



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Diseño y Análisis de una Subestación Eléctrica
de 220 kV para la Evacuación de Energía de la
Central Hidroeléctrica de Rule**

Autor: Aldara Contreras Martín

Director: Matías Sánchez Mingarro

Madrid

Julio de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**Diseño y Análisis de una Subestación Eléctrica de 220 kV para la
Evacuación de Energía de la Central Hidroeléctrica de Rule**
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico **2024/2025** es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: **Aldara Contreras Martín** Fecha: **17/ 7/2025**



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: **Matías Sánchez Mingarro**



Fecha: **17/ 7/ 2025**



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Diseño y Análisis de una Subestación Eléctrica
de 220 kV para la Evacuación de Energía de la
Central Hidroeléctrica de Rule**

Autor: Aldara Contreras Martín

Director: Matías Sánchez Mingarro

Madrid

Julio de 2025

Diseño y Análisis de una Subestación Eléctrica de 220 kV para la Evacuación de Energía de la Central Hidroeléctrica de Rule

Autor: Aldara Contreras Martín

Director: Matías Sánchez Mingarro

Entidad Colaboradora: Universidad Pontificia Comillas ICAI

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

La integración de energías renovables en el sistema eléctrico español ha adquirido una relevancia estratégica ante el actual contexto de transición energética. En particular, el aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos representa una oportunidad para diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de combustibles fósiles. La central hidroeléctrica de Rules, situada en la provincia de Granada, constituye un ejemplo representativo de este potencial. Sin embargo, su plena operación requiere una infraestructura eléctrica que garantice la evacuación segura, eficiente y continua de la energía generada hacia la red de transporte nacional.

Este Trabajo Fin de Máster tiene por objeto el diseño integral de una subestación eléctrica de 220 kV en el término municipal de Villamena, cuyo propósito es servir de enlace entre la central de Rules y la red operada por Red Eléctrica de España (REE). El proyecto comprende desde el análisis de la ubicación y las condiciones ambientales, hasta el diseño eléctrico, mecánico, civil y de sistemas auxiliares, todo ello alineado con las normativas técnicas vigentes y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 9.

El planteamiento técnico se basa en la necesidad de crear una infraestructura flexible, segura, económica y escalable, utilizando tecnología AIS (Air Insulated Substation) debido a su idoneidad en términos de mantenimiento, coste y disponibilidad de espacio.

Metodología

La metodología de desarrollo se estructuró en fases interdependientes, siguiendo un enfoque integral y multidisciplinar. Inicialmente, se realizó un estudio de viabilidad del emplazamiento, considerando criterios de accesibilidad, condiciones topográficas, proximidad a la central generadora, normativa urbanística y afecciones ambientales. La parcela seleccionada, de 30.138 m² y situada a 760 m de altitud, cumple con todos los requisitos necesarios para albergar una instalación de estas características.

Análisis de alternativas tecnológicas

Se evaluaron dos opciones: subestaciones con aislamiento en aire (AIS) y con aislamiento en gas (GIS). Las GIS ofrecen ventajas en compactidad y reducción de superficies ocupadas, pero implican un mayor coste y complejidad operativa. Dado el amplio terreno disponible y los requerimientos de mantenimiento a largo plazo, se optó por una solución AIS con disposición en doble barra.

Diseño eléctrico y funcional

Se adoptó un esquema de doble barra con interruptor y seccionador en cada posición, lo que permite realizar maniobras sin interrupción del servicio y garantiza una alta disponibilidad operativa. El diseño contempla siete posiciones funcionales, distribuidas de la siguiente manera:

Posición	Descripción
1	Acoplamiento
2	Línea L3
3	Línea L2
4	Línea L1
5	Generación G1
6	Reserva R1
7	Reserva R2

La tensión nominal es de 220 kV, con una tensión máxima para el material de 245 kV y una corriente de cortocircuito de diseño de 40 kA durante 0,5 segundos. Se realizaron cálculos eléctricos, térmicos y mecánicos para dimensionar el embarrado, seleccionando tubos de aluminio (150/134 mm y 100/88 mm) y cable dúplex tipo RAIL para los tendidos altos.

Selección de Equipos

Se seleccionó la aparamenta siguiendo catálogos técnicos reales, garantizando que los equipos cumplieran con los requisitos de servicio y seguridad. A continuación, se resume la aparamenta principal:

Tipo de equipo	Modelo	Fabricante	Cantidad
Interruptor de potencia	LTB 245E1	ABB	7
Seccionador pantógrafo	GW54	Hitachi	10
Seccionador rotativo	GW56	Hitachi	4
Transformador de intensidad	CA-245	Arteche	15
Transformador de tensión	UTF-245	Arteche	18
Pararrayos	PEXLIM Q	ABB	12

Para garantizar la seguridad y operatividad de la subestación, se implementó un sistema de protecciones diferenciales (de barras y líneas), protecciones de distancia, sobreintensidad, mínima tensión y sincronismo, todas con redundancia y comunicación con el sistema SCADA.

Resultados

La red de tierras inferior está compuesta por una malla de cobre enterrada que asegura tensiones de paso y contacto dentro de los límites permitidos. La red superior, conectada a través de estructuras galvanizadas, ofrece protección frente a descargas atmosféricas, en cumplimiento con la norma UNE 21186.

Los servicios auxiliares se dividen en corriente alterna (400/230 V) y continua (125 V y 48 V). Se instalaron bancos de baterías con autonomía mínima de 8 horas, un transformador de servicios auxiliares y un grupo electrógeno HIMOINSA de 250 kVA. Esta configuración permite mantener la funcionalidad de la subestación en situaciones de emergencia.

El diseño civil incluye la ejecución de cimentaciones, drenajes, plataformas, accesos y cerramientos perimetrales. El edificio de control, de 13 x 23 m, está compartimentado en áreas de relés, SCADA, telecomunicaciones, almacén, sala de baterías y zonas para el personal. Se incorporan dos casetas prefabricadas para aparamenta secundaria.

La iluminación exterior garantiza niveles de iluminación de 50 lux mediante proyectores orientables. El sistema contra incendios incluye extintores, señalización, detectores y alarmas sonoras en las áreas críticas.

El presupuesto del proyecto fue elaborado teniendo en cuenta precios reales de mercado y partidas ajustadas. El coste estimado se encuentra dentro de los márgenes habituales para instalaciones de esta tipología, garantizando su viabilidad financiera y técnica. Se realizó un análisis de retorno de la inversión, concluyendo que la integración de esta infraestructura repercute positivamente en la eficiencia de la red eléctrica de la región.

Conclusiones

El diseño de esta subestación de 220 kV representa una solución técnicamente viable, económicamente razonable y normativamente sólida para la evacuación de energía renovable en el entorno de Granada. La decisión de emplear tecnología AIS se justifica por criterios de fiabilidad, coste, operatividad y mantenimiento.

Desde una perspectiva formativa, este proyecto ha permitido aplicar de forma integrada los conocimientos adquiridos en el Máster en Ingeniería Industrial, combinando aspectos de ingeniería eléctrica, civil, mecánica y de automatización. También se han abordado competencias transversales como la gestión de proyectos, la toma de decisiones técnicas, la sostenibilidad y la innovación.

En definitiva, la subestación diseñada permite reforzar la infraestructura energética del sur de España, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos nacionales de transición energética y favoreciendo una integración real de las fuentes renovables en la red.

Referencias clave

- REBT - Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- UNE 21186 - Protección contra el rayo.
- ITC-RAT - Instrucciones Técnicas Complementarias para Alta Tensión.
- RD 223/2008 y RD 3275/1982 - Condiciones técnicas y seguridad en instalaciones eléctricas.
- Catálogos técnicos de ABB, Hitachi, Artech, POINSA.
- Norma UNE EN 60865-1 y CEI 865.

Design and Analysis of a 220 kV Electrical Substation for the Power Evacuation of the Rule Hydroelectric Power Plant

Author: Aldara Contreras Martín

Supervisor: Matías Sánchez Mingarro

Collaborating Entity: Universidad Pontificia Comillas ICAI

ABSTRACT

Introduction

The integration of renewable energy into the Spanish electrical system has gained strategic importance in the current context of energy transition. In particular, harnessing hydroelectric resources represents an opportunity to diversify the energy mix and reduce dependence on fossil fuels. The Rules hydroelectric power plant, located in the province of Granada, is a representative example of this potential. However, its full operation requires electrical infrastructure that guarantees the safe, efficient, and continuous evacuation of the generated energy to the national transmission grid.

This Master's Thesis aims at the comprehensive design of a 220 kV electrical substation in the municipality of Villamena, intended to serve as a link between the Rules plant and the grid operated by Red Eléctrica de España (REE). The project covers everything from site analysis and environmental conditions to electrical, mechanical, civil, and auxiliary systems design, all aligned with current technical standards and the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 9.

The technical approach is based on the need to create a flexible, safe, economical, and scalable infrastructure using AIS (Air Insulated Substation) technology due to its suitability in terms of maintenance, cost, and space availability.

Methodology

The development methodology was structured in interdependent phases following a comprehensive and multidisciplinary approach. Initially, a site feasibility study was conducted considering accessibility criteria, topographic conditions, proximity to the generating plant, urban planning regulations, and environmental impacts. The selected plot, measuring 30,138 m² and located at 760 m altitude, meets all necessary requirements to host a facility of this type.

Analysis of Technological Alternatives

Two options were evaluated: air-insulated substations (AIS) and gas-insulated substations (GIS). GIS offer advantages in compactness and reduced footprint but involve higher costs and operational complexity. Given the ample available land and long-term maintenance requirements, an AIS solution with a double busbar arrangement was chosen.

Electrical and Functional Design

A double busbar scheme with a circuit breaker and disconnecter at each position was adopted, allowing operations without service interruption and ensuring high operational availability. The design includes seven functional positions, distributed as follows:

Position	Description
1	Coupling
2	Line L3
3	Line L2
4	Line L1
5	Generation G1
6	Reserve R1
7	Reserve R2

The nominal voltage is 220 kV, with a maximum equipment voltage of 245 kV and a design short-circuit current of 40 kA for 0.5 seconds. Electrical, thermal, and mechanical calculations were performed to size the busbars, selecting aluminum tubes (150/134 mm and 100/88 mm) and duplex RAIL-type cables for the overhead connections.

Equipment Selection

Switchgear was selected following real technical catalogs, ensuring that equipment met service and safety requirements. Below is a summary of the main switchgear:

Equipment Type	Model	Manufacturer	Quantity
Circuit breaker	LTB 245E1	ABB	7
Pantograph Disconnecter	GW54	Hitachi	10
Rotary Disconnecter	GW56	Hitachi	4
Current Transformer	CA-245	Arteche	15
Voltage Transformer	UTF-245	Arteche	18
Surge Arrester	PEXLIM Q	ABB	12

To guarantee substation safety and operability, differential protection systems (busbar and line), distance protections, overcurrent, undervoltage, and synchronism protections were implemented, all with redundancy and communication with the SCADA system.

Results

The lower grounding network consists of a buried copper mesh ensuring step and touch voltages remain within permissible limits. The upper network, connected via galvanized structures, offers protection against lightning discharges, complying with UNE 21186 standards.

Auxiliary services are divided into alternating current (400/230 V) and direct current (125 V and 48 V). Battery banks with a minimum 8-hour autonomy, an auxiliary transformer, and a 250 kVA HIMOINSA generator set were installed. This configuration maintains substation functionality during emergencies.

Civil design includes foundations, drainage, platforms, access roads, and perimeter fencing. The control building, measuring 13 x 23 m, is compartmentalized into relay, SCADA, telecommunications, storage, battery room, and staff areas. Two prefabricated shelters for secondary equipment are incorporated.

Outdoor lighting ensures 50 lux levels via adjustable floodlights. The fire protection system includes extinguishers, signage, detectors, and audible alarms in critical areas.

The project budget was prepared based on real market prices and adjusted items. The estimated cost falls within typical margins for this type of installation, ensuring financial and technical viability. A return on investment analysis concluded that integrating this infrastructure positively impacts the electrical grid's efficiency in the region.

Conclusions

The design of this 220 kV substation represents a technically viable, economically reasonable, and normatively robust solution for renewable energy evacuation in the Granada area. The decision to employ AIS technology is justified by reliability, cost, operability, and maintenance criteria.

From an educational perspective, this project allowed the integrated application of knowledge acquired in the Master's in Industrial Engineering, combining electrical, civil, mechanical, and automation engineering aspects. Transversal competencies such as project management, technical decision-making, sustainability, and innovation were also addressed.

Ultimately, the designed substation strengthens the energy infrastructure of southern Spain, contributing to the fulfillment of national energy transition objectives and promoting real integration of renewable sources into the grid.

Key References

- REBT - Low Voltage Electrotechnical Regulation
- UNE 21186 - Lightning Protection
- ITC-RAT - Complementary Technical Instructions for High Voltage
- RD 223/2008 and RD 3275/1982 - Technical conditions and safety in electrical installations
- Technical catalogs from ABB, Hitachi, Artech, POINSA
- UNE EN 60865-1 and CEI 865 Standards

ÍNDICE DE PROYECTO

<i>PARTE I.</i>	MEMORIA.....	4
<i>PARTE II.</i>	PLANOS.....	77
<i>PARTE III.</i>	PLIEGO DE CONDICIONES	90
<i>PARTE IV.</i>	PRESUPUESTO	118

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ALZADO CON LOS RADIOS CRÍTICOS.....	51
FIGURA 2. MAPA DE DENSIDAD DE IMPACTOS SOBRE EL TERRENO	52
FIGURA 3. SUPERFICIE DE CAPTURA EQUIVALENTE DEL EDIFICIO AISLADO EN M2.....	52
FIGURA 4. COEFICIENTE RELACIONADO CON EL ENTORNO.....	53
FIGURA 5. COEFICIENTES SEGÚN TIPO DE CONSTRUCCIÓN	53
FIGURA 6. NIVEL DE PROTECCIÓN.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN.....	10
TABLA 2. MAGNITUDES ELÉCTRICAS.....	11
TABLA 3. DISTANCIAS MÍNIMAS PARA CONDUCTORES RÍGIDOS	11
TABLA 4. DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES TENDIDOS	12
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS TUBO 150/134	12
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS TUBO 100/88 MM	13
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS CABLE DÚPLEX RAIL.....	13
TABLA 8. ESPECIFICACIONES INTERRUPTORES.....	13
TABLA 9. ESPECIFICACIONES SECCIONADORES DE BARRAS.....	14
TABLA 10. ESPECIFICACIONES SECCIONADORES ROTATIVOS	14
TABLA 11. ESPECIFICACIONES TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD	15
TABLA 12. ESPECIFICACIONES TRANSFORMADORES DE TENSIÓN	15
TABLA 13. ESPECIFICACIONES AUTOVÁLVULAS	16
TABLA 14. ESPECIFICACIONES AISLADORES DE SOPORTE TIPO 1	16
TABLA 15. ESPECIFICACIONES AISLADORES DE SOPORTE TIPO 2	17
TABLA 16. RECUENTO APARAMENTA	17
TABLA 17. CARACTERÍSTICAS TUBO 150/134	25
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS TUBO 100/88	26
TABLA 19. CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES DE SOPORTE TIPO 1.....	26
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES DE SOPORTE TIPO 2.....	26
TABLA 21. CARACTERÍSTICAS VANO	35
TABLA 22. CURVA PARA APROXIMAR EL FACTOR SF	46
TABLA 23. SITUACIONES PORMENORIZADAS DE RIESGO	106
TABLA 24. PRESUPUESTO.....	119

PARTE I. MEMORIA

ÍNDICE DE MEMORIA

CÁPITULO 1. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	8
1.1. GENERALIDADES.....	8
1.1.1 <i>Objetivo</i>	8
1.1.2 <i>Estado del arte</i>	8
1.1.3 <i>Alcance</i>	8
1.1.4 <i>Alineación con los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)</i>	8
1.1.5 <i>Localización</i>	9
1.2. HIPÓTESIS DE DISEÑO	9
1.2.1 <i>Condiciones ambientales</i>	9
1.2.2 <i>Datos de cortocircuito</i>	10
1.2.3 <i>Datos del terreno a efectos de la red de tierras</i>	10
1.2.4 <i>Tecnología de aislamiento</i>	10
1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN	10
1.3.1 <i>Descripción general de la instalación</i>	10
1.3.2 <i>Disposición general de la instalación</i>	10
1.4. SISTEMA ELÉCTRICO	11
1.4.1 <i>Magnitudes eléctricas</i>	11
1.4.2 <i>Distancias</i>	11
1.4.4 <i>Características de la aparamenta</i>	13
1.4.5 <i>Recuento aparamenta</i>	17
1.5. RED DE TIERRAS	17
1.5.1 <i>Red de tierras inferiores</i>	17
1.5.2 <i>Red de tierras superiores</i>	18
1.6. ESTRUCTURAS METÁLICAS	18
1.7. SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN	18
1.7.1 <i>Sistema de control</i>	18
1.7.2 <i>Sistema de protección</i>	18
1.8. SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	19
1.9. SERVICIOS AUXILIARES	19
1.9.1 <i>Servicios auxiliares de corriente alterna</i>	19
1.9.2 <i>Servicios auxiliares de corriente continua</i>	20
1.10. OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN	20
1.10.1 <i>Movimiento de tierras</i>	20

1.10.2	<i>Drenajes</i>	20
1.10.3	<i>Cimentaciones</i>	21
1.10.4	<i>Accesos</i>	21
1.10.5	<i>Edificio de control</i>	21
1.10.6	<i>Casetas de relés</i>	21
1.10.7	<i>Cerramiento</i>	21
1.11.	ILUMINACIÓN.....	22
1.11.1	<i>Calles y posiciones</i>	22
1.11.2	<i>Vías de servicio</i>	22
1.11.3	<i>Edificio de comando y casetas de relés</i>	22
1.12.	SISTEMA CONTRA INCENDIOS	22
CÁPITULO 2. CÁLCULOS		23
2.1	OBJETO.....	23
2.2	CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS	23
2.2.1	<i>Hipótesis de diseño</i>	23
2.2.2	<i>Condiciones de la instalación</i>	24
2.2.3	<i>Normativa aplicable</i>	24
2.2.4	<i>Características de los materiales/equipos a instalar</i>	25
2.2.5	<i>Características de los aisladores soporte</i>	26
2.2.6	<i>Calculo mecánico del embarrado principal</i>	27
2.3	CÁLCULO DE EFECTO CORONA.....	33
2.3.1	<i>Cálculo de la tensión disruptiva</i>	33
2.4	DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS EN EMBARRADOS TENDIDOS.....	35
2.4.1	<i>Hipótesis de diseño</i>	35
2.4.2	<i>Normativa aplicable</i>	36
2.4.3	<i>Desplazamiento del vano con el viento</i>	36
2.4.4	<i>Efecto en conductores por corriente de cortocircuito</i>	37
2.4.5	<i>Aproximación de conductores</i>	42
2.4.6	<i>Distancia mínima</i>	43
2.4.7	<i>Distancias mínimas a adoptar</i>	43
2.5	RED DE TIERRAS INFERIORES.....	44
2.5.1	<i>Criterios de cálculo</i>	44
2.5.2	<i>Conclusiones</i>	50
2.6	RED DE TIERRAS SUPERIORES	50

CAPÍTULO 3.	ANEJOS.....	56
3.1	CATÁLOGO INTERRUPTOR	56
3.3	CATÁLOGO SECCIONADOR ROTATIVO	61
3.4	CATÁLOGO TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD	64
3.5	CATÁLOGO TRANSFORMADOR DE TENSIÓN	67
3.6	CATÁLOGO.....	70
3.7	CATÁLOGO AISLADORES DE SOPORTE	73
3.8	CATÁLOGO GRUPO ELECTRÓGENO	74

***C*apítulo 1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

1.1. Generalidades

1.1.1 Objetivo

El objetivo del proyecto es obtener las autorizaciones administrativas necesarias para la construcción de una nueva subestación eléctrica de 220 KV en el municipio de Villamena, Granada. La subestación permitirá transportar a la red de transporte la energía generada en la central hidroeléctrica de Rules. Se llevará a cabo el análisis y diseño de la subestación para de esa manera justificar técnica y económicamente la viabilidad de proyecto.

1.1.2 Estado del arte

El sistema eléctrico español se encuentra en proceso de transformación para llegar a un modelo más eficiente, sostenible y descentralizado. En este campo, las energías renovables están teniendo un papel muy importante para su desarrollo, y por ello surge la necesidad de reforzar el transporte de la energía.

En gran parte del sur de España como es el caso de Granada, existe un gran potencial de generación de energía hidroeléctrica, pero para poder conectar esta energía procedente de las centrales hidroeléctricas con la red de transporte, se necesitan más infraestructuras. Es por ello, que en este proyecto se centra en la posibilidad de construcción de una subestación eléctrica destinada a conectar la central hidroeléctrica de Rules con el sistema eléctrico.

