAS PARCIALES.

3.1 APARAMENTA Y MATERIALES.

		Sumas parciales	Unidad
Interruptores de potencia	Fabricación y transporte	296.000,00	€
	Instalación	48.000,00	€
Seccionadores pantógrafos	Fabricación y transporte	224.000,00	€
	Instalación	37.800,00	€
Seccionadores de tres columnas giratorias	Fabricación y transporte	153.000,00	€
	Instalación	27.000,00	€
Transformadores de intensidad	Fabricación y transporte	240.000,00	€
	Instalación	21.600,00	€
Transformadores de tensión Capacitivos 132kV	Fabricación y transporte	192.000,00	€
	Instalación	24.000,00	€
Transformadores de tensión Capacitivos 400kV	Fabricación y transporte	33.000,00	€
	Instalación	9.000,00	€
Autoválvulas 132kV	Fabricación y transporte	105.000,00	€
	Instalación	18.900,00	€
Autoválvulas 400kV	Fabricación y transporte	27.000,00	€
	Instalación	4.500,00	€
Embarrado principal		58.800,00	€
Embarrado secundario		1.500,00	€
Aisladores soporte		33.600,00	€
Transformador de potencia		1.900.000,00	€

3.2 SERVICIOS AUXILIARES.

		Sumas parciales	Unidad
Transformador de servicios auxiliares	Fabricación y transporte	25.000,00	€
	Instalación	4.000,00	€
Batería 125 Vcc y Rectificador	Fabricación y transporte	17.800,00	€
	Instalación	300,00	€
Batería 48 Vcc y Rectificador	Fabricación y transporte	11.200,00	€
	Instalación	300,00	€
Grupo Electrógeno	Fabricación y transporte	19.000,00	€
	Instalación	100,00	€

3.3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN.

	Sumas parciales	Unidades
Sistemas de protección	104.000,00	€

3.4 RED DE TIERRAS.

	Sumas parciales	Unidades
Puntas Franklin	2.100,00	€
Conductor de cobre	16.402,50	€

3.5 SISTEMA DE CONTROL Y COMUNICACIÓN.

	Sumas parciales	Unidades
Sistema de control y comunicación	140.000,00	€

3.6 CONSTRUCCIÓN.

	Sumas parciales	Unidades
Terreno	319.670,00	€
Movimiento de tierras	236.196,00	€
Cimentación y plataforma	78.732,00	€
Vallado	16.524,00	€
Edificio de control	260.000,00	€
Caseta de relés	90.000,00	€

3.7 INGENIERÍA.

	Sumas parciales	Unidades
Obra civil	55.000,00	€
Montaje electromecánico	55.000,00	€

3.8 OTROS.

	Sumas parciales	Unidades
Pruebas de puesta en servicio	50.000,00	€
Tasas municipales	100.000,00	€
Seguridad y vigilancia	40.000,00	€
Adecuación medioambiental	35.000,00	€
Seguridad y salud laboral	30.000,00	€

4. PRESUPUESTO GENERAL.

Presupuesto general	Precio Total
Aparamenta y materiales	3.454.700,00 €
Servicios auxiliares	77.700,00 €
Sistemas de Protección	104.000,00 €
Red de tierras	18.502,50 €
Sistema de control y comunicación	140.000,00 €
Construcción	1.001.122,00 €
Ingeniería	110.000,00 €
Otros	255.000,00 €
TOTAL	5.161.024,50 €