Actualmente, existen dos tipologías principales de subestaciones: las subestaciones convencionales de aire (AIS) y las subestaciones encapsuladas en gas (GIS). Las AIS requieren mayor superficie y tienen componentes visibles al aire libre, mientras que las GIS utilizan SF6 como aislante en un entorno cerrado, permitiendo instalaciones más compactas.

En este caso, se ha optado por una configuración convencional tipo AIS debido a la disponibilidad de espacio y para una mayor facilidad de mantenimiento.

1.1.3 Alcance

El trabajo contará con un estudio completo, conteniendo cálculos, planos, mediciones y el presupuesto final... Este estudio se realizará cuidadosamente, vigilando que las instalaciones finales cumplan la normativa establecida para el correcto funcionamiento de la subestación eléctrica.

1.1.4 Alineación con los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

La tecnológica elegida en el proyecto estará en todo momento alineada con el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. Este Objetivo de Desarrollo Sostenible, promueve las infraestructuras modernas y resistentes que apoyen el crecimiento de la industria eficiente: y promuevan la innovación en este caso el uso de nuevas tecnologías avanzadas para la construcción de la subestación de Villamena.

1.1.5 Localización

La parcela catastral es la parcela 230 del polígono 4 de Villamena (Granada). Este terreno destinado a la subestación se encuentra a 15,686 km de la central hidroeléctrica de Rules.

La parcela de 30.138 m², se encuentra ubicado en el municipio de Villamena, Granada. Concretamente en las coordenadas:

36°58'25.97" N

3°35'54.95" W

Y a 760 metros sobre el nivel del mar.

La ubicación se ha escogido teniendo en cuenta la accesibilidad a la misma, las características del terreno, la distancia a zonas residenciales, el tamaño... Además, el proyecto abarcará su viabilidad geotécnica, y el impacto ambiental de esta subestación, así como la accesibilidad al terreno.

1.2. Hipótesis de diseño

1.2.1 Condiciones ambientales

Para toda subestación eléctrica, es estrictamente necesario que se cumpla la siguiente normativa sobre las condiciones ambientales:

- Temperatura ambiente máxima: 40 °C
- Temperatura ambiente mínima: -25 °C
- Humedad relativa media máxima (24h): 95%
- Humedad relativa media máxima (1 mes): 90%
- Altura máxima sobre el nivel del mar 1000 m
- Velocidad máxima del viento: 120km/h

En el caso de Villamena, nos basamos en los datos recogidos por la AEMET en la base aérea de Granada ya que es donde más cerca podemos obtener datos. En este punto, la temperatura histórica más alta recogida es de 43,8 grados. Este valor es un valor anómalo y además Villamena se encuentra en un punto más alto que la base aérea por lo que se descarta una temperatura máxima mayor de 40 grados. La temperatura mínima histórica es -13,4 grados lo cual no supone ningún problema. La humedad relativa media mensual es máxima en el mes de diciembre donde el dato histórico es de 75%, por lo que tampoco supone un problema.

Además, se encuentra a 760 metros sobre el nivel del mar por lo que se va a considerar (Zona B según RLAT). Se encontrará la subestación en una zona de actividad sísmica baja, en la cual el coeficiente de contribución estará por debajo de los 0,04g.

1.2.2 Datos de cortocircuito

Para permitir evoluciones futuras del sistema eléctrico sin impacto en la nueva subestación, se adoptan los siguientes valores de diseño:

- I_{cc3} (simétrica) = 40 kA
- R/X (sistema) = 0,07
- Duración del cortocircuito; 0,5 s.

1.2.3 Datos del terreno a efectos de la red de tierras

Consideraremos una resistividad del terreno de $200 \Omega \cdot m$

1.2.4 Tecnología de aislamiento

La tecnología de aislamiento será de tipo AIS. Esta tecnología utiliza el propio aire como aislador. Por lo tanto, la distancia entre equipos debe ser mucho mayor, y por ello se necesita un terreno más grande que si se utilizara otro tipo de tecnologías.

Sin embargo, el coste de la aparatamenta se reduce en gran medida de forma que acaba siendo rentable este tipo de tecnología. Además, ofrece una mayor flexibilidad si a lo largo del tiempo se quiere realizar un cambio de diseño, además de mayor seguridad. Otra ventaja es que el mantenimiento se facilita.

1.3. Características generales de la instalación

1.3.1 Descripción general de la instalación

La subestación eléctrica de Villamena, es de tipo:

Tensión nominal	220 KV
Tensión más elevada para el material	245 KV
Instalación	Intemperie
Tecnología	AIS
Configuración	Doble barra

Tabla 1. Descripción general de la instalación

1.3.2 Disposición general de la instalación

El parque contará con:

- Posición 1: Acoplamiento
- Posición 2: Línea de salida a alta tensión (L3)
- Posición 3: Línea de salida a alta tensión (L2)
- Posición 4: Línea de salida a alta tensión (L1)
- Posición 5: Línea conectada a la generación (G1)
- Posición 6: Reserva sin equipar (R1)
- Posición 7: Reserva sin equipar (R2)

1.4. Sistema eléctrico

1.4.1 Magnitudes eléctricas

Como criterio de diseño, se tienen las siguientes magnitudes eléctricas:

Tensión nominal	220 KV
Tensión más elevada para el material	245 KV
Neutro	Rigido a tierra
Intensidad de cortocircuito	40 KA
Tiempo de extinción de falta	0,5"
Línea de fuga mínima para aisladores	25 mm/KV
Tensión soportada ante impulso tipo maniobra (kV cresta)	460 KV
Tensión soportada ante impulso tipo rayo (kV cresta).	1050 KV
Línea de fuga mínima para aisladores	31mm/KV

Tabla 2. Magnitudes eléctricas

1.4.2 Distancias

Para subestaciones a menos de 1000 metros sobre el nivel del mar y de 220 KV, la normativa de distancias mínimas es:

- **Para conductores rígidos (embarrados de interconexión):**

Distancias fase-tierra	Conductor-estructura	2.1 mm
Distancias fase-fase	Conductores paralelos	2.1 mm
	Punta-conductor	2.1 mm

Tabla 3. Distancias mínimas para conductores rígidos

- **Para conductores tendidos:**

Se debe tener en cuenta para la distancia mínima de los conductores tendidos que estas deben estar dimensionadas para permitir el paso de personal por todos los puntos del parque sin poner en riesgo su seguridad. Además, deben poder permitir el paso de cualquier vehículo que pueda ser necesario para realizar el mantenimiento adecuado.

Por esto, se han considerado las siguientes distancias:

Entre ejes de apellaje	4 m
Entre ejes de conductores tendidos	4 m
Anchura de la calle	13.5 m
Altura de embarrados de interconexión entre aparatos	6 m
Altura de embarrados principales altos	10.5 m
Altura de tendidos altos	15 m

Tabla 4. Distancias entre conductores tendidos

1.4.3 Embarrados

La subestación contará con conductores a 3 niveles:

- Tendidos altos: Cable Dúplex RAIL a 15 m de altura.
- Embarrados altos: Barras principales de tubo de aluminio diámetro 150/134 mm a 10.5 m de altura.
- Embarrados bajos: Barras secundarias para la interconexión de la aparata de tubos de aluminio de diámetro 100/88 mm a 6 m de altura.

Más tarde en la parte de cálculos se justificarán estos embarrados.

Las características de estos conductores son:

- Tubo 150/134:

Aleación	E-ALMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	150/134 mm
Espesor de la pared (e)	8 mm
Peso propio unitario (Ppt)	9,64 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a _R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	902 cm ⁴
Momento resistente (W)	120 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R _{po2})	160 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima ¹	3.250 A

Tabla 5. Características Tubo 150/134

- Tubo 100/88:

Aleación	E-ALMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	100/88 mm
Espesor de la pared (e)	6 mm
Peso propio unitario (Ppt)	4,78 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²

Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	197 cm ⁴
Momento resistente (W)	39 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R _{p02})	160 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima ¹	2.040 A

Tabla 6. Características Tubo 100/88 mm

- Cable Dúplex RAIL:

Diametro	29,61 mm
Seccion	516,8 mm ²
Peso	1,6 kg/m
Módulo de elasticidad (Young) (E)	61.000 N/mm ²

Tabla 7. Características Cable Dúplex RAIL

1.4.4 Características de la aparamenta

INTERRUPTORES

En la instalación habrá un total de 5 interruptores de potencia encargados de mantener la corriente de servicio o interrumpir la misma en condiciones de falta. Serán de tanque vivo y aislados en SF₆ siguiendo lo establecido en ITC-RAT 06.

Se escogerá el interruptor LTB 245E1 del fabricante ABB, con las siguientes características:

Tensión nominal	245 kV
Corriente nominal	4000 A
Corriente de corte	40 kA
Tensión soportada a frecuencia industrial	460 kV
Nivel de impulso (rayos)	1050 kV
Distancia de fuga mínima	25 mm/kV
Corriente de cierre (pico)	100 kA
Tiempo de apertura	17 ± 2 ms
Tiempo total de corte	40 ms
Gas aislante	SF ₆

Tabla 8. Especificaciones interruptores

SECCIONADORES DE BARRAS

En la instalación habrá un total de 10 seccionadores de barras trifásicos y serán de tipo pantógrafo para establecer conexión de forma vertical entre el embarrado principal y el secundario. La finalidad de los seccionadores es permitir apreciar de forma visual la conexión o desconexión de dos partes de la subestación de forma que, un operario que vaya a realizar un trabajo manual pueda comprobar que es segura la intervención. Deben cumplir lo establecido en ITC-RAT 06.

Se escogerá el seccionador de barras GW54 del fabricante HITACHI, con las siguientes características

Tensión nominal	252 kV
Corriente nominal	Hasta 4000 A
Corriente soportada de pico	125 kA (pico)
Corriente soportada en cortocircuito (1s)	50 kA (rms)
Tensión soportada a frecuencia industrial (1 min)	460 kV (a tierra y entre fases), 530 kV (a través de la distancia de seccionamiento)
Impulso de rayo soportado	1050 kV (a tierra y entre fases), 1200 kV (a través de la distancia)
Resistencia del circuito	$\leq 100 \mu\Omega$
Interferencia de radiofrecuencia	$\leq 2000 \mu V$

Tabla 9. Especificaciones seccionadores de barras

SECCIONADORES ROTATIVOS

En la instalación habrá un total de 4 seccionadores horizontales de tipo columna giratoria. Deben cumplir lo establecido en ITC-RAT 06.

Se escogerá el seccionador de barras GW56 del fabricante HITACHI, con las siguientes características:

Tensión nominal	245 kV
Frecuencia nominal	50/60 Hz
Corriente nominal	≤ 3150 A
Corriente soportada en cortocircuito (3s)	50 kA
Corriente soportada de pico	125 kA
Tensión soportada a frecuencia industrial (1 min)	460 kV (a tierra y entre polos), 530 kV (a través de la distancia de seccionamiento)
Impulso de rayo soportado	1050 kV (a tierra y entre polos), 1200 kV (a través de la distancia)
Tipo de seccionador	Rotativo de doble apertura central (GW56)
Construcción	3 polos con cuchilla móvil central y contactos fijos
Operación	Motorizada o manual, con opción de mando por SCADA
Mantenimiento	Mínimo, con contactos autolimpiantes y sistema de auto lubricación

Tabla 10. Especificaciones seccionadores rotativos

TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

En la instalación habrá un total de 15 transformadores de intensidad monofásicos, uno en cada fase de salida de línea y uno en cada fase en el acoplamiento de las barras. Son los encargados de transformar los valores de la corriente que entra en ellos a otra corriente adecuada a los equipos de medida, protección y control. Deben cumplir lo establecido en ITC-RAT 08.

Se escogerá el transformador de intensidad modelo **CA** del fabricante **Arteche**, con las siguientes características:

Tensión máxima de servicio	245 kV
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	460 / 395 kV
Impulso tipo rayo (kVp)	1050 / 950 kVp
Línea de fuga estándar	6125 mm
Dimensiones A x T x H (mm)	2755 x 3055 x 450
Peso aproximado	560 kg
Intensidad primaria	1 A a 5000 A
Intensidad secundaria	1 A 0 5 A
Intensidad de cortocircuito	Hasta 120 kA
Tipo de aislamiento	Papel-aceite
Modelo	CA-245

Tabla 11. Especificaciones transformadores de intensidad

TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

En la instalación habrá un total de 18 transformadores de tensión inductivos monofásicos, uno en cada fase de salida de línea y uno por cada fase en cada barra. Son los encargados de transformar los valores de la tensión que entra en ellos a otra tensión adecuada a los equipos de medida, protección y control. Deben cumplir lo establecido en ITC-RAT 08.

Se escogerá el transformador de intensidad modelo **UTF** del fabricante **Arteche**, con las siguientes características:

Tensión máxima de servicio	245 kV
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	460 / 395 kV
Tensión secundaria	100 V o 110 V
Impulso tipo rayo (kVp)	1050 / 950 kVp
Potencia térmica	3500 VA
Línea de fuga estándar	6125 mm
Dimensiones A x B x H (mm)	450 x 590 x 3210
Peso aproximado	650 kg
Tipo de aislamiento	Papel-aceite
Modelo	UTF-245

Tabla 12. Especificaciones transformadores de tensión

AUTOVÁLVULAS

En la instalación habrá un total de 12 autoválvulas monofásicas. Se encargan de absorber las sobretensiones de alta frecuencia producidas por descargas atmosféricas u otras causas. Deben cumplir lo establecido en la UNE 21087.

Se escogerá el transformador de intensidad modelo **PEXLIM Q** del fabricante **ABB**, con las siguientes características:

Tensión máxima de operación continua (MCOV)	198 kV
Tensión nominal del pararrayos (Ur)	245 kV
Nivel de protección a impulso de rayo (1,2/50 μ s)	\leq 650 kV (cresta)
Nivel de protección a impulso de maniobra (250/2500 μ s)	\leq 540 kV (cresta)
Nivel de protección a onda en escuadra (8/20 μ s)	\leq 750 kV (cresta)
Corriente de impulso de rayo nominal	10 kA (8/20 μ s)
Corriente de impulso de maniobra	500 A (250/2500 μ s)
Energía específica de absorción térmica	10.0 kJ/kV Ur
Corriente de falla a tierra soportada	65 kA (rms)
Normas	IEC 60099-4
Montaje	Exterior

Tabla 13. Especificaciones autoválvulas

AISLADORES DE SOPORTE

Se encargan de soportar los tubos de embarrados rígidos aportando aislamiento frente a tierra. Deben cumplir lo establecido en las normas IEC 60815 e IEC 60137.

En los tramos correspondientes a las barras principales se instalan aisladores del modelo **C10-1050** del fabricante **POINSA**, con las siguientes características:

Tensión nominal / máxima	245 kV
Tensión soportada al impulso de rayo	1050 kV
Tensión de maniobra bajo lluvia (impulso)	750 kV
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz	460 kV
Altura del aislador montado	2300 \pm 3,5 mm
Diámetro máximo de la parte aislante	450 mm
Círculo de fijación (diámetro)	275 mm
Carga mínima de rotura a flexión	10000 N
Carga mínima de rotura a torsión	4000 N
Norma aplicable	IEC 60273 / IEC 60168
Color del esmaltado	Marrón o gris
Tipo de montaje	Exterior, con herrajes galvanizados

Tabla 14. Especificaciones aisladores de soporte tipo 1

En los tramos correspondientes a las barras secundarias se instalan aisladores del modelo **C6-1050** del fabricante **POINSA**, con las siguientes características:

Tensión nominal / máxima	245 kV
Tensión soportada al impulso de rayo	1050 kV
Tensión de maniobra bajo lluvia (impulso)	750 kV
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz	460 kV
Altura del aislador montado	2300 ± 3,5 mm
Diámetro máximo de la parte aislante	450 mm
Círculo de fijación (diámetro)	225 mm
Carga mínima de rotura a flexión	6000 N
Carga mínima de rotura a torsión	3000 N
Norma aplicable	IEC 60273 / IEC 60168
Color del esmaltado	Marrón o gris
Tipo de montaje	Exterior, con herrajes galvanizados

Tabla 15. Especificaciones aisladores de soporte tipo 2

1.4.5 Recuento aparamenta

Aparamenta 220KV	Cantidades
Interruptores	5
Seccionadores de barras	10
Seccionadores giratorios	4
Transformadores de intensidad	15
Transformadores de tensión	18
Autoválvulas	12
Aisladores	24
Embarrados	42

Tabla 16. Recuento aparamenta

1.5. Red de tierras

1.5.1 Red de tierras inferiores

Con el fin de conseguir tensiones de paso y contacto seguras, la subestación eléctrica se proyecta dotada de una malla de tierras inferiores formada por cable de cobre, enterrada en el terreno, formando retículas que se extienden por todas las zonas ocupadas por las instalaciones, incluidas cimentaciones, edificios y cerramiento.

Se conectarán a las tierras de protección todas las partes metálicas no sometidas a tensión normalmente, pero que pudieran estarlo como consecuencia de averías, sobretensiones por descargas atmosféricas o tensiones inductivas. Por este motivo, se han unido a la malla: la estructura metálica, bases de aparellaje, cerramientos, neutros de transformadores de medida, etc.

Estas conexiones se fijarán a la estructura y carcasas del aparellaje mediante tornillos y grapas especiales, que aseguran la permanencia de la unión, haciendo uso de soldaduras aluminotérmicas de alto poder de fusión, para las uniones bajo tierra, ya que sus propiedades son altamente resistentes a la corrosión galvánica.

Para la comprobación de las condiciones de seguridad de la red de tierras se consideran las intensidades de cortocircuito previstas. Posteriormente, en los cálculos, se dimensionará la malla de tierra para soportar las intensidades de cortocircuito de corta duración de diseño.

1.5.2 Red de tierras superiores

Con el objeto de proteger los equipos de descargas atmosféricas directas, la subestación está dotada con una malla de tierras superiores, unida a la malla de tierra de la instalación a través de robustos elementos metálicos, lo que garantiza una unión eléctrica suficiente con la malla y la protección frente a descargas atmosféricas de toda la instalación.

1.6. Estructuras metálicas

La subestación eléctrica será soportada por una estructura metálica de acero galvanizado frente a la corrosión. Esta estructura será anclada al suelo con una cimentación construida de hormigón previamente diseñada adecuadamente.

1.7. Sistemas de control y protección

1.7.1 Sistema de control

El sistema de control se encarga de recoger la información de la aparamenta y registrar todas las operaciones de la subestación en la unidad central. Gracias a este control, es posible realizar el mantenimiento y otras maniobras, y todas estas quedarán de la misma forma registradas.

1.7.2 Sistema de protección

El sistema de protección es el encargado de detectar cualquier tipo de falta aislando la parte afectada del resto del sistema. Cada elemento que compone la subestación contará con sus equipos necesarios para la protección. Se instalarán casetas de relés en la subestación, por lo que estas no irán contempladas dentro del edificio de comando.

Las protecciones necesarias son:

- Embarrados: contarán con protección diferencial de barras (87B) para cada barra. Cada barra estará dividida en 2 zonas de protección para mayor seguridad.
- Interruptores: contarán con la función de fallo en el interruptor (50S-62), protección por mínima tensión (27) y comprobación de sincronismo y acoplamiento de redes (25-25AR).

- Posiciones de línea: contarán con protección de principio diferencial (87), sobreintensidad direccional de neutro (67N), protección contra sobretensiones (59), y protección de distancia (21) como respaldo.
- Posición de acoplamiento: contará con un sistema de protección con las funciones de distancia, fallo de interruptor y sincronismo.

Además, para garantizar mayor seguridad, el sistema de protección ha sido diseñado con arquitectura redundante. Esto trata de una duplicación de los elementos más críticos de forma que se asegura el funcionamiento ante el fallo de uno de los dos sistemas. Se dispondrán dos canales independientes de protección. Además, de esta forma se consigue la posibilidad del mantenimiento de uno de los sistemas sin dejar a la instalación desprotegida.

1.8. Sistema de telecomunicaciones

El sistema de telecomunicaciones se encarga del control a distancia de la subestación. Para ello cuenta con:

- Telecomunicaciones para funciones de protección y telecontrol.
- Red de fibra óptica en la subestación.
- Telegestión de protecciones, sistemas de telecontrol y equipos de comunicaciones.
- Red de Telefonía.
- Ciberseguridad.

1.9. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares son indispensables para el funcionamiento de la instalación. Son las fuentes de alimentación y suministro eléctrico necesario. Se dividen en los servicios auxiliares de corriente alterna (ca) y de corriente continua (cc).

Tanto en corriente alterna como en continua, los servicios auxiliares cuentan con medidas de redundancia para asegurar su disponibilidad ante fallos de suministro o averías internas.

1.9.1 Servicios auxiliares de corriente alterna

La tensión nominal de los servicios auxiliares de corriente alterna es de 400/230 V.

Para alimentar el cuadro general de corriente alterna, situado en la sala de servicios auxiliares del edificio de control, se necesitará la conexión a una línea de media tensión. Para la conexión a esta línea, será necesario un centro de transformación prefabricado compacto del fabricante Ormazabal.

Además, en caso de que la línea fallara, se contará con un grupo electrógeno insonorizado Diesel 250 KVA del fabricante HIMOINSA. Este grupo electrógeno esta dimensionado para cubrir las cargas críticas de la subestación como son las protecciones, las iluminaciones de emergencia, la ventilación mínima, etc.

1.9.2 Servicios auxiliares de corriente continua

Son los encargados de garantizar una alimentación segura y estable de los dispositivos de protección, señalización, mando... Los servicios de corriente continua requieren de dos niveles de tensión.

- 125 V: Se encargará de la alimentación de los sistemas de control y protección y el sistema de fuerzas como los motores, los interruptores y los seccionadores.
- 48 V: Se encargará de la alimentación de telecomunicaciones.

El sistema contará con:

- Un rectificador alimentado desde la red de 400 V CA.
- Un banco de baterías de 110 Vcc para proporcionar una autonomía de hasta 8 horas ante fallo de las fuentes de CA.
- Un cuadro de corriente continua con protecciones individuales para cada circuito.

1.10. Obra civil y edificación

1.10.1 Movimiento de tierras

En primer lugar, se realizará un estudio geotécnico y un estudio topográfico de la zona. A continuación, se hará la excavación momento en el cual se introducirá la malla de tierra y se levantarán las cimentaciones. Para ello, será necesario el uso de maquinaria pesada. Después, se llevará a cabo la explanación con terreno adecuado. Contará con una inclinación suficiente para la evacuación de aguas.

1.10.2 Drenajes

La red de drenajes tiene como objetivo fundamental que no se acumule el agua de lluvia dentro del recinto de la subestación. De esta forma, quedará protegida la instalación eléctrica de posibles daños por humedad, por encharcamiento o por erosión del terreno.

Para la red de drenaje se tendrá en cuenta:

- Canaletas perimetrales y longitudinales colocadas a lo largo de los viales y de las zonas de tráfico de mantenimiento.
- Rejillas de recogida en puntos donde pueda haber gran acumulación debido a ser puntos más bajos.
- Tuberías de evacuación subterráneas conectadas a un colector cuya función es sacar el agua al exterior de la parcela.
- Pendiente natural del terreno. En el movimiento de tierras se tendrá en cuenta para favorecer el flujo del agua hacia los puntos de recogida.

Gracias a este diseño, se garantiza la protección de la subestación frente a la acumulación de agua en la superficie. Además, cumple con todas las normativas vigentes redactadas tanto el RIAT (Reglamento de Instalaciones de Alta Tensión), como en el CTE.

1.10.3 Cimentaciones

Las cimentaciones son necesarias para la sujeción de la estructura de la instalación. Mediante estructuras de hormigón armado, se cimentará cada apoyo de ejes de aparellaje. Sin embargo, para cimentar los pórticos y embarrados, se hará uso del hormigonado de cimentación de pata de elefante que es más estable y tiene más resistencia.

1.10.4 Accesos

La entrada principal contará con una puerta para vehículos de 5 metros de ancho, y una puerta para peatones. El acceso a la subestación se hará por un camino de acceso directo a la carretera.

1.10.5 Edificio de control

El edificio de control tendrá unas dimensiones de 13x23 metros. Se tendrá en cuenta la ventilación, climatización e iluminación del edificio. Contará con las siguientes salas:

- Sala de control
- Sala de servicios auxiliares
- Sala de telecom
- Almacén
- Sala de reunión
- Despacho
- Comedor
- WC

1.10.6 Casetas de relés

El parque contará con 2 casetas de relés prefabricadas. En ellas, se ubicarán los batidores de relés, los equipos de protección y los cuadros de servicios auxiliares adecuados. Al igual que en el edificio de control, se tendrá en cuenta la ventilación, climatización e iluminación de la misma.

1.10.7 Cerramiento

Todo el terreno contará con un vallado metálico de acero galvanizado. La altura mínima es de 2,2 metros según la ITC-RAT 15. En la zona exterior del vallado se deben disponer carteles advirtiendo a cualquier persona ajena que se trata de una instalación eléctrica de alta tensión.

1.11. Iluminación

1.11.1 Calles y posiciones

El alumbrado de las calles y posiciones por norma debe cumplir que se puedan obtener 50 lux en toda la intemperie del parque. Esto se conseguirá con proyectores orientables dispuestos a menos de 3 m de altura.

1.11.2 Vías de servicio

En los caminos o carreteras internas dentro de la subestación por donde vayan a circular vehículos o personal se instalarán báculos a 3 metros de altura para poder tener un nivel de iluminación de 5 lux. En este caso es necesario contar con luces de emergencia constituidos por grupos autónomos de una hora de duración.

1.11.3 Edificio de comando y casetas de relés

Dependiendo de la sala se contará con un nivel de iluminación distinto. En la sala de servicios auxiliares y casetas de relés será de 300 lux, mientras que en las salas de control y de telecomunicaciones será de 500 lux.

Las zonas de tránsito y de salida también deben contar con un alumbrado de emergencia también constituido por grupos autónomos con autonomía de 1 hora.

1.12. Sistema contra incendios

Se ubicarán detectores de incendios en todos los edificios y casetas. Y se dispondrá de extintores la cantidad suficiente. Los extintores deberán situarse en lugares de fácil acceso.

***C*apítulo 2. CÁLCULOS**

2.1 Objeto

El objeto de este documento es justificar, desde el punto de vista técnico, las soluciones adoptadas en la subestación para los elementos más críticos de la configuración adoptada y, asimismo, para permitir la entrada y salida de la línea en la subestación.

Este documento incluye la justificación de los siguientes elementos:

- Cálculo mecánico de embarrados rígidos.
- Determinación de efecto corona.
- Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados tendidos.
- Red de tierras inferiores.
- Red de tierras superiores.

Cada apartado contiene la normativa aplicable en cada caso, las hipótesis de diseño, los cálculos justificativos, criterios de validación y conclusiones.

2.2 Cálculo mecánico de embarrados rígidos

2.2.1 Hipótesis de diseño

La corriente de cortocircuito trifásica prevista en el horizonte para el parque de 220 KV es de 40 kA. Para permitir evoluciones futuras del sistema eléctrico sin impacto en la nueva subestación, se adoptan los siguientes valores de diseño:

- I_{cc3} (simétrica) = 40 kA
- R/X (sistema) = 0,07
- Duración del cortocircuito; 0,5 s.

Conductor rígido

Se van a realizar interconexiones con dos tipos de tubos de aluminio:

- A) Tubo de diámetro 150/134 mm en barras principales
- B) Tubo de diámetro 100/88 mm en embarrados bajos

Condiciones del vano

La geometría y condiciones de anclaje en los extremos de los vanos considerados como más desfavorables son las siguientes:

- Vano A:

Barras principales con las siguientes condiciones:

- Longitud de vano: 13,5 m
- Distancia entre fases: 3,5 m
- Anclajes: Fijo – Elástico

- Vano B:

Conexión entre aisladores soporte con las siguientes condiciones:

- Longitud de vano: 7 m
- Distancia entre fases: 4 m
- Anclajes: Fijo – Elástico

2.2.2 Condiciones de la instalación

La subestación se encuentra en una parcela a más de 500 m pero inferior a 1.000 m sobre el nivel del mar (Zona B según RLAT). Por lo tanto, se consideran las siguientes condiciones climatológicas:

- Hielo: Manguito de 180 vd g/m (con d en mm)
- Viento: Presión de viento a 140 km/h = 95,3 DaN/m

2.2.3 Normativa aplicable

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.
- Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.
- Norma CEI 865 de 1986, "Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito".
- Norma UNE EN 60865-1, "Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo".
- Norma CEI 909-1988, "Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica".
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

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

2.2.4 Características de los materiales/equipos a instalar

Tubo 150/134 (Para embarrado principal):

Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	150/134 mm
Espesor de la pared (e)	8 mm
Peso propio unitario (Ppt)	9,64 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a _R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	902 cm ⁴
Momento resistente (W)	120 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R _{p02})	160 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m ^o C
Intensidad máxima ¹	3.250 A

Tabla 17. Características Tubo 150/134

Tubo 100/88 (Para embarrado secundario):

Aleación	E-ALMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) interior (d)	100/88 mm
Espesor de la pared (e)	6 mm
Peso propio unitario (Ppt)	4,78 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	197 cm ⁴
Momento resistente (W)	39 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2)	160 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m ^o C
Intensidad máxima ¹	2.040 A

Tabla 18. Características Tubo 100/88

2.2.5 Características de los aisladores soporte

En los tramos del vano A, correspondientes a las barras principales, se instalan aisladores C10-1050, de las siguientes características mecánicas:

Carga de rotura a flexión	10.000 N
Carga de rotura a torsión	4.000 N
Altura del aislador	2.300 mm
Altura de la pieza soporte	170 mm

Tabla 19. Características de los aisladores de soporte tipo 1

En los tramos del vano B, correspondientes a las barras secundarias, se instalan aisladores C6-1050, de las siguientes características mecánicas:

Carga de rotura a flexión	6.000 N
Carga de rotura a torsión	3.000 N
Altura del aislador	2.300 mm
Altura de la pieza soporte	140 mm

Tabla 20. Características de los aisladores de soporte tipo 2

2.2.6 Cálculo mecánico del embarrado principal

Corriente de cortocircuito:

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico (I_{cc}) a efectos de diseño es de 40 kA en el parque 220kV.

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

$$I_p = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc} = 102,6 \text{ kA}$$

con:

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{\frac{-3R}{X}} = 1,814 \text{ kA}$$

Siendo:

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

Tensión en el tubo:

- Esfuerzos por viento:

$$F_v = 953 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 142,9 \text{ N/m}$$

- Esfuerzos por peso propio:

- Peso del tubo: $F_{pp} = 94,43 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

- Peso del cable amortiguador: $F_{ca} = \frac{4}{3} * 15,69 = 20,92 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

- Peso total: $F_t = 94,43 + 20,9 = 115,35 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

- Esfuerzos por hielo:

$$F_h = 0,18 * g * \sqrt{d_{ext}} = 0,18 * 9,81 * \sqrt{150} = 21,62 \text{ N/m}$$

- Esfuerzos por cortocircuito:

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

$$F_s = 0,866 * \frac{\mu_0 * I_p^2}{2 * \pi * a} = 521 \text{ N/m}$$

Siendo:

- I_p = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico
- μ_0 = permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$).
- a = Distancia media entre fases

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

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

V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche

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

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

Siendo:

- I = inercia de la sección del tubo
- m = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador
- E = Módulo de Young del material
- l = longitud del vano
- γ = coeficiente del tubo y los apoyos: 1,57 en este caso.

Sustituyendo y operando:

$$f_c = 1,99 \text{ Hz}$$

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema establece los valores de $V\sigma$ y V_r :

$$f_c/50 = 0,040$$

En estas condiciones:

$$V\sigma = 0,305$$

$$V_r = 1,8$$

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

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

Siendo:

- $\beta = 1$ S/CEI 865
- $Z =$ Módulo resistente de la sección del tubo

Así:

$$\sigma_m = 54,24 \text{ N/mm}^2$$

- La tensión de trabajo total en el tubo vendrá dada por la suma geométrica de las tensiones producidas por los distintos esfuerzos, que se acumulan, en sus direcciones respectivas, a la calculada de cortocircuito. En este caso, y considerando todas las cargas uniformemente repartidas:

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

Donde:

- $l =$ longitud del vano
- $z =$ módulo resistente de la sección
- $P =$ carga repartida que produce el esfuerzo

Entonces:

Por viento:
$$\sigma_v = \frac{1}{8} \times \frac{142,9 \times 13,5^2}{120,32} = 27,06 \text{ N/mm}^2$$

Por peso propio:
$$\sigma_p = \frac{1}{8} \times \frac{115,34 \times 13,5^2}{120,32} = 21,84 \text{ N/mm}^2$$

Por hielo:
$$\sigma_h = \frac{1}{8} \times \frac{21,62 \times 13,5^2}{120,32} = 4,09 \text{ N/mm}^2$$

La tensión máxima vale:

$$\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 85,34 \text{ N/mm}^2$$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia vale:

$$\text{Coeficiente de seguridad} = 160/\sigma_{to} = 1,874$$

- En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma CEI 865 establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumple que:

$$\sigma_{to} \leq q \times R_{p0,2}$$

Donde q = factor de resistencia del conductor, que vale 1,344 para el tubo de diámetro 150/134, y Rp0,2 = 160 N/mm².

De esta forma se debe verificar: $\sigma_{to} \leq 1,344 * 160 = 215,04 \text{ N/mm}^2$

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

Reacciones sobre aisladores soporte:

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según CEI 865. Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Y son:

- Viento sobre el tubo:

$$Fv = 953 * 100 (\text{\O tubo mm}) * 10^{-3} = 95,3 \text{ N/m}$$

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

$$F_{da} = F_s * Vf * Vr = 0,866 * \frac{\mu_o * I_{p3}^2}{2 * \pi * a} * Vf * Vr = 428,41 \text{ N/m}$$

Siendo Vf = factor de carga, dependiente de la relación fc/50=0,098, que es 0,58.

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

$$F_t = 2 * (F_v + F_{da}) * l * = 3.665,9 N \quad (\text{siendo } = 0,5)$$

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 140 mm por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto:

$$F'_t = F_t * \frac{2300 (\text{altura aislador}) + 140 (\text{pieza})}{2300 (\text{altura aislador})} = 3.889 N$$

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

$$\frac{\text{Carga rotura flexión aislador}}{F'_t} = \frac{6000}{F'_t} = 1,542$$

Flecha en el tubo:

La flecha máxima para un vano se obtiene de la expresión:

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

Donde:

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

La carga a considerar en este caso es el peso propio del tubo, más el cable amortiguador y el manguito de hielo. Sustituyendo, para el tubo 100/88 mm: $f = 1,3$

Elongación del embarrado:

El tubo que forma el embarrado, por efectos térmicos se dilatará, de acuerdo con la expresión:

$$\Delta I = I_o * \alpha * \Delta\theta$$

Donde:

- I_o = longitud inicial de l tubo
- α = coeficiente de dilatación lineal del tubo = 0,023 mm/m°C
- $\Delta\theta$ = incremento de temperatura entre la de montaje (35º) y la de servicio (80º)

En estas condiciones,

$$\Delta I = 7 * 0,023 * 45 = 7,2 \text{ mm}$$

Dada la elongación del vano se instalarán piezas especiales que permitan absorber esta dilatación.

Esfuerzo térmico en cortocircuito

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

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

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

Sutituyendo:

$$I_{\theta} = 36,9 \text{ kA}$$

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ de 116 A/mm² (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica es:

$$S * \rho = 1.772 * 166 = 205,5 \text{ kA}$$

muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

Intensidad nominal de las barras:

La intensidad nominal teórica del tubo elegido, según fabricante es de 2.040 A con 30 °C de temperatura ambiente y 65 °C de temperatura de trabajo del tubo.

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

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

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

Según la citada norma:

$$I_{max} = I_n * k1 * k2 * k3 * k4$$

Así,

$$I_{max} = 2.311,5 A$$

equivalentes con 881 MVA, potencia muy superior a la necesaria.

2.3 Cálculo de efecto corona

2.3.1 Cálculo de la tensión disruptiva

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

$$U_c = m_o * \delta * E_{of} * R * \ln \left(\frac{D}{R} \right)$$

Donde:

- m_o = coeficiente de irregularidad del conductor que toma el valor de 1 para tubo cilíndrico y liso.
- R = radio exterior del tubo en cm
- D = distancia media geométrica entre conductores en cm.

$$D = \sqrt[3]{X * X * 2X} = \sqrt[3]{2X} = 1,26 * X \text{ cm}$$

Embarrado principal A: $D = 1,26 * 350 = 441 \text{ cm}$

Embarrado secundario B: $D = 1,26 * 400 = 504 \text{ cm}$

δ = densidad del aire. La densidad del aire viene de la expresión:

$$\delta = 3,92 * \frac{H}{273} + \varnothing$$

donde H es la presión atmosférica en cm de mercurio y \varnothing es la temperatura del aire (en nuestro caso 45°C para las condiciones más desfavorables). La subestación de 220 KV se encuentra a una altura sobre el nivel del mar inferior a 1000 mts, por lo que se consideran 760 mm Hg de presión. Sustituyendo se obtiene:

$$\delta = 0,937$$

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

$$E_o = 30 * \delta * \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{R * \delta}}\right) \text{KV/cm}$$

Sustituyendo obtenemos un valor máximo de campo de:

Embarrado principal A: $E_o = 31,30 \text{ kV/cm}$

Embarrado secundario B: $E_o = 32,02 \text{ kV/cm}$

En valor eficaz tendremos:

Embarrado principal A: $E_{of} = \frac{E_o}{\sqrt{2}} = 22,13 \text{ kV/cm}$

Embarrado secundario B: $E_{of} = \frac{E_o}{\sqrt{2}} = 22,64 \text{ kV/cm}$

Sustituyendo valores en la expresión anterior se obtiene:

Embarrado A: $U_c = 1 * 0,937 * 22,13 * 7,5 * \ln(441/7,5) = 507 \text{ kV}$

Embarrado B: $U_c = 1 * 0,937 * 22,64 * 5 * \ln(504/5) = 489 \text{ kV}$

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

Embarrado A: $U_c = 507 * 0,8 = 406 \text{ kV}$

Embarrado B: $U_c = 489 * 0,8 = 391 \text{ kV}$

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

Como se ve los valores obtenidos están muy alejados de la tensión eficaz entre fase y tierra de los conductores (142 kV) por lo que no es de esperar que el efecto corona se produzca.

2.4 Determinación de distancias mínimas en embarrados tendidos

2.4.1 Hipótesis de diseño

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

Longitud del vano	$L = 45 \text{ m}$
Flecha máxima	3% (1,2 m)
Tipo de conductor	Dúplex RAIL (ns = 2)
Diámetro del conductor	$\phi = 29,61 \text{ mm}$
Sección del conductor	$A_s = 516,8 \text{ mm}^2$
Peso propio del conductor	$m_s = 1,6 \text{ kg/m}$
Módulo de elasticidad	$E = 61.000 \text{ N/mm}^2$
Distancia entre fases	$a = 4 \text{ m}$
Longitud media de cadenas	4 m
Separación entre conductores de la misma fase	0,40 m
Rigidez de los soportes	$S = 7,5 * 10^4 \text{ N/m}$
Tiempo de despeje de defecto	$T_{k1} = 0,5 \text{ seg}$
Intensidad de cortocircuito	$I_{k3} = 40 \text{ kA}$
Relación R/X del sistema	$R/X = 0,07$
Tensión máxima	676 kg a 50 °C (6.624,8 N)

Tabla 21. Características vano

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

2.4.2 Normativa aplicable

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.
- Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.
- Reglamento técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (RLAT).- Real Decreto 3151/68 de 28 de noviembre de 1968, y modificaciones posteriores.
- Norma CEI 865 de 1986, "Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito".
- Norma UNE EN 60865-1, "Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo".
- Norma CEI 909-1988, "Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica".
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670

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

2.4.3 Desplazamiento del vano con el viento

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

$$F_v = 68 * 0,02961 = 2,01 \text{ kg/m (a cada conductor Rail)}$$

y el desplazamiento máximo del conductor será:

$$\theta = \arctg \frac{F_v}{P} d_{max} = f_{max} * \text{sen}(\theta)$$

$$= \arctang (2,01/1,6) \sim 51,4^\circ$$

$$d_{max} = 1,2 \cdot \sen 51,4^\circ = 0,94 \text{ m}$$

En estas condiciones, dada la escasa probabilidad de simultaneidad de viento y sobretensión, la distancia de aislamiento fase - fase para conductores paralelos ya establecida en 2,1 m se puede reducir en un 25 %, por lo que la separación mínima entre conductores en reposo para que sea respetada dicha distancia eléctrica entre fases para los conductores extremos deberá ser de:

$$D_{mín} = (0,75 \cdot 2,1) + 2 \cdot 0,94 + 0,4 = 3,85 \text{ m}$$

Distancia inferior a la adoptada que es de 4 m para los conductores tendidos, superior incluso a la distancia teniendo en cuenta sobretensiones simultáneas con viento.

2.4.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito

Dimensiones y parámetros característicos:

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

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

Donde:

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

En este caso,

$$F' = 27,75 \text{ N/m}$$

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

$$r = \frac{F'}{n \times m_s \times g}$$

Donde:

- n: número de conductores por fase
- ms: peso de uno de los conductores
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

que, en este caso,

$$r = 27,75 / (2 * 1,6 * 9,81) = 0,88$$

La dirección resultante de la fuerza será

$$1 = \arctg(r) = 41,48^\circ$$

La flecha estática en el conductor tendido vale:

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

Donde:

- F_{st} es la fuerza de tracción estática del conductor para el caso más desfavorable, que será el de flecha máxima para 50°C.

Sustituyendo y operando,

$$b_c = 1,2 \text{ m}$$

Para esta flecha, el período de oscilación vale:

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

Con lo que sustituyendo resulta:

$$T = 1,97 \text{ s}$$

El período resultante en caso de cortocircuito vale:

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

Sustituyendo y resolviendo:

$$T_{res} = 1,76 \text{ s}$$

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

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

Donde:

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

En este caso, $F_{st}/nA_s < \sigma_{fin}$, con lo que:

$$E = 2,68 \cdot 10^{10} \text{ N/m}$$

El factor de carga del conductor vale:

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

Donde:

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

Con lo que:

$$N = 3,32 \cdot 10^{-7}$$

$$\xi = 0,86$$

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

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

En este caso:

$$T_{k1}/T_{res} = 0,28 < 0,5$$

con lo que:

$$\delta_k = 50,35^\circ$$

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

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

Con:

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

En este caso:

$$\delta_k = 50,35 < 90^\circ$$

con lo que:

$$\chi = 0,32$$

$$\delta_m = 81,38^\circ$$

Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito:

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

$$Ft = 1,1 Fst (1 + \psi\phi)$$

Donde:

- Fst : es la fuerza estática en el conductor.
- ϕ : es el parámetro de carga, que tiene en cuenta el esfuerzo combinado de peso y cortocircuito en función del tiempo de despeje frente al período de oscilación del conductor, y vale:

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

- ψ es un parámetro que combina los dos factores de carga, ζ y ϕ , y que se calcula como una solución real de la ecuación:

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

Los resultados de las soluciones reales a esta ecuación, en función de los parámetros ζ y ϕ , se encuentran tabulados en la figura 7 de la Norma CEI 865-1.

En este caso, como:

$$T_{k1} = 0,5 > T_{res}/4 = 0,070$$

$$\phi = 1,00$$

Y con $\phi = 1,00$, y $\xi = 0,86$, ψ (de acuerdo con la figura citada) = 0,56

En estas condiciones:

$$Ft = 1,1 \cdot 6.624,8 \cdot (1 + 1,00 \cdot 0,56) = 11.400 \text{ N}$$

2.4.5 Aproximación de conductores

El valor del desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito:

$$bh = CF * CD * bC \text{ sen } \delta 1 \quad \text{si } \delta m \geq \delta 1$$

$$bh = CF * CD * bC \text{ sen } \delta m \quad \text{si } \delta m < \delta 1$$

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

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

En este caso, con:

$$r = 0,88$$

$$C_f = 1,06$$

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

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

La deformación elástica viene dada por:

$$\varepsilon_{ela} = (Ft - Fst) N$$

y la deformación térmica:

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

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

$$\frac{\text{Sección Al}}{\text{Sección acero}} > 6$$

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

$$\epsilon_{ela} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\epsilon_{th} = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

y así, $C_d = 1,37$

como $\delta m = 81,38 > 41,48$

$$bh = 1,06 \cdot 1,37 \cdot 1,2 \cdot \text{sen } 41,48^\circ = 1,15 \text{ m}$$

2.4.6 Distancia mínima

Distancia mínima entre conductores en cortocircuito:

$$D = a - bh * 2 - 0,4 = 4 - 2 \cdot 1,15 - 0,4 = 1,29 \text{ m}$$

Es por lo tanto apropiada la dimensión de 13,5 m de anchura de calle y la de separación entre conductores, 4 m, para cumplir los requisitos de aislamiento permanente y temporal, en los casos más desfavorables y para la configuración propuesta, dado que estamos muy por encima de los 1,10 m de distancia de aislamiento temporal recomendada por la CIGRE.

2.4.7 Distancias mínimas a adoptar

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

DISTANCIAS FASE TIERRA	2,10 m
DISTANCIAS FASE-FASE	2,10 m

2.5 Red de tierras inferiores

2.5.1 Criterios de cálculo

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

VALOR DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO:

Se considera como valor de la resistividad del terreno, a efectos de cálculo, $200\Omega\cdot m$. Debido a que el terreno incluye formaciones de calizas, arcillas y materiales sedimentarios.

TENSIONES DE PASO Y CONTACTO MÁXIMAS ADMISIBLES:

Los datos utilizados para el cálculo de la red de tierras para la subestación de 220 KV son:

- Tiempo de despeje de la falta (t): 0,5 s.
- Intensidad de falta monofásica a tierra: 2,95 kA.
- Resistividad de la capa superficial (grava) (ρ_s): $3000\Omega\cdot m$.

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

- Tensión de paso:
$$V_p = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{6\rho_s}{1000} \right) = 27360 V$$
- Tensión de contacto:
$$V_p = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1,5\rho_s}{1000} \right) = 792 V$$

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

- Tensión de paso:
$$E_{\text{step}} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$
- Tensión de contacto:
$$E_{\text{touch}} = (1000 + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

Siendo C_s el factor de reducción siguiente:

$$C_s = 1 - \left(\frac{0,09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 \cdot h_s + 0,09} \right)$$

Donde:

- ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) = 200 $\Omega \cdot m$
- ρ_s : resistividad de la gravilla ($\Omega \cdot m$) = 3.000 $\Omega \cdot m$
- h_s : espesor capa de gravilla (m) = 0,1 m

Con lo que:

$$C_s = 1 - \frac{0,084}{0,29} = 0,7103$$

$$Tensión\ de\ paso = 13.785,4 \cdot 0,164 = 2.261,2\ V$$

$$Tensión\ de\ contacto = 4.196,35 \cdot 0,164 = 687,6\ V$$

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

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

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

Y obtenemos:

$$R_g = 0,86\ \text{ohmios}$$

donde:

- ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) = 200 $\Omega \cdot m$
- L: Longitud total de conductor enterrado (m) = 2,280 m + 2,320 m = 4.600 m
Líneas horizontales: 116 / 5 \approx 23 \rightarrow 24 líneas x 95 = 2.280 m
Líneas verticales: 95 / 5 = 19 espacios \rightarrow 20 líneas x 116 = 2.320 m
- h: Profundidad de enterramiento del conductor (m) = 0.6 m
- A: Superficie ocupada por la malla (m^2) = 10.886 m^2

Se ha considerado la malla compuesta por cable de Cu de 120 mm² con un diámetro de 0,014 m.

INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA:

El valor tomado de la intensidad monofásica de cortocircuito para la subestación es de 40 kA.

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

Dado que en la subestación se adopta un 100 % de contribución remota y 0% local, usamos el método gráfico mostrado a continuación:

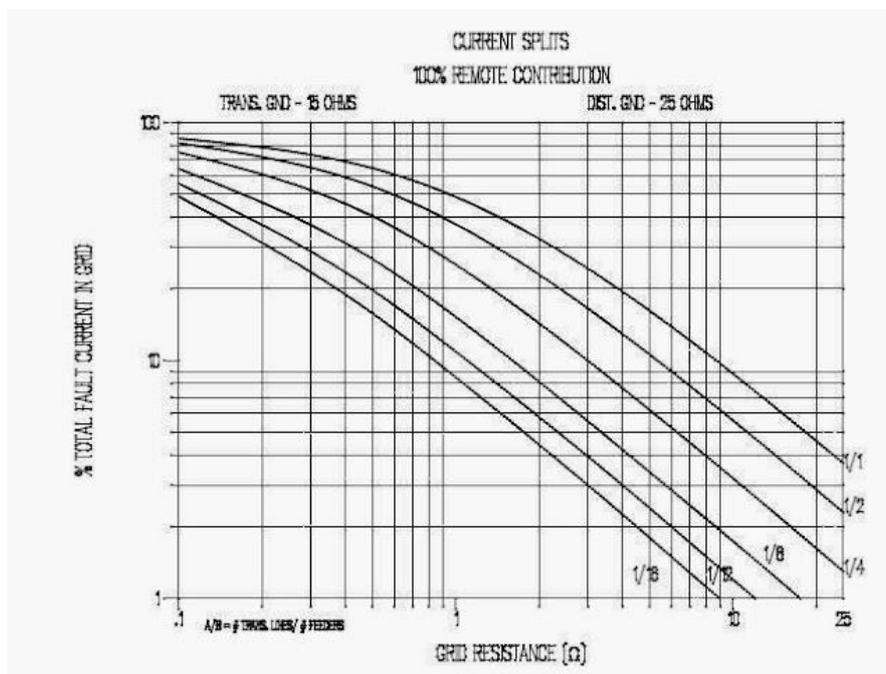


Tabla 22. Curva para aproximar el factor Sf

Para determinar esta reducción se utiliza el gráfico anterior, partiendo de la resistencia de puesta a tierra (Rg) y el número de líneas de transmisión y de distribución.

Como la resistencia de puesta a tierra es de 0.86 Ω, el factor que resulta es del 20%, si consideramos una resistencia a tierra de la línea de 15 Ω (valor más habitual).

Por lo tanto, la Intensidad total disipada a tierra por la malla será:

$$I_g = I_{cc} \cdot 0,7 \cdot \frac{Sf}{100} = 20 \cdot 0,7 \cdot \frac{20}{100} = 2.8 \text{ kA}$$

EVALUACIÓN DE TENSIONES DE PASO Y CONTACTO:

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

Los datos iniciales utilizados para el cálculo han sido:

- Resistividad del terreno (ρ) = 200 $\Omega \cdot m$
- Espaciado medio entre conductores (D) = 5 m
- Profundidad del conductor enterrado (h) = 0,6 m
- Diámetro del conductor (120mm²) (d) = 0,014 m
- Longitud del conductor enterrado (L) = 4.600 m
- Intensidad de defecto (I_g) = 2,8 kA

Y siendo:

- L_c = longitud del conductor de la malla = 4.600 m
- L_p = longitud del perímetro de la malla = (116x2)+(95x2)=422 m
- L_x = longitud máxima de la malla en la dirección x = 95 m
- L_y = longitud máxima de la malla en la dirección y = 116 m
- D_m = máxima distancia entre dos puntos en la malla = 150 m

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

$$Kh = \sqrt{1 + h} = 1.265$$

$$na = 2 \cdot \frac{L_c}{L_p} = 21,80$$

$$nb = \sqrt{\frac{Lp}{4 \cdot \sqrt{A}}} = 1,002$$

$$nc = \left(\frac{Lx \cdot Ly}{A}\right)^{\frac{0,7 \cdot A}{Lx \cdot Ly}} = 1$$

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

$$n = na \cdot nb \cdot nc \cdot nd = 21,86$$

$$Ki = 0,644 + 0,148 \cdot n = 3,88$$

$$Kii = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} = 0,708$$

$$Km = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16h \cdot d} + \frac{(D + 2h)^2}{8D \cdot d} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{Kii}{Kh} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n - 1)} \right) \right] = 0,624$$

$$Ks = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] = 0,386$$

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

$$E_{contacto} = \rho \cdot Km \cdot Ki \cdot \frac{Ig}{L} = 294,6 V$$

Y la fórmula que permite obtener la tensión de paso:

$$E_{paso} = \rho \cdot Ks \cdot Ki \cdot \frac{Ig}{L} = 182,21 V$$

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

CONDUCTOR

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

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

$$A = 12,839 \text{ mm}^2$$

donde:

- I: Mitad de la intensidad de falta a tierra = 1,475 kA
- t_c : Tiempo máximo de falta = 0,5 s
- T_m : Temp. máxima que pueden alcanzar el conductor y las uniones = 300 °C
- T_a : Temperatura ambiente = 40 °C
- TCAP: Capacidad Térmica del conductor 3,42 J/cm³·°C (Ver tabla 1 de IEEE-80-2000)
- α_r : coeficiente térmico de resistividad a 20 °C, 0,00381 1/°C (Ver tabla 1 de IEEE-80 2000)
- ρ_r : resistencia del conductor a 20 °C; 1,78 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ (Ver tabla 1 de IEEE-80-2000)
- K_o : inversa del coef. Térmico de resistividad a 0 °C. 242 (Ver tabla 1 de IEEE-80- 2000)

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

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

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

Este valor es mucho mayor que la mitad de la corriente de falta a tierra, que era de 1,475 kA. Se utiliza la mitad del valor, ya que el diseño de la malla se establece de forma que en cada punto de p. a t. llegan al menos dos conductores.

2.5.2 Conclusiones

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

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

2.6 Red de tierras superiores

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

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

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

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

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

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

$$r = 8 x I^{0,65}$$

en donde:

$$I = 1,1 * U * N / Z$$

siendo:

- U = tensión soportada a impulsos tipo rayo = 1050 kV

- N = número de líneas conectadas a la subestación = 4
- Z = Impedancia característica de las líneas = 400Ω (valor típico)

Sustituyendo y aplicando estos valores se obtiene:

$$I = 1,1 \cdot 1050 \cdot 4/400 = 11,55 \text{ kA}$$

Luego la zona de captura será:

$$r = 8 \times 11,55^{0,65} = 39,24 \text{ m}$$

El radio crítico de 45 m con centro en las puntas Franklin, en el centro en los amarres de los hilos de guarda y en su punto más bajo, cuyo emplazamiento se refleja en los planos correspondientes, garantiza el apantallamiento total de la instalación.

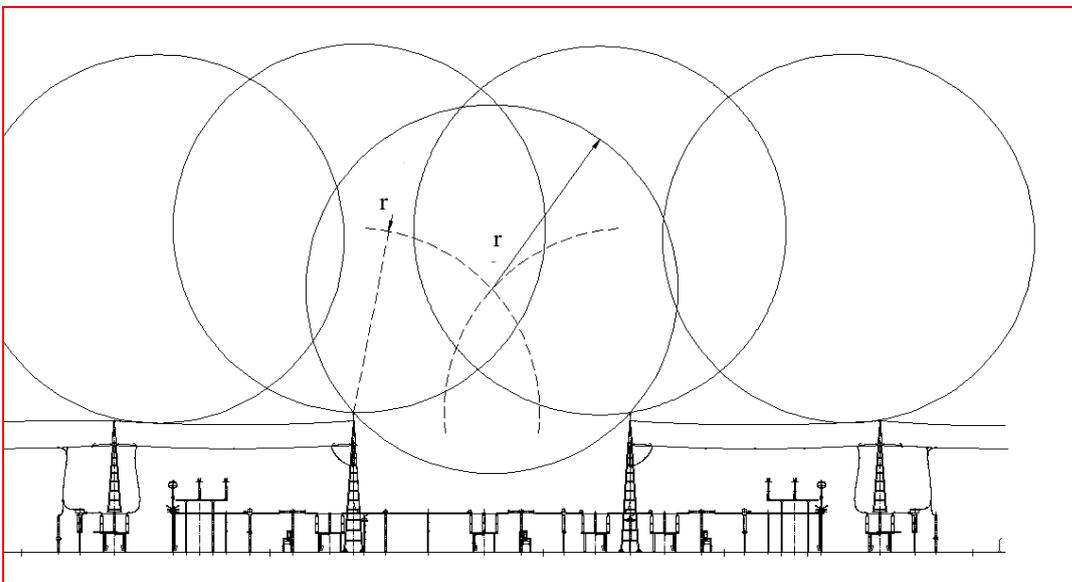


Figura 1. Alzado con los radios críticos.

Será necesaria la instalación de un sistema de protección contra el rayo cuando la frecuencia esperada de impactos N_e sea mayor que el riesgo admisible N_a .

1) La frecuencia esperada de impactos, N_e , puede determinarse mediante la expresión:

$$N_e = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} (n^{\circ} \text{ impactos/año})$$

siendo,

- Ng: densidad de impactos sobre el terreno (nº impactos/año, km²), obtenida según la siguiente figura:

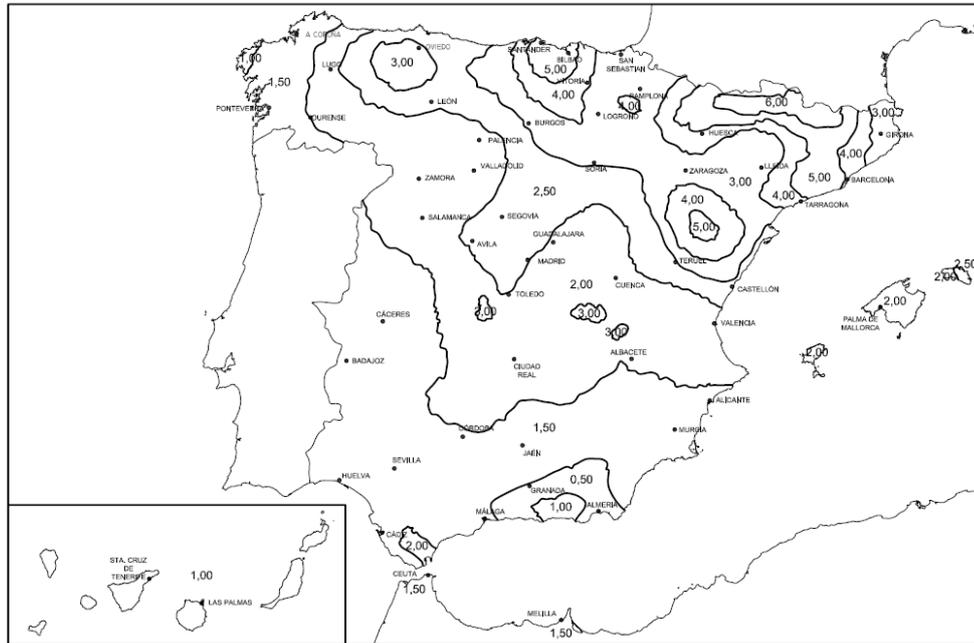


Figura 2. Mapa de densidad de impactos sobre el terreno

-Ae: superficie de captura equivalente del edificio aislado en m², que es la delimitada por una línea trazada a una distancia 3H de cada uno de los puntos del perímetro del edificio, siendo H la altura del edificio en el punto del perímetro considerado.

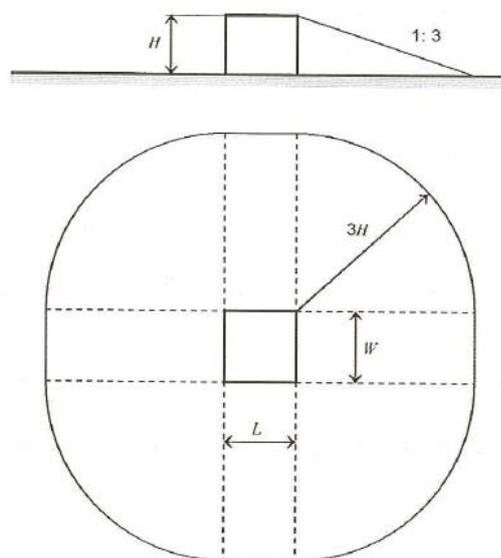


Figura 3. Superficie de captura equivalente del edificio aislado en m²

Para estructuras rectangulares sería:

$$A_e = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L+W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2 \quad (\text{s/norma UNE-EN 62305-2})$$

C1: coeficiente relacionado con el entorno, según la siguiente tabla:

Situación del edificio	C ₁
Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más altos	0,5
Rodeado de edificios más bajos	0,75
Aislado	1
Aislado sobre una colina o promontorio	2

Figura 4. Coeficiente relacionado con el entorno

2) La frecuencia admisible, N_a, puede determinarse mediante la expresión:

$$N_a = \frac{5,5}{C_2 C_3 C_4 C_5} 10^{-3}$$

siendo C₂, C₃, C₄ y C₅ unos coeficientes que dependen del tipo de construcción, contenido del edificio, uso del mismo y necesidad de la continuidad de las actividades que se desarrollen en él, respectivamente. Se obtienen de las siguientes tablas:

Coeficiente C ₂			
	Cubierta metálica	Cubierta de hormigón	Cubierta de madera
Estructura metálica	0,5	1	2
Estructura de hormigón	1	1	2,5
Estructura de madera	2	2,5	3

Coeficiente C ₃	
Edificio con contenido inflamable	3
Otros contenidos	1

Coeficiente C ₄	
Edificios no ocupados normalmente	0,5
Usos Pública Concurrencia, Sanitario, Comercial, Docente	3
Resto de edificios	1

Coeficiente C ₅	
Edificios cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible (hospitales, bomberos, ...) o pueda ocasionar un impacto ambiental grave	5
Resto de edificios	1

Figura 5. Coeficientes según tipo de construcción

Si es necesario la instalación de un sistema de protección contra el rayo, este tendrá al menos una eficiencia “E”, definida como:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e}$$

En la siguiente tabla se muestra el nivel de protección correspondiente a la eficiencia requerida. Estos niveles de protección son los mencionados anteriormente de la norma UNE-EN 62305.

Eficiencia requerida	Nivel de protección
$E \geq 0,98$	I
$0,95 \leq E < 0,98$	II
$0,80 \leq E < 0,95$	III
$0 \leq E < 0,80$	IV

Figura 6. Nivel de protección

Se considera el edificio de 23x13x4 m de la subestación.

Se tiene que:

$$N_g = 0,5 \text{ (Granada)}$$

$$A_e = 23 \cdot 13 + 6 \cdot 4 \cdot (23 + 13) + 9 \cdot \pi \cdot 4^2 = 1.615,39 \text{ m}^2$$

$$C_1 = 1 \text{ (aislado)}$$

$$N_e = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} = 0,000808 \text{ impactos al año}$$

Esto significa que se espera aproximadamente 1 impacto cada 1.238 años en ese edificio.

Y la frecuencia admisible sería:

$$C_2 = 1 \text{ (estructura y cubierta de hormigón)}$$

$$C_3 = 1 \text{ (sin contenidos inflamables)}$$

$$C_4 = 0,5 \text{ (edificios poco frecuentados)}$$

$$C_5 = 5 \text{ (por seguridad del servicio)}$$

$$N_a = \frac{5,5}{C_2 C_3 C_4 C_5} 10^{-3} = \frac{5,5}{1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 5} 10^{-3} = 0,0022$$

Para este caso, en principio, habría que considerar la protección del edificio. La eficiencia del sistema de protección es:

$$E = 1 - \frac{Na}{Ne} = -1,72$$

No es necesario un sistema de gran eficiencia; se estaría en un nivel de protección IV.

Una forma de proteger este tipo de edificios sería disponer una malla captadora cubriendo la cubierta y conectada a la tierra general en varios puntos. Según la norma UNE-EN 62305-3, cuando es aceptable un daño temporal en la capa impermeable de la cubierta, esta malla captadora puede sustituirse por captadores naturales de la propia armadura del hormigón. Para ello deberá existir continuidad eléctrica entre las armaduras de los diferentes elementos de la estructura del edificio (forjados, pilares, paneles, etc.), para garantizar la conexión con la malla general enterrada de tierras, en varios puntos.

Por lo tanto, no se considera necesario el empleo de sistemas captadores específicos para la subestación, salvo asegurar la continuidad eléctrica de las armaduras de los elementos de la estructura del edificio.

*C*apítulo 3. ANEJOS

3.1 Catálogo interruptor

LTB E **SF₆ circuit-breaker with** **Auto-Puffer™ for outdoor** **installation**



Rated voltages	245 - 550 kV
Rated current	4000 A
Rated breaking current	up to 50 kA

ABB Limited



Technical Data

Values complying with IEC 62271-100 (50 Hz), other values on request.

		LTB 245E1	420E2	420E2	550E2
Number of breaks per pole		1	2	2	2
Rated voltage	kV	245	362	420	550
Power frequency withstand voltage (1 min):					
– To earth	kV	460	520	520	620
– Across open pole	kV	460	450	610	800
Lightning Impulse Withstand Level (LIWL):					
– To earth	kV	1050	1175	1425	1550
– Across open pole	kV	1050	1175(+205)	1425(+240)	1550(+315)
Switching Impulse Withstand Level (SIWL):					
– To earth	kV	-	950	1050	1175
– Across open pole	kV	-	800(+295)	900(+345)	900(+450)
Minimum creepage distance	mm/kV	25	25	25	25
Rated normal current	A	4000	4000	4000	4000
Rated breaking current	kA	40	50	50	50
First pole to clear factor		1.3	1.3	1.3	1.3
Making current / peak	kA	100	125	125	125
Duration of short-circuit	s	3	3	3	3
Closing time	ms	40	70	70	70
Opening time	ms	17±2	18±2	18±2	18±2
Total break time	ms	40	40	40	40
Dead time	ms	300	300	300	300
Rated operating sequence		O - 0.3 sec - CO - 3 min - CO Alt: CO - 15 sec - CO			

Operating mechanism

The circuit-breaker is operated by motor charged spring operating mechanism, which is installed in a compact splash-proof and corrosion resistant housing, attached to the structure.

- Three BLK 222's are used for single pole operation at 245 kV.
- One BLG 1002A is used for three pole operation at 245 kV.
- Three BLG 1002A's are used for single-pole operation at 420 kV.

Transport and erection

The LTB E circuit-breaker poles are transported as complete units filled with SF₆ gas to a slight overpressure. Circuit-breaker poles with two breaking units per phase are supplied as two separate units: breaker-head and support insulator. The circuit-breaker is routine tested in the factory.

Erection work at site can be done in less than one day.

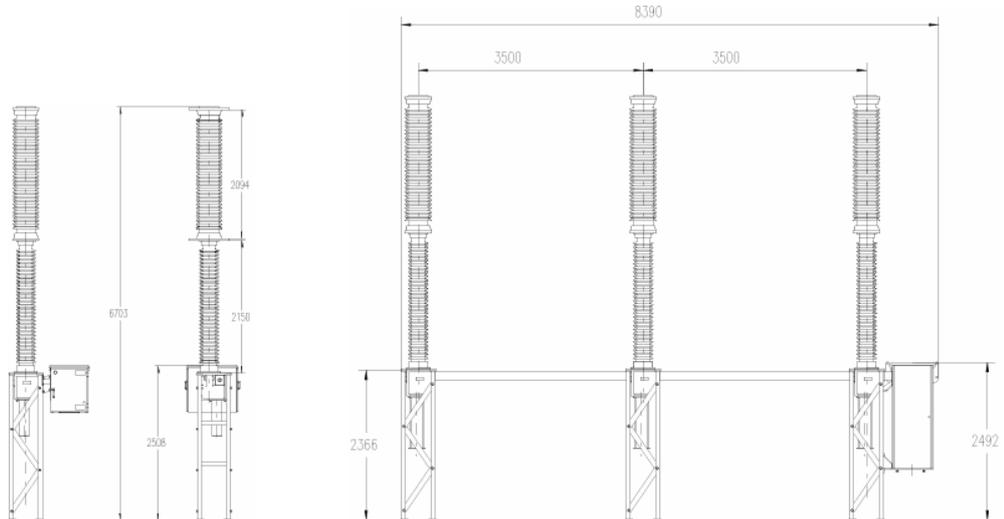
Filling of SF₆ gas to specified working pressure is done by using the following pressurizing equipment:

- One special control valve, for connection to the SF₆ gas bottle, and a gas-filled hose with connectors.
- Gas filling can be done without SF₆ gas being released into the atmosphere.
- No gas treatment is necessary before gas filling.

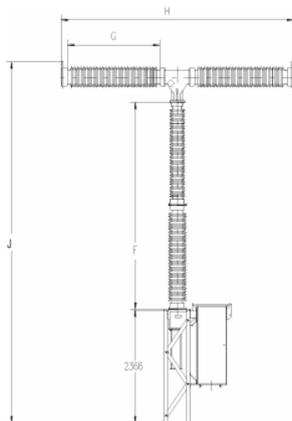
Dimensions

LTB 245E1
1-pole operation with BLK 222

LTB 245E1
3-pole operation with BLG 1002A



LTB 420 - 550E2
1-pole operation with BLG 1002A



Dimensions (mm)

Circuit breaker	F	G	H	J
Type LTB 420E2	3105	1914	4882	6541
Type LTB 550E2	4135	1914	4882	7571



PLEASE NOTE! ABB Ltd. is working to continuously improve the products. Therefore we reserve the right to change design, dimensions and data without prior notice & this document may not be considered as a contractual document.

ABB Ltd.
High Voltage Products
Maneja, Vadodara, 390013, India
Tel: +91 265 2641669
Fax: +91 265 2638918
For export enquiries E-mail: pt-exports.inabb@in.abb.com
Internet: www.abb.com

Publ 1HYB800001-048 Rev.A

3.2 Catálogo seccionador de barras

HITACHI
Inspire the Next

High-voltage products | Disconnectors

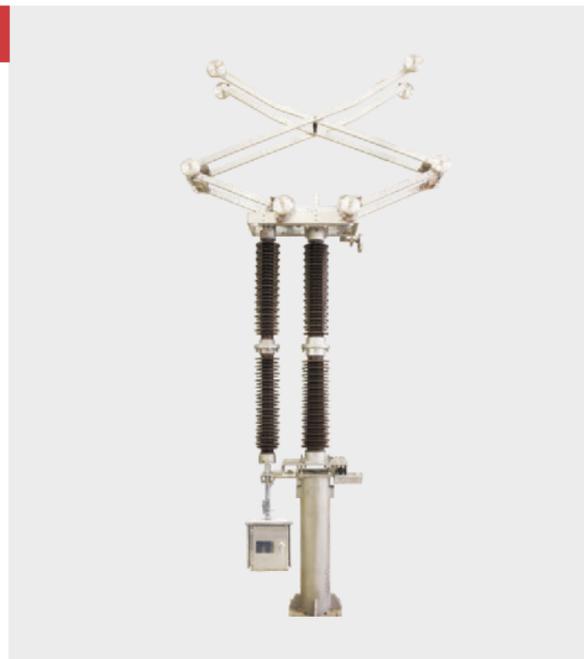
Pantograph disconnectors up to 550 kV – GW54

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

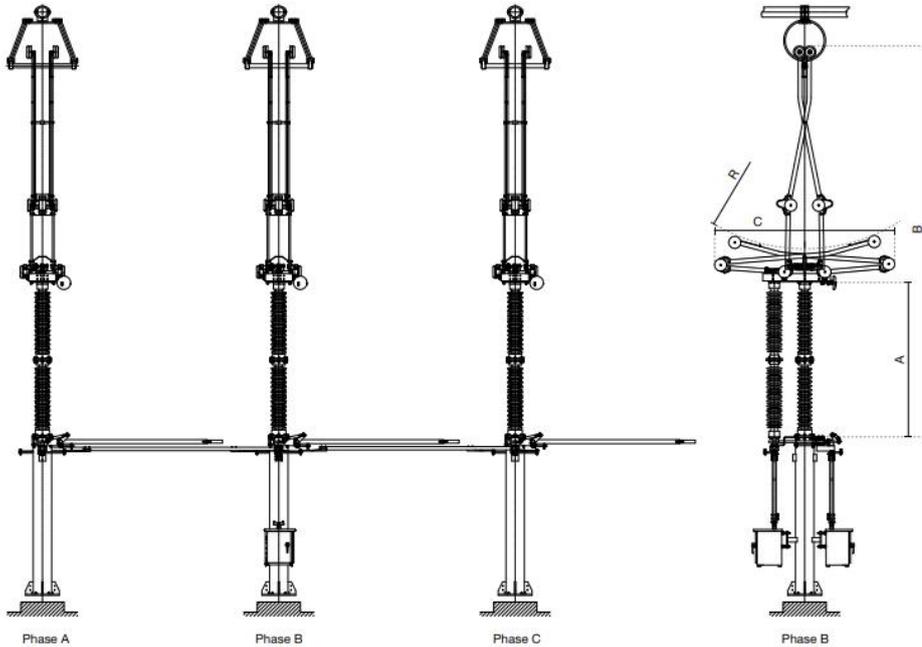
- Designed and tested in accordance with latest IEC specification
- Maintenance - free contact system to provide reliable combining forces
- Simple and reliable interlocking system
- Easy installation and commissioning
- Easy and convenient operation with motor operating device
- Remote operation possible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



Technical data – GW54

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

Other values on request



Dimensions - GW54

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

All dimensions are in mm.

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

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

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

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

3.3 Catálogo seccionador rotativo

HITACHI
Inspire the Next



Type GW56, up to 300 kV

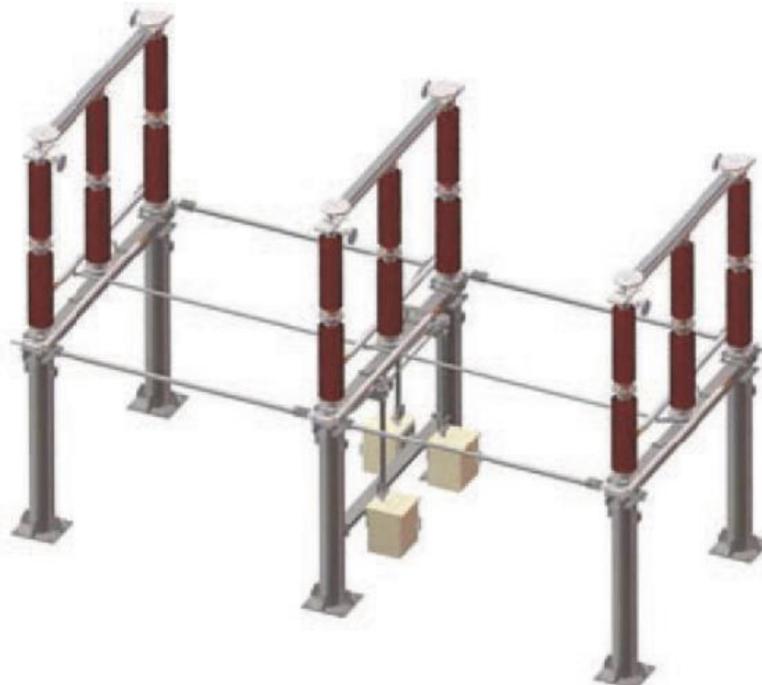
Horizontal center break disconnect

 Hitachi Energy

Technical data

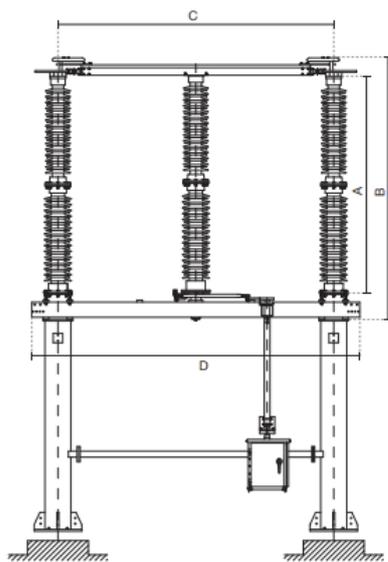
GW56

Rated voltage (U _n)	kV	72.5	123	145	170	245	300
Rated frequency (f _n)	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Rated normal current (I _n)	A	≤3150	≤3150	≤3150	≤3150	≤3150	≤4000
Rated short-withstand current, rated duration of short circuit (I _{sc} , t _{sc})	kA/s	40/3	40/3	40/3	40/3	50/3	50/3
Rated peak withstand current (I _p)	kAp	104	104	104	104	125	125
Rated power frequency withstand voltage for 1 minute							
To earth and between poles	kV	140	230	275	325	460	460
Across the isolating distance	kV	160	265	315	375	530	606
Rated lightning impulse withstand voltage (1.2/50 μs)							
To earth and between poles	kV _p	325	550	650	750	1050	1050
Across the isolating distance	kV _p	375	630	750	860	1200	1250
Rated switching impulse withstand voltage							
To earth and between poles	kV	-	-	-	-	-	850
Across the isolating distance	kV	-	-	-	-	-	700+245

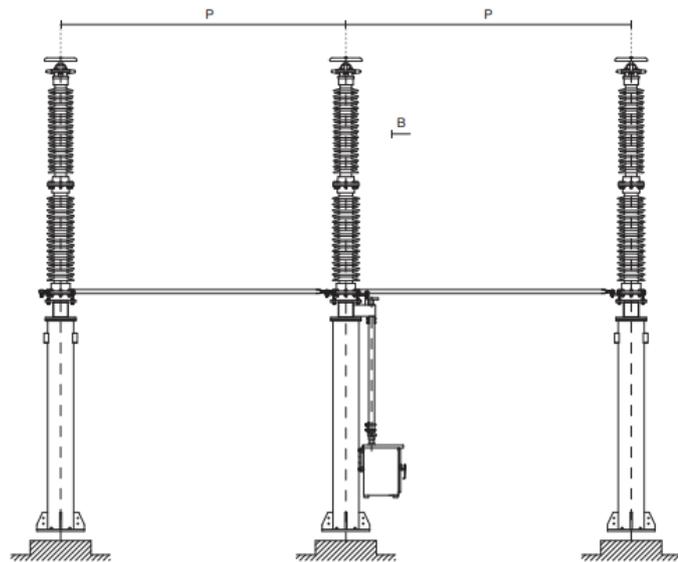


Main dimensions

GW55

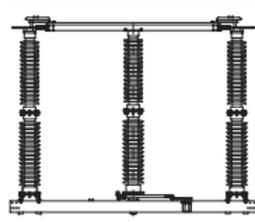


01 Front view



02 Side view

Center break disconnecter – GW56



Rated voltage (kV)	Outline dimensions (mm)				
	A	B	C	D	P
72.5	770	1106	1300	1760	Depends on the substation layout
123	1220	1513	1650	2110	
145	1500	1793	2150	2610	
170	1700	1993	2150	2610	
245	2300	2637	2900	3380	
300	2900	3237	2900	3380	

3.4 Catálogo transformador de intensidad



1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

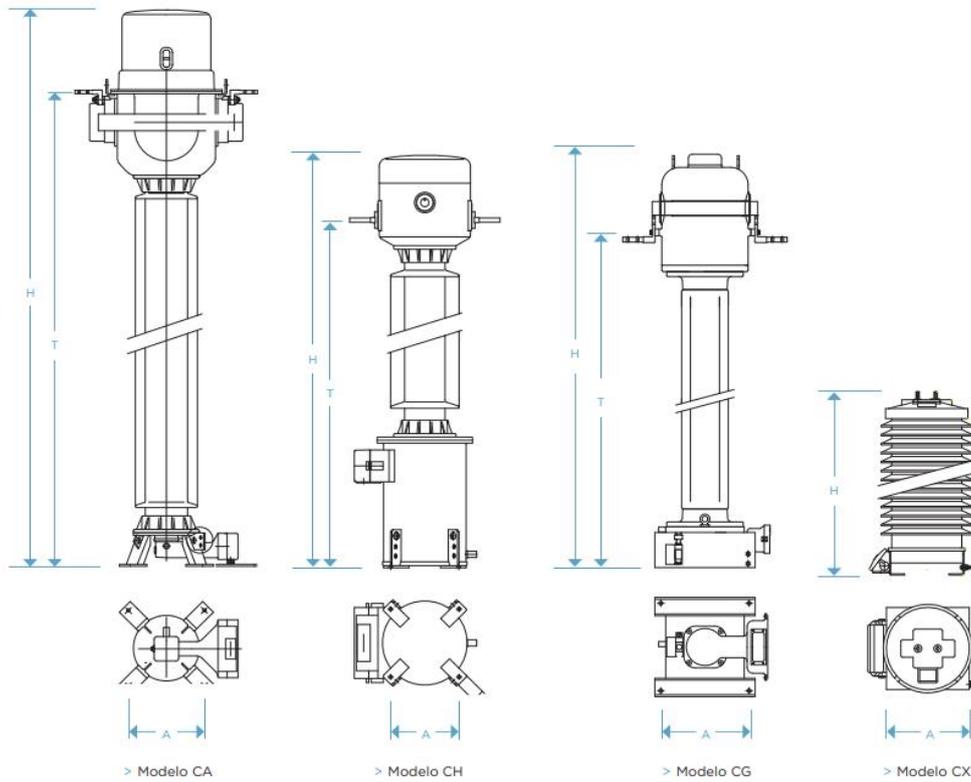
Aislamiento papel-aceite
Aislamiento gas
Aislamiento seco



› Transformadores de intensidad de 420 kV con aislamiento de silicona gris. Statnett (Noruega).



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



- > Ensayo de rutina de un CG de 145 kV.
- > Transformadores de intensidad de 36 kV. Fingrid, Kimy (Finlandia).



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

Aislamiento papel-aceite > Modelo CA									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1.185	1.625	250
CA-52	52	90	250	-	1.300	350	1.185	1.625	260
CA-72	72,5	140	325	-	1.825	350	1.335	1.775	280
CA-100	100	185	450	-	2.500	350	1.335	1.775	290
CA-123	123	230	550	-	3.075	350	1.665	2.095	300
CA-145	145	275	650	-	3.625	350	1.665	2.095	310
CA-170	170	325	750	-	4.250	350	1.895	2.335	330
CA-245	245	460	1.050	-	6.125	450	2.755	3.055	560
		395	950						
CA-300	300	460	1.050	850	7.500	450	3.170	3.580	650
CA-362	362	510	1.175	950	9.050	600	3.875	4.355	870
		630	1.425	1.050					
CA-420	420	575	1.300	1.050	10.500	600	3.875	4.355	920
		575	1.300	1.050					
CA-525	(525) 550	680	1.550	1.175	13.125	600	4.530	5.365	1.200
CA-550	(525) 550	800	1.800	1.175	13.750	600	5.205	5.960	1.700
CA-765	(765) 800	880	1.950	1.425	15.300	600	5.770	6.590	2.050
		975	2.100	1.550					

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

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

Aislamiento papel-aceite > Modelo CH									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)			A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CH-36	36	70	170		900	330	1.450	1.765	330
CH-52	52	90	250		1.300	330	1.450	1.765	330
CH-72	72,5	140	325		1.825	330	1.690	2.005	370
CH-100	100	185	450		2.500	330	1.690	2.005	380
CH-123	123	230	550		3.075	330	2.090	2.405	410
CH-145	145	275	650		3.625	330	2.250	2.565	430

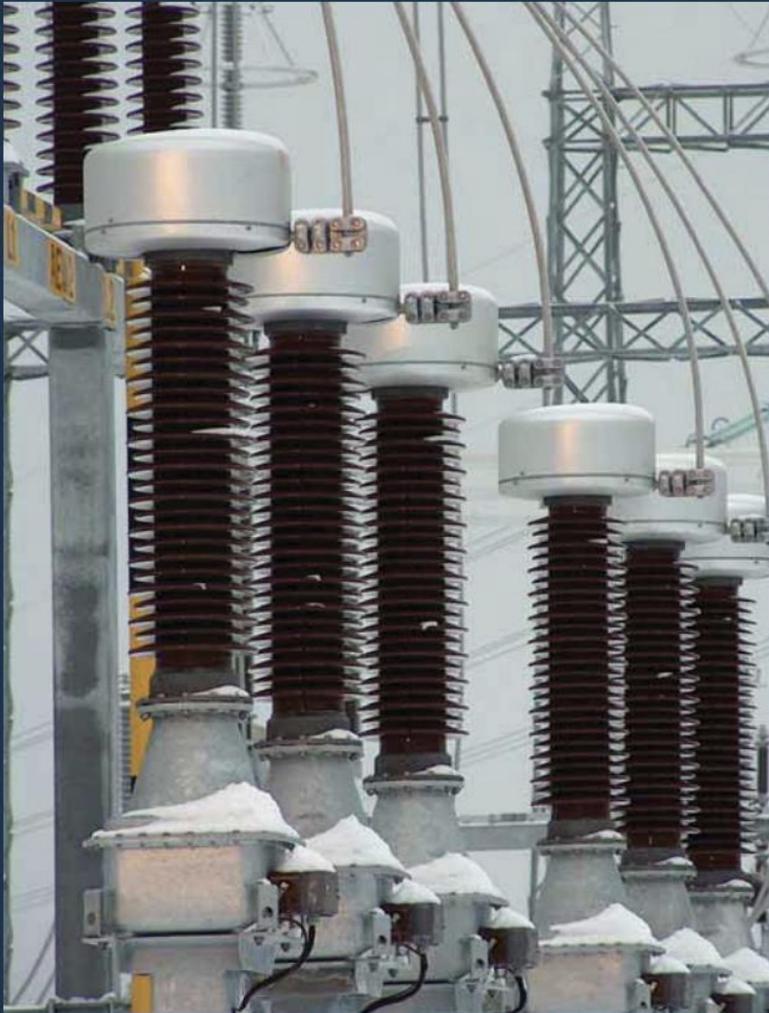
Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: desde 1 A hasta 2.000 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 48 kA.

3.5 Catálogo transformador de tensión

 arteche

2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS Aislamiento papel-aceite



› Transformadores de
tensión inductivos
de 123 kV.
Fingrid (Finlandia)



2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite

GAMA

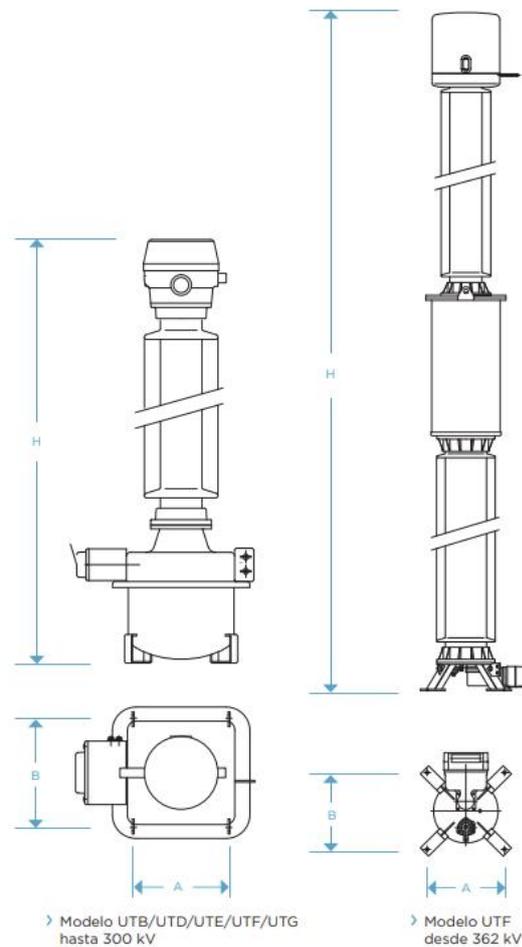
Los transformadores de tensión inductivos de ARTECHE se denominan mediante el uso de las letras (UT) seguidas de una tercera letra y de 2 ó 3 cifras que coinciden con la tensión máxima de la red para la que han sido diseñados.

Las tablas (siguiente página) muestran las gamas de ambos tipos de equipos fabricados por ARTECHE. Las características son orientativas; ARTECHE puede fabricarlos de acuerdo con cualquier norma nacional o internacional.

Clases y potencias de precisión estándar:

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

Posibilidad de clases y potencia de precisión superiores.



- › Transformadores de tensión inductivos de 123 kV. Electronet Services (Nueva Zelanda).
- › Transformadores de tensión inductivos de 420 kV. Elia (Bélgica).

2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite

Aislamiento papel-aceite > Modelo UT									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UTB-52	52	95	250	-	1.500	1.300	300x300	1.335	95
UTD-52	52	95	250	-	2.000	1.300	330x300	1.395	150
UTB-72	72,5	140	325	-	1.500	1.825	300x300	1.335	108
UTD-72	72,5	140	325	-	2.000	1.825	330x300	1.395	150
UTE-72	72,5	140	325	-	2.500	1.825	400x430	1.645	285
UTD-100	100	185	450	-	2.000	2.500	330x300	1.690	165
UTD-123	123	230	550	-	3.000	3.075	350x475	2.120	292
UTE-123	123	230	550	-	3.500	3.075	350x475	2.120	355
UTE-145	145	275	650	-	3.500	3.625	350x475	2.105	335
UTE-170	170	325	750	-	3.500	4.250	350x475	2.235	350
UTF-245	245	460	1.050	-	3.500	6.125	450x590	3.210	650
		395	950						
UTG-245	245	460	1.050	-	3.500	6.125	500x640	3.260	800
		395	950						
UTG-300	300	460	1.050	850	3.500	7.500	500x640	3.660	910
UTF-420	420	630	1.425	1.050	3.500	10.500	600x600	5.210	1.315
		575	1.300	950					
UTF-525	550(525)	680	1.550	1.175	3.500	1.3125	600x600	6.070	1.700

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

3.6 Catálogo autoválvula

Descargadores con revestimiento de silicona

PEXLIM Q

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 U_C kV _{rms}	según ANSI/IEEE MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	30/60 μ s			8/20 μ s			
						0,5 kA kV _{pico}	1 kA kV _{pico}	2 kA kV _{pico}	5 kA kV _{pico}	10 kA kV _{pico}	20 kA kV _{pico}	40 kA kV _{pico}
170	132	106	106	151	145	254	262	272	295	311	342	382
	144	108	115	165	158	277	286	297	322	339	373	417
	150	108	121	172	165	288	298	309	335	353	388	434
	162	108	131	186	178	312	321	334	362	381	419	469
	168	108	131	193	184	323	333	346	376	395	435	486
	192	108	152	220	211	369	381	396	429	452	497	555
245	180	144	144	207	198	346	357	371	402	423	466	521
	192	154	154	220	211	369	381	396	429	452	497	555
	198	156	160	227	217	381	393	408	443	466	512	573
	210	156	170	241	231	404	417	433	469	494	543	608
	216	156	175	248	237	415	428	445	483	508	559	625
	219	156	177	251	240	421	434	451	489	515	567	634
	222	156	179	255	244	427	440	458	496	522	574	642
	228	156	180	262	250	438	452	470	510	536	590	660
300	216	173	175	248	237	415	428	445	483	508	559	625
	240	191	191	276	264	461	476	495	536	564	621	694
	258	191	209	296	283	496	512	532	576	607	667	746
	264	191	212	303	290	507	523	544	590	621	683	764
	276	191	220	317	303	530	547	569	617	649	714	798
362	258	206	209	296	283	496	512	532	576	607	667	746
	264	211	212	303	290	507	523	544	590	621	683	764
	276	221	221	317	303	530	547	569	617	649	714	798
	288	230	230	331	316	553	571	593	643	677	745	833
420	330	264	267	379	363	634	654	680	737	776	854	954
	336	267	272	386	369	646	666	692	751	790	869	972
	342	267	277	393	376	657	678	705	764	804	885	989
	360	267	291	414	396	692	714	742	804	846	931	1046

Para información más detallada sobre la capacidad de sobretensiones temporales (TOV) y las características de protección, ver la publicación 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 $\sqrt{3}$.

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.

PEXLIM Q

Descargadores con revestimiento de silicona

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	Masa	A _{máx.}	B	C	D	Fig.	
U _m kV _{rms}	U _r kV _{rms}		mm	kV _{pico}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{pico}	kg						
24	24	XV024	1363	283	126	126	242	16	481	-	-	-	1	
36	30-36	XV036	1363	283	126	126	242	16	481	-	-	-	1	
52	42-72	XV052	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1	
72	54-72	XV072	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1	
	75-84	XV072	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1	
100	75-96	XV100	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1	
123	90-120	XH123	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1	
	90-96	XV123	4540	800	374	374	660	46	1417	400	-	160	4	
	108-144	XV123	4540	800	374	374	660	44	1397	-	-	-	3	
	150	XV123	4988	861	419	419	704	47	1486	-	-	-	3	
145	108-120	XH145	3625	578	293	293	462	37	1100	400	-	160	2	
	108-120	XV145	4540	800	374	374	660	46	1417	400	-	160	4	
	132-144	XV145	4540	800	374	374	660	44	1397	-	-	-	3	
	150	XV145	4988	861	419	419	704	47	1486	-	-	-	3	
	162-168	XV145	5895	978	480	480	792	55	1741	-	-	-	3	
170	132-144	XH170	4540	800	374	374	660	46	1417	400	-	160	4	
	150	XH170	4988	861	419	419	704	49	1506	400	-	160	4	
	132	XV170	5895	978	480	480	792	58	1761	600	-	300	4	
	144-192	XV170	5895	978	480	480	792	57	1761	400	-	160	4	
245	192	XM245	5895	978	480	480	492	60	1761	800	600	400	6	
	180-210	XH245	7250	1156	586	586	924	71	2105	800	600	400	6	
	216-228	XH245	7250	1156	586	586	924	69	2105	600	-	300	5	
	180-196	XV245	8613	1439	712	712	1166	86	2617	900	600	500	8	
	210-228	XV245	8613	1439	712	712	1166	83	2617	800	600	400	8	
300	216-264	XH300	8613	1439	712	712	1166	86	2617	900	600	500	8	
	276	XH300	8613	1439	712	712	1166	86	2617	900	600	500	7	
	216	XV300	9520	1556	773	773	1254	100	2872	1400	800	700	8	
	240-258	XV300	9520	1556	773	773	1254	99	2872	1200	800	600	8	
	264-276	XV300	9520	1556	773	773	1254	94	2872	900	600	500	8	
362	258-264	XH362	9520	1556	773	773	1254	100	2872	1400	800	700	8	
	276-288	XH362	9520	1556	773	773	1254	99	2872	1200	800	600	8	
	258-288	XV362	11790	1956	960	960	1584	125	3533	1600	800	1000	9	
420	330-360	XH420	10875	1734	879	879	1386	116	3216	1600	800	1000	8	

Descargadores con neutro a tierra

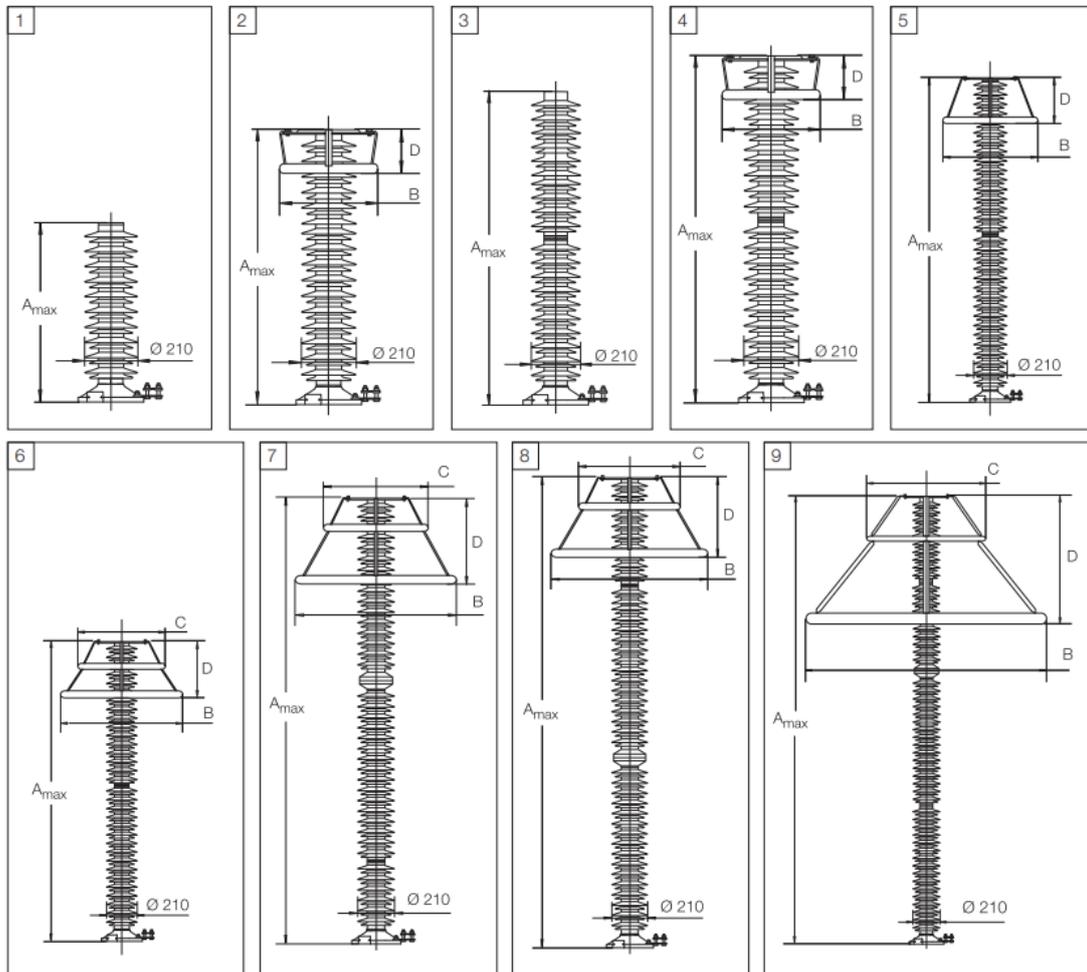
52	30-36	XN052	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
72	42-54	XN072	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
100	60	XN100	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
123	72	XN123	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
	75-120	XN123	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1
145	84-120	XN145	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1
170	84-120	XN170	3625	578	293	293	462	36	1080	-	-	-	1
245	108-120	XN245	3625	578	293	293	462	36	1080	-	-	-	1
	132-144	XN245	4540	800	374	374	660	45	1397	-	-	-	1

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

Descargadores con revestimiento de silicona

PEXLIM Q

Datos técnicos de los revestimientos



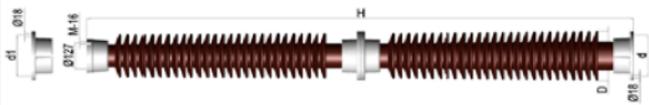
3.7 Catálogo aisladores de soporte



Aisladores para Aparellaje
Outdoor & Indoor Post Insulators

4.1.1 AISLADORES DE SOPORTE EXTERIOR CON HERRAJES EXTERNOS OUTDOOR POST INSULATORS WITH EXTERNAL METAL PARTS TENSIÓN NOMINAL MÁXIMA DE 245 A 420 kV MAXIMUM NOMINAL VOLTAGE 245 A 420 kV

Según CEI 60273. According to IEC 60273.

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

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

3.8 Catálogo grupo electrógeno

HIMOINSA
A YANMAR COMPANY

HSW-255 T5
GAMA INDUSTRIAL
Powered by SCANIA



SERVICIO	PRP / DCP	ESP	
POTENCIA	kVA	250	275
POTENCIA	kW	200	220
RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO	r.p.m.	1.500	
TENSIÓN PRINCIPAL	V	400/230	
TENSIONES DISPONIBLES	V	200/115 · 230 V (t)	
FACTOR DE POTENCIA	Cos Phi	0,8	



GAMA INDUSTRIAL

HIMOINSA empresa con certificación de calidad ISO 9001

Los grupos electrógenos HIMOINSA cumplen el marcado CE que incluye las siguientes directivas:

- 2006/42/CE Seguridad de Máquinas.
- 2014/30/UE de Compatibilidad Electromagnética.
- 2014/35/UE material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
- 2000/14/CE Emisiones Sonoras de Máquinas de uso al aire libre.(modificada por 2005/88/CE)
- EN 12100, EN 13857, EN 60204

Condiciones ambientales de referencia según la norma ISO 8528-1:2020. 1000 mbar, 25°C, 30% humedad relativa.

Prime Power (PRP):

Según la norma ISO 8528-1:2020, es la potencia máxima disponible para empleo bajo cargas variables por un número ilimitado de horas por año entre los intervalos de mantenimiento prescritos por el fabricante y en las condiciones ambientales establecidas por el mismo. La potencia media consumible durante un periodo de 24 horas no debe rebasar el 70% de la PRP.

Emergency Standby Power (ESP):

Según la norma ISO 8528-1:2020, es la potencia máxima disponible para empleo bajo cargas variables en caso de un corte de energía de la red o en condiciones de prueba por un número limitado de horas por año de 200h entre los intervalos de mantenimiento prescritos por el fabricante y en las condiciones ambientales establecidas por el mismo. La potencia media consumible durante un periodo de 24 horas no debe rebasar el 70% de la ESP.

Continuos Power (COP): Según la norma ISO 8528-1:2020, es la potencia máxima disponible para empleo bajo cargas constantes por un número ilimitado de horas al año entre los intervalos de mantenimiento prescritos por el fabricante y en las condiciones ambientales establecidas por el mismo.

Data Center Power (DCP): Cumple con Uptime Institute. El fabricante declara un factor de carga medio aceptable de 100%. Se requiere un tiempo medio entre revisión de 12000h y de cambio de aceite de 300h. El grupo electrógeno no se debe utilizar como fuente de alimentación principal. Si el modelo es para aplicación DCP comunicarlo a fábrica. Rendimiento "Clase G2" de acuerdo con el ensayo de impactos de carga según norma ISO 8528-5:2020

HIMOINSA HEADQUARTERS:

Fábrica: Ctra. Murcia - San Javier, Km. 23,6 | 30730 SAN JAVIER (Murcia) Spain
Tel: +34 968 19 11 28 Fax: +34 968 19 12 17 Fax: +34 968 19 04 20 |
info@himoinsa.com | www.himoinsa.com

Centros Productivos:

ESPAÑA • FRANCIA • INDIA • CHINA • USA • BRASIL • ARGENTINA

Filiales:

PORTUGAL | POLONIA | ALEMANIA | UK | SINGAPUR | EMIRATOS ÁRABES UNIDOS
| PANAMÁ | REPUBLICA DOMINICANA | ARGENTINA | ANGOLA | SUDÁFRICA |
MAGREBECOS

ISO 9001



Ctra. Murcia - San Javier, km. 23,6 | 30730 San Javier (Murcia) SPAIN | Tel.: +34 902 19 11 28 / +34 968 19 11 28
Fax: +34 968 19 12 17 | Export Fax: +34 968 19 04 20 | E-mail: info@himoinsa.com | www.himoinsa.com



INSONORIZADO ESTÁNDAR



F1



REFRIGERADO POR AGUA



TRIFÁSICO



50 HZ



DIÉSEL

Himoinsa se reserva el derecho de modificar cualquier característica sin previo aviso.

Pesos y medidas basadas en los productos estandar. Las ilustraciones pueden incluir accesorios opcionales.

Las características técnicas descritas en este catálogo se corresponden con la información disponible en el momento de la impresión.

Las ilustraciones e imágenes son orientativas y podrían no coincidir en su totalidad con el producto.

Diseño industrial bajo patente.



Especificaciones de Motor | 1.500 r.p.m.

Potencia Nominal (PRP) / DCP	kW	220
Potencia Nominal (ESP)	kW	243
Fabricante	SCANIA	
Modelo	DC9-72A(02-11)	
Tipo de Motor	Diesel 4 tiempos	
Tipo de Inyección	Directa	
Tipo aspiración	Turboalimentado y post-enfriado	
Clindros, número y disposición	5-L	
Diámetro x Carrera	mm	130 x 140
Cilindrada total	L	9,3
Sistema de refrigeración	Líquido refrigerante	
Especificaciones del aceite motor	ACEA E3,E4,E5 o E7	
Relación de compresión	16:1	

Consumo máximo de aceite a plena carga	g/kWh	0,2
Cantidad de aceite máxima	L	38
Cantidad total de líquido refrigerante	L	38
Regulador	Tipo	Electrónico
Filtro de Aire	Tipo	Seco
Diámetro interior de salida de escape	mm	90



- Motor diesel
- 4 tiempos
- Refrigerado por agua
- Arranque eléctrico 24V
- Filtro decantador (nivel visible)
- Filtro de aire en seco
- Radiador con ventilador soplante
- Sensor de nivel agua radiador
- Bulbos de ATA
- Bulbos de BPA
- Regulación electrónica
- Protecciones de partes calientes
- Protecciones de partes móviles



Especificaciones Alternador | STAMFORD

Fabricante	STAMFORD	
Modelo	UCDI274K	
Polos	Nº	4
Tipo de conexión (estándar)	Estrella - Serie	
Tipo de acoplamiento	S-1 14'	
Grado de protección aislamiento	Clase	Clase H

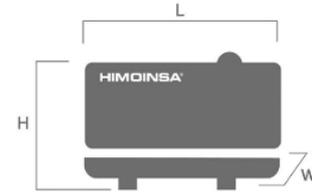
Grado de protección (según IEC-34-5)	IP23
Sistema de excitación	Autoexcitado, sin escobillas
Regulador de tensión	A.V.R. (Electrónico)
Tipo de soporte	Monopalier
Sistema de acoplamiento	Disco Flexible
Tipo de recubrimiento	Estándar (Impregnación en vacío)



- Autoexcitado y autorregulado
- Protección IP23
- Aislamiento clase H

DIMENSIONES Y PESO

		Versión Estandar	Versión Gran Capacidad
Largo (L)	mm	3800	3800
Alto (H)	mm	2253	2615
Ancho (W)	mm	1400	1400
Volumen de embalaje máximo	m ³	11,99	13,91
Peso con líquidos en radiador y cárter	Kg	3434	3936
Capacidad del depósito	L	449	999
Autonomía (70% PRP)	Horas	13	29
Autonomía (100% PRP)	Horas	9	20
		Depósito de acero	Depósito de acero



PRESIÓN SONORA

Nivel de presión sonora	dB(A)@7m	68 ± 2,4
-------------------------	----------	----------

DATOS DE INSTALACIÓN

SISTEMA DE ESCAPE

Máx. temperatura gas de escape	°C	428
Caudal de gas de escape	kg/s	0,383
Máxima contrapresión aceptable	mbar	100
Diámetro exterior salida escape	mm	140
Calor Evacuado por el escape	KCal/Kwh	573,74

CANTIDAD DE AIRE NECESARIA

Máximo caudal de aire necesario para la combustión	m ³ /h	1115
Caudal de aire ventilador motor	m ³ /s	8,8
Caudal aire ventilador alternador	m ³ /s	0,58

CONSUMO COMBUSTIBLE

Consumo combustible ESP	l/h	55,59
Consumo combustible 100 % PRP	l/h	49,67
Consumo combustible 70 % PRP	l/h	34,95
Consumo combustible 50 % PRP	l/h	25,75

SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Tipo de combustible		Diésel
Depósito combustible	L	449
Otras capacidades de depósito de combustible	L	999

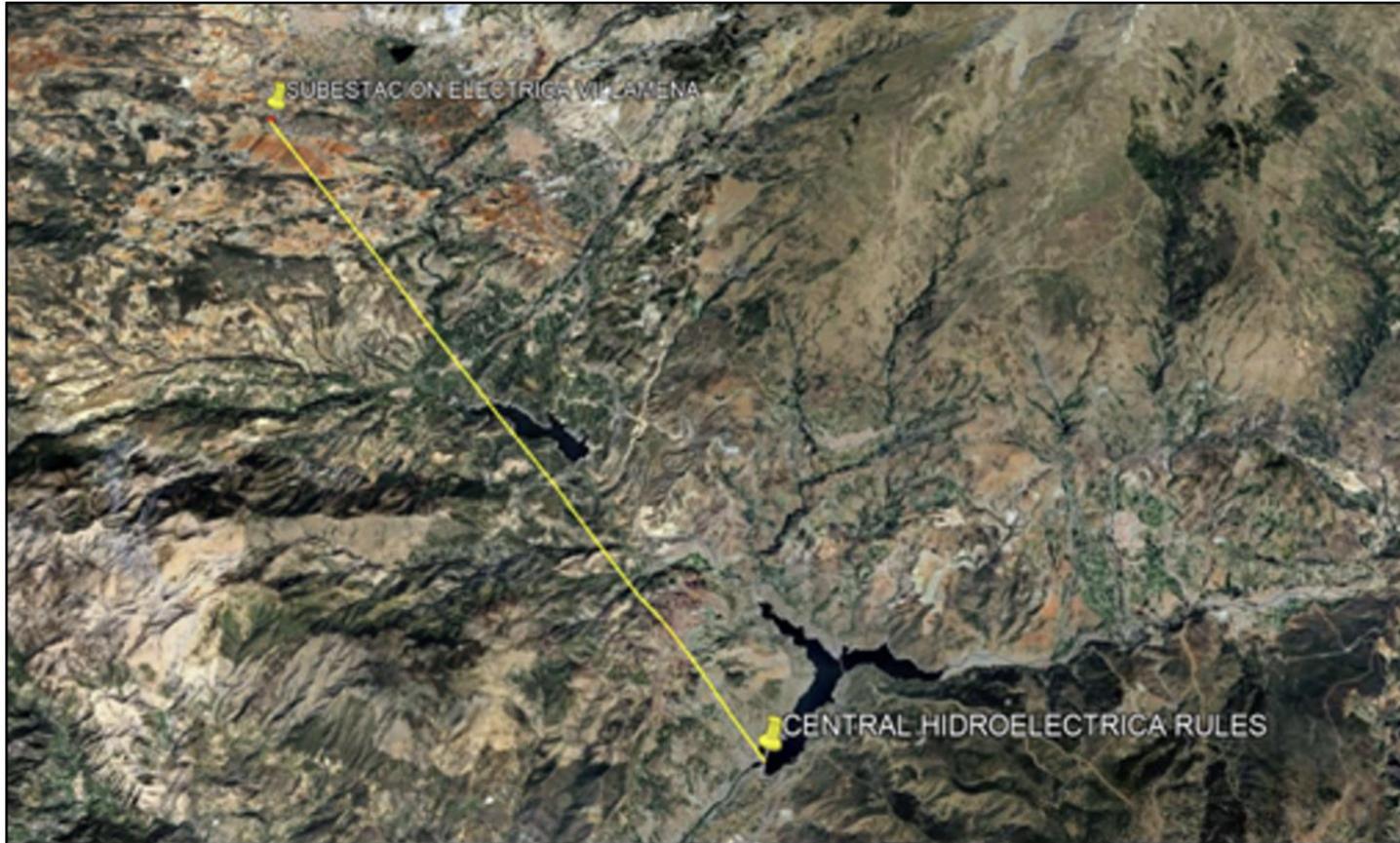
SISTEMA DE PUESTA EN MARCHA

Potencia de arranque	kW	5,5
Potencia de arranque	CV	7,48
Tensión Auxiliar	Vcc	24



Versión Insonoro

***PARTE II.* PLANOS**

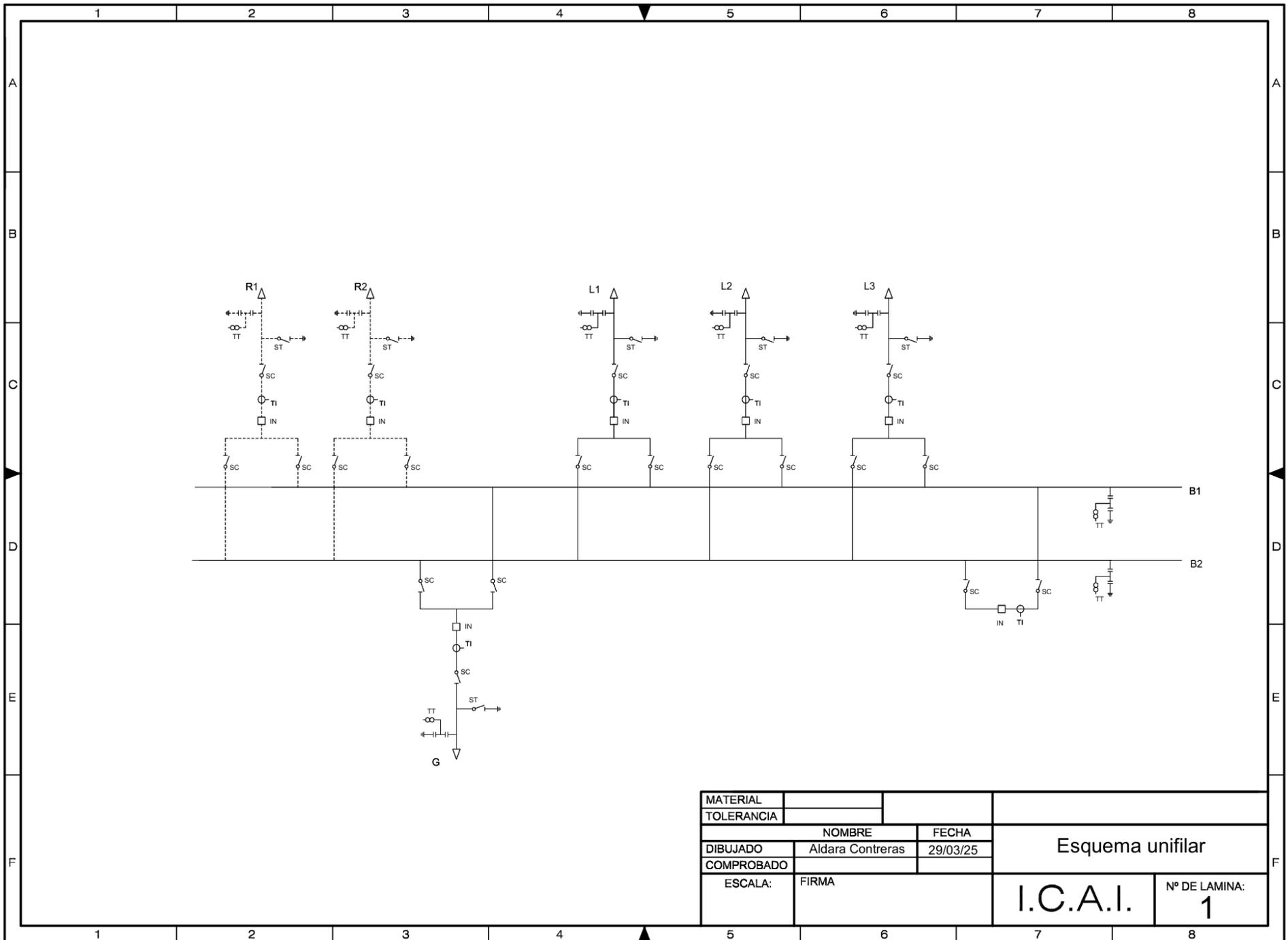


MATERIAL			
TOLERANCIA			
DIBUJADO		NOMBRE	FECHA
COMPROBADO		Aldara Contreras	29/03/25
ESCALA:	FIRMA	Plano de ubicación	
		I.C.A.I.	Nº DE LAMINA: 0

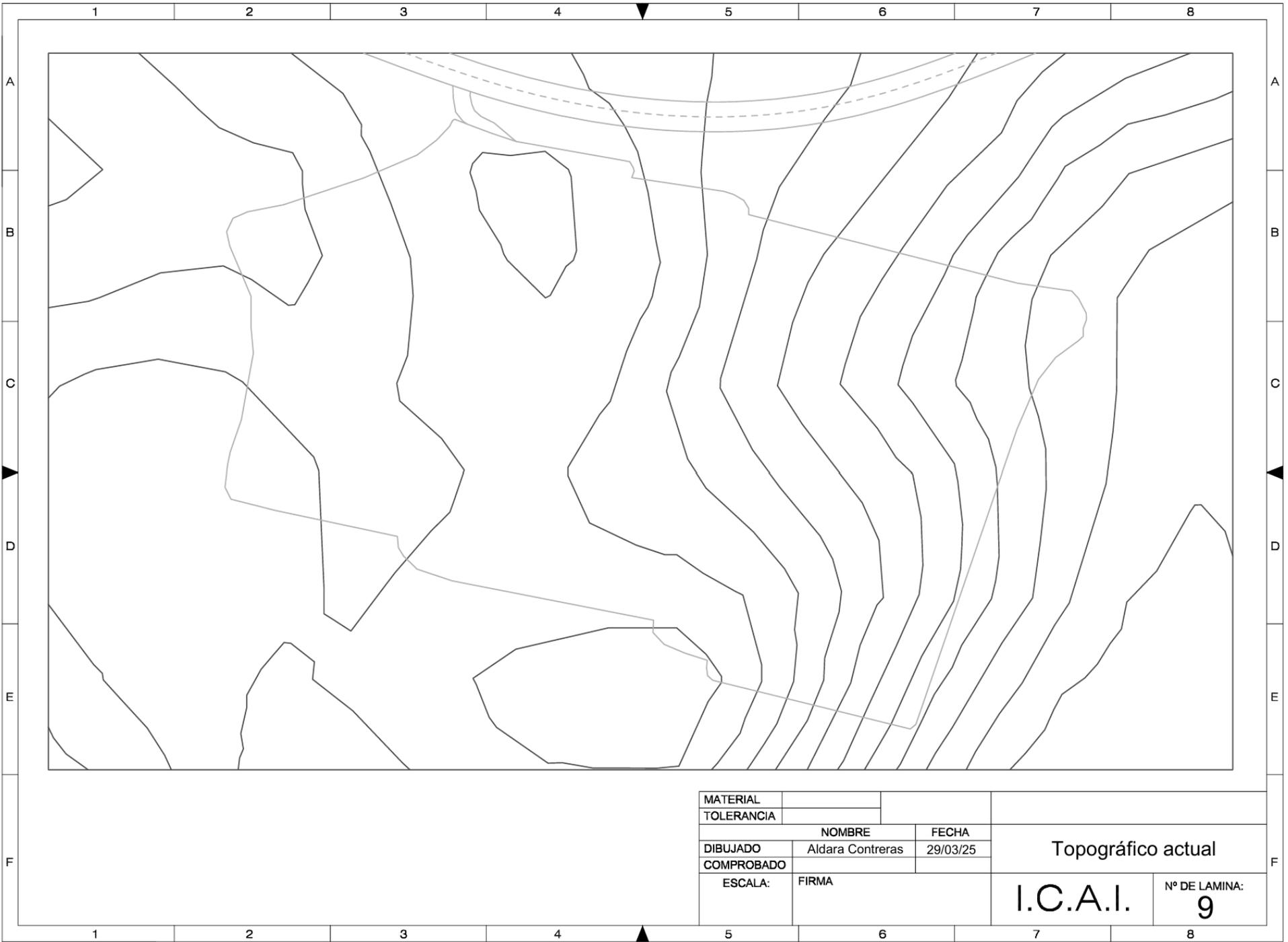


Polígono 4 Parcela 220, VILLANUEVA (GRANADA)

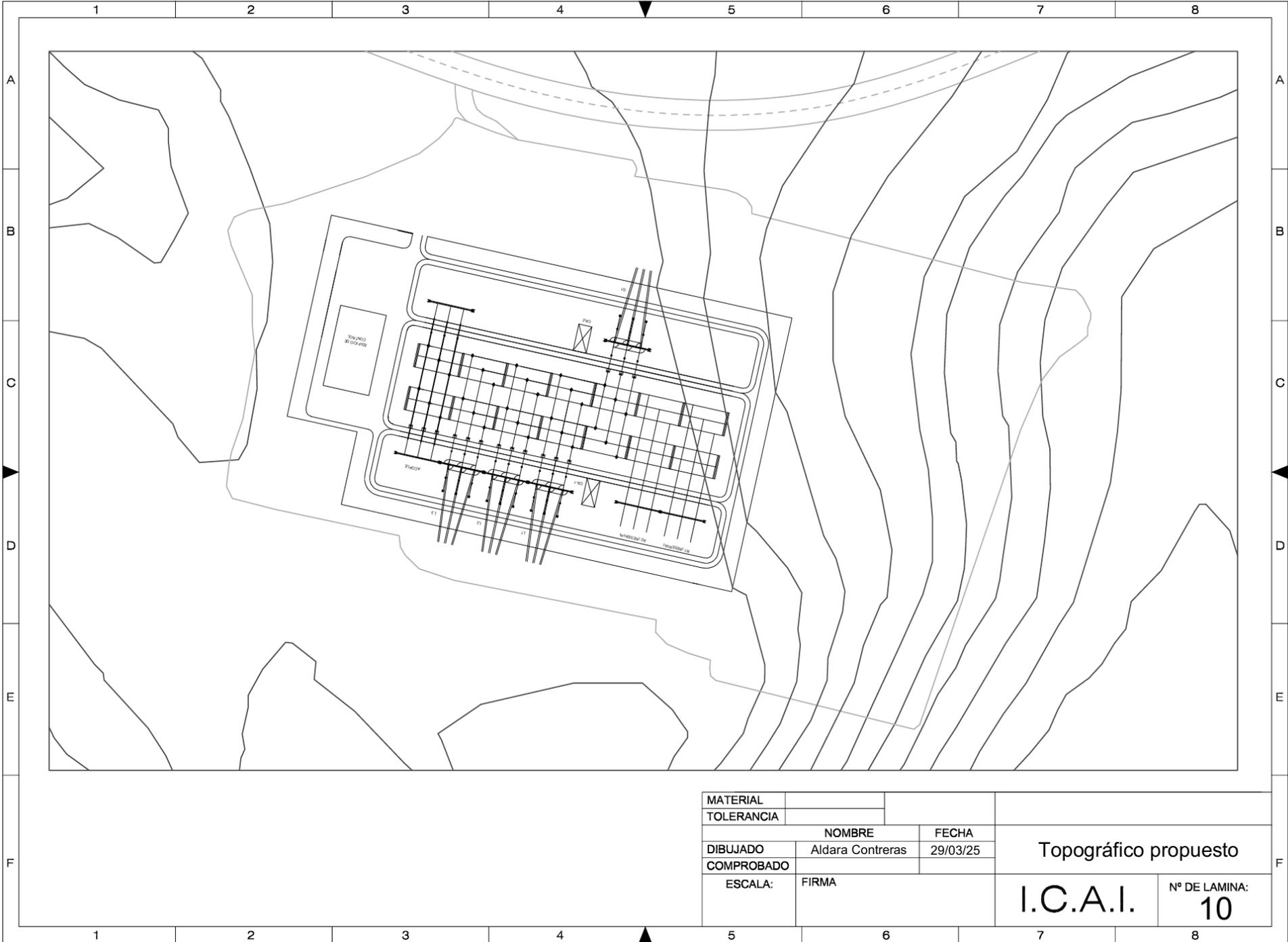
MATERIAL			
TOLERANCIA			
	NOMBRE	FECHA	Parcela catastral
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
			Nº DE LAMINA: 0



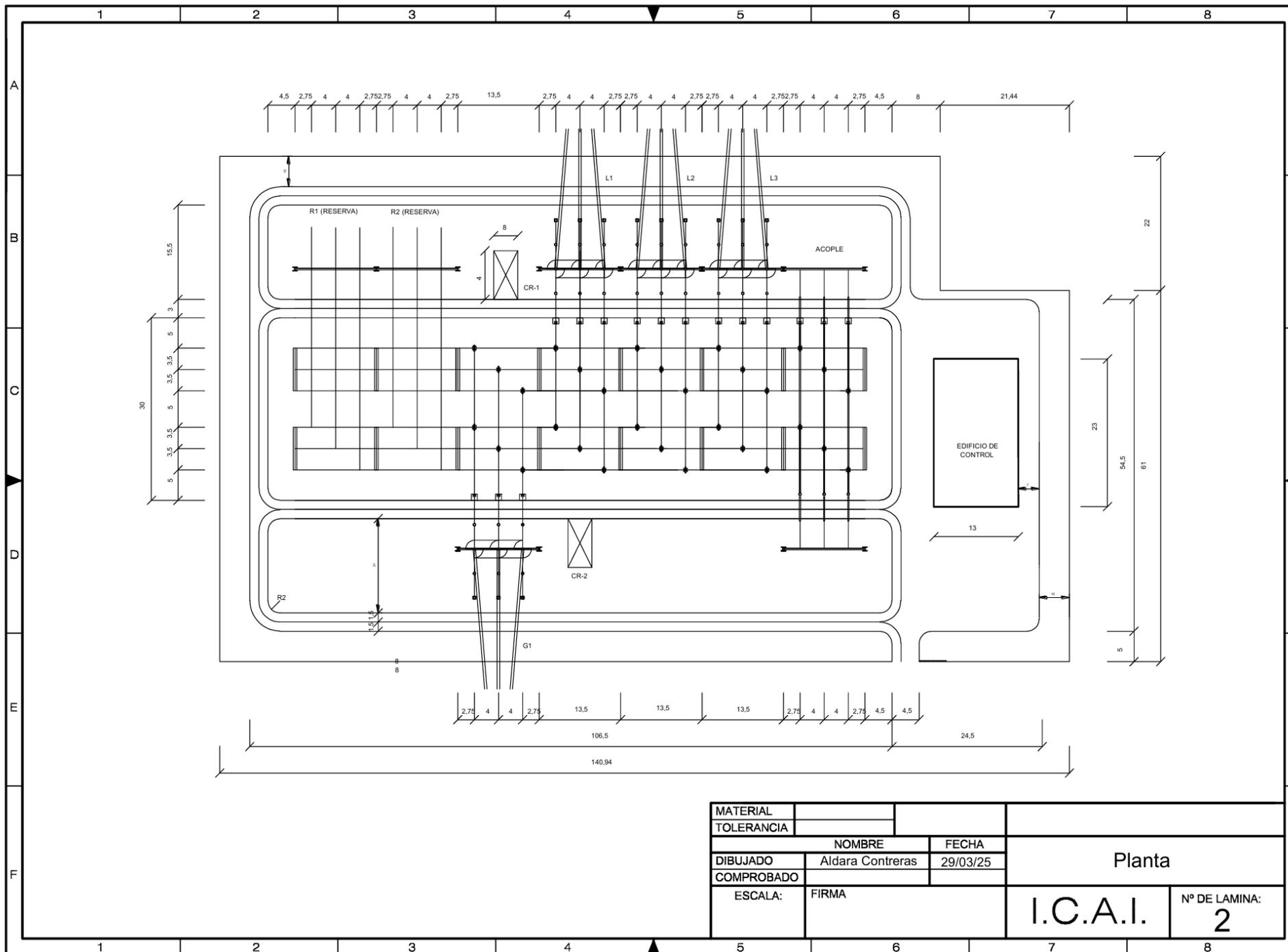
MATERIAL			
TOLERANCIA			
NOMBRE		FECHA	Esquema unifilar
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
			Nº DE LAMINA: 1

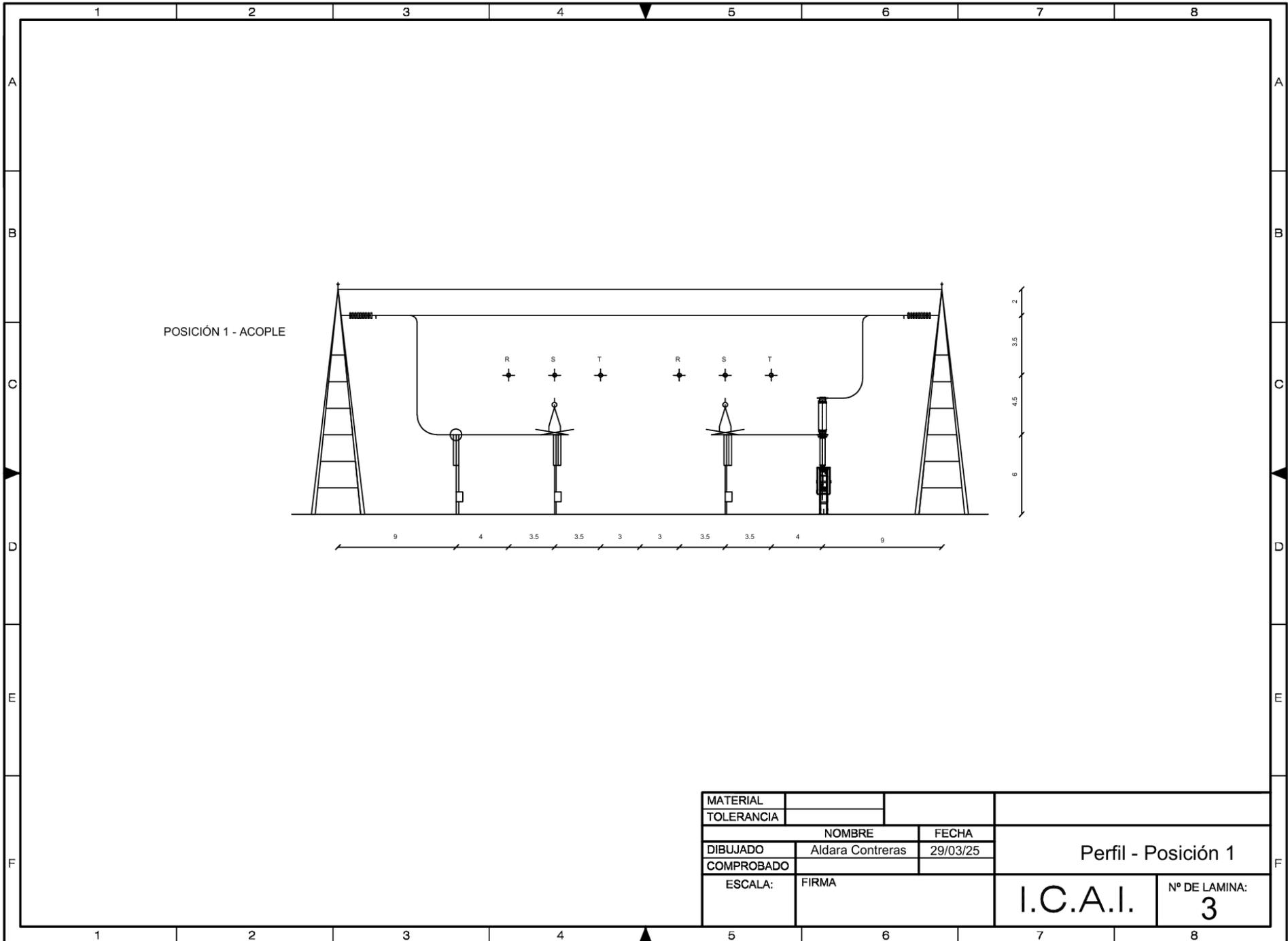


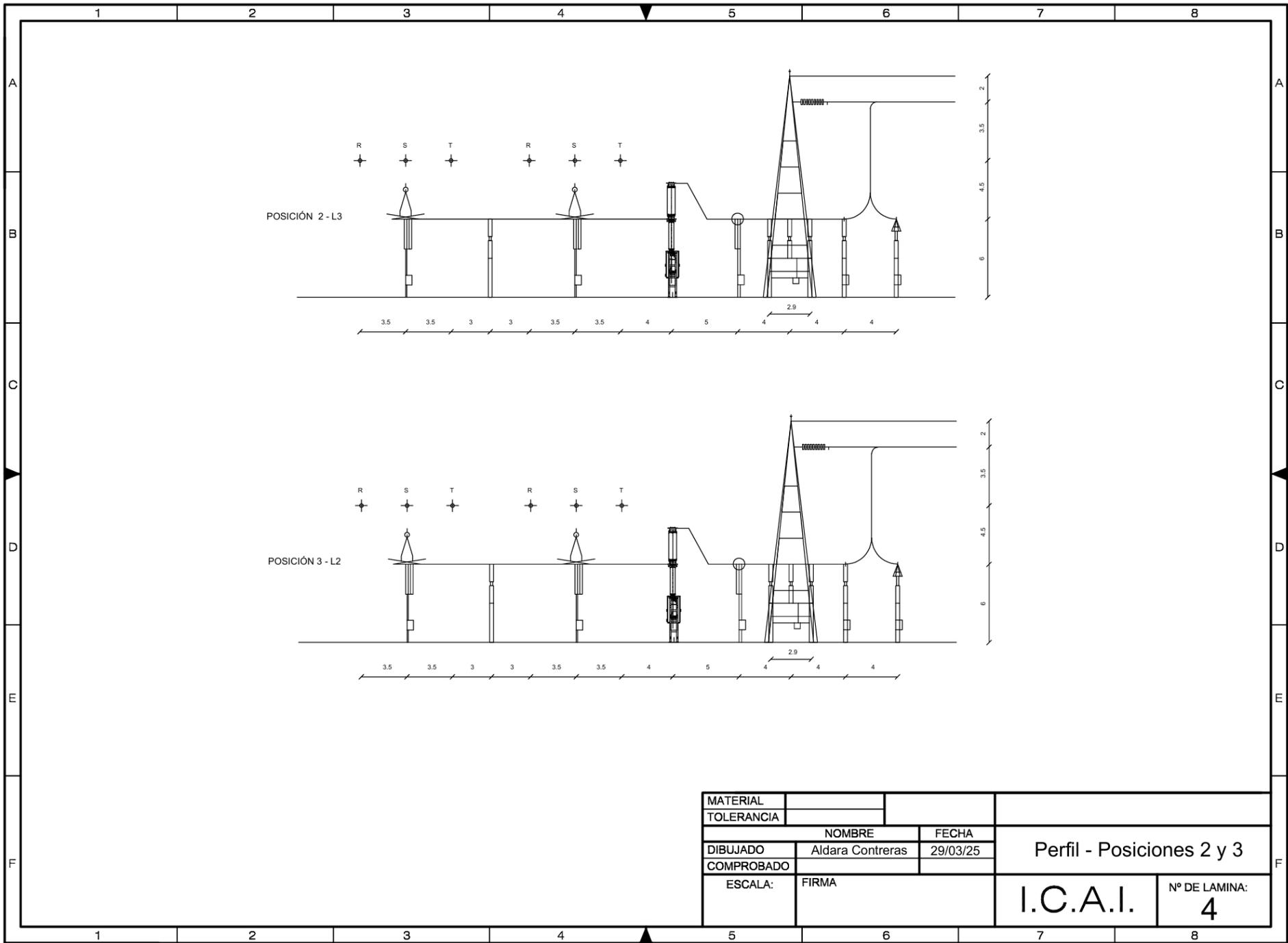
MATERIAL			Topográfico actual
TOLERANCIA			
	NOMBRE	FECHA	Topográfico actual
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			I.C.A.I.
ESCALA:	FIRMA		
			Nº DE LAMINA: 9



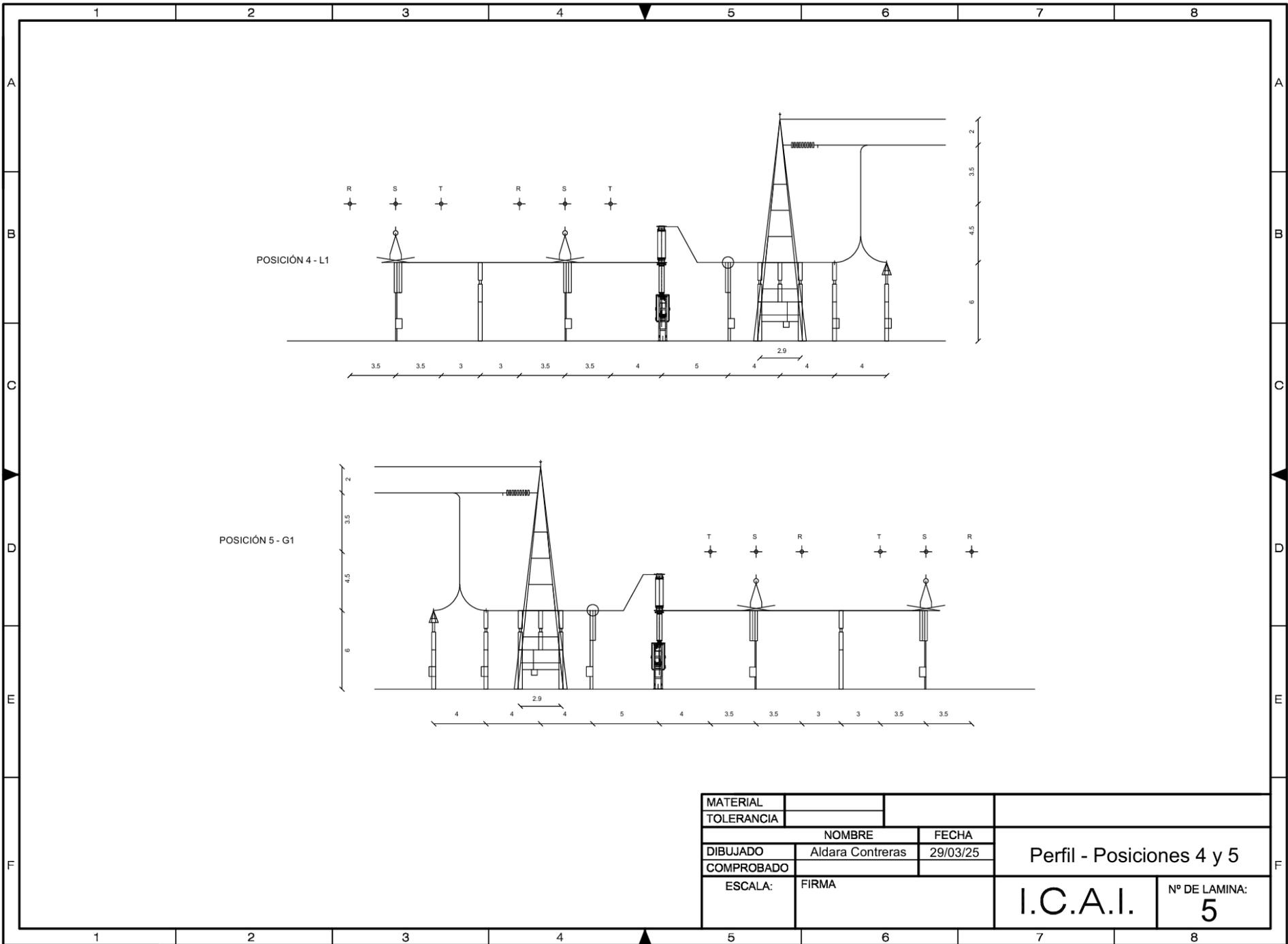
MATERIAL			
TOLERANCIA			
	NOMBRE	FECHA	Topográfico propuesto
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
			N° DE LAMINA: 10



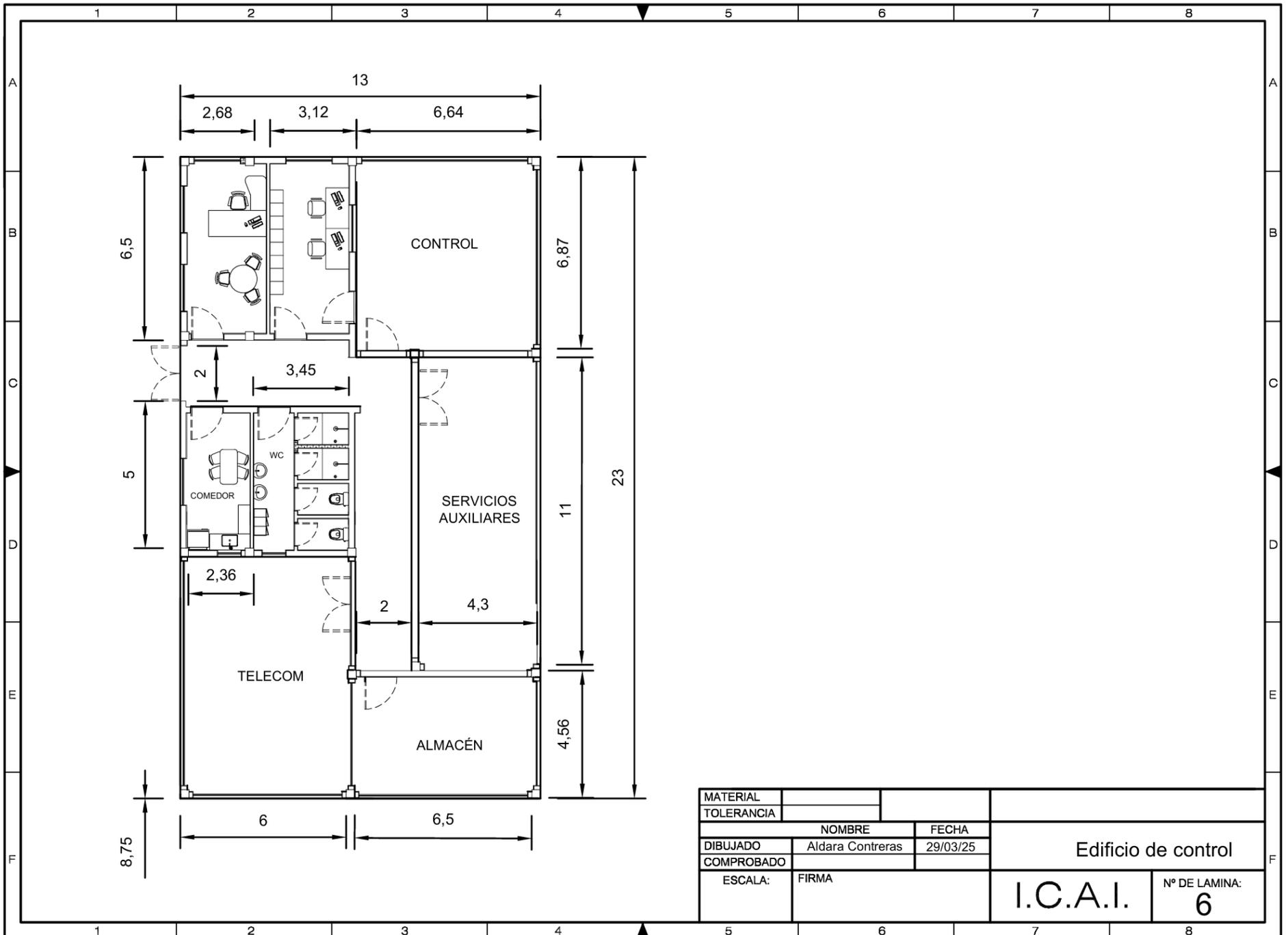




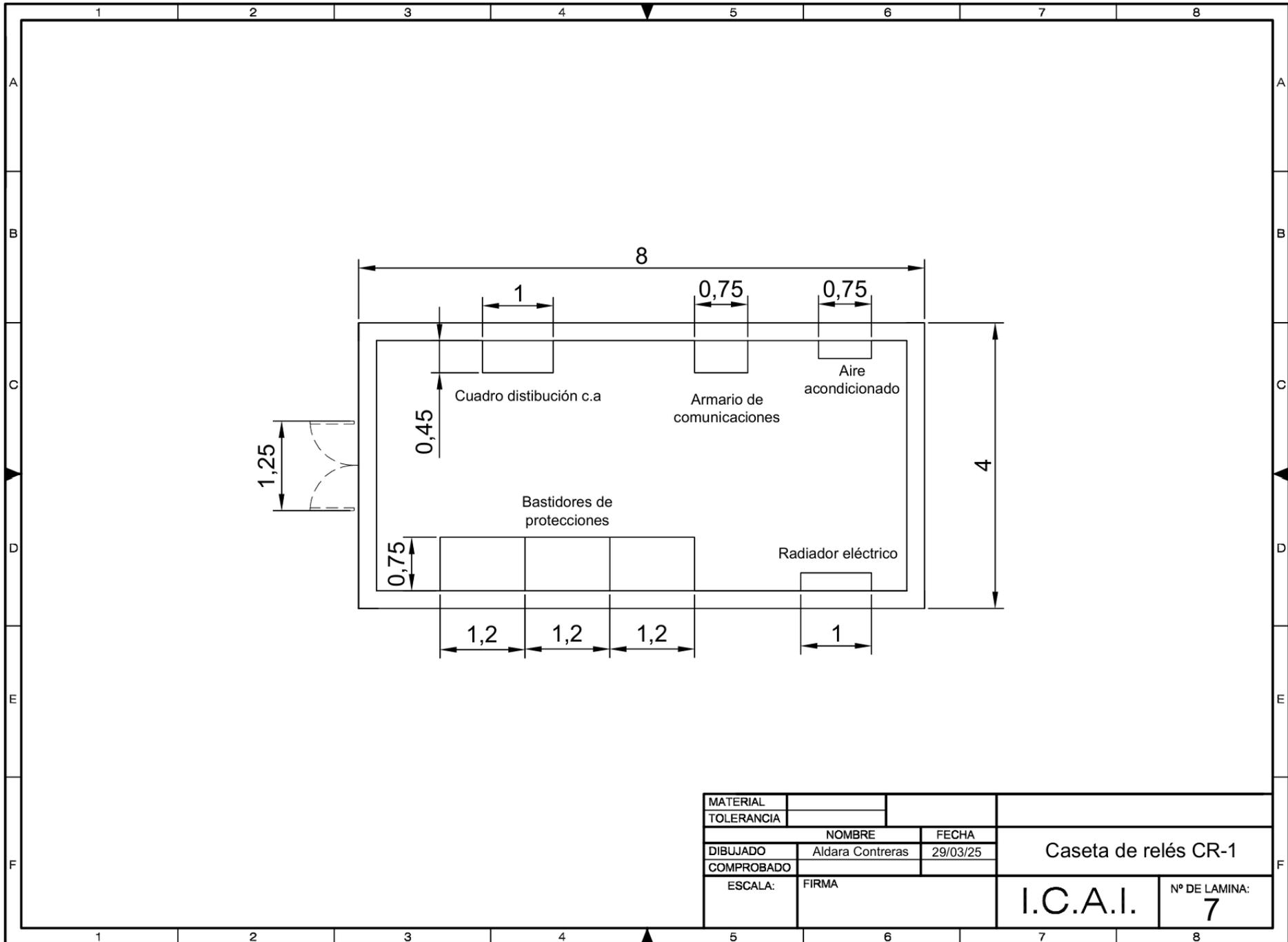
MATERIAL			
TOLERANCIA			
NOMBRE		FECHA	Perfil - Posiciones 2 y 3
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I. N° DE LAMINA: 4



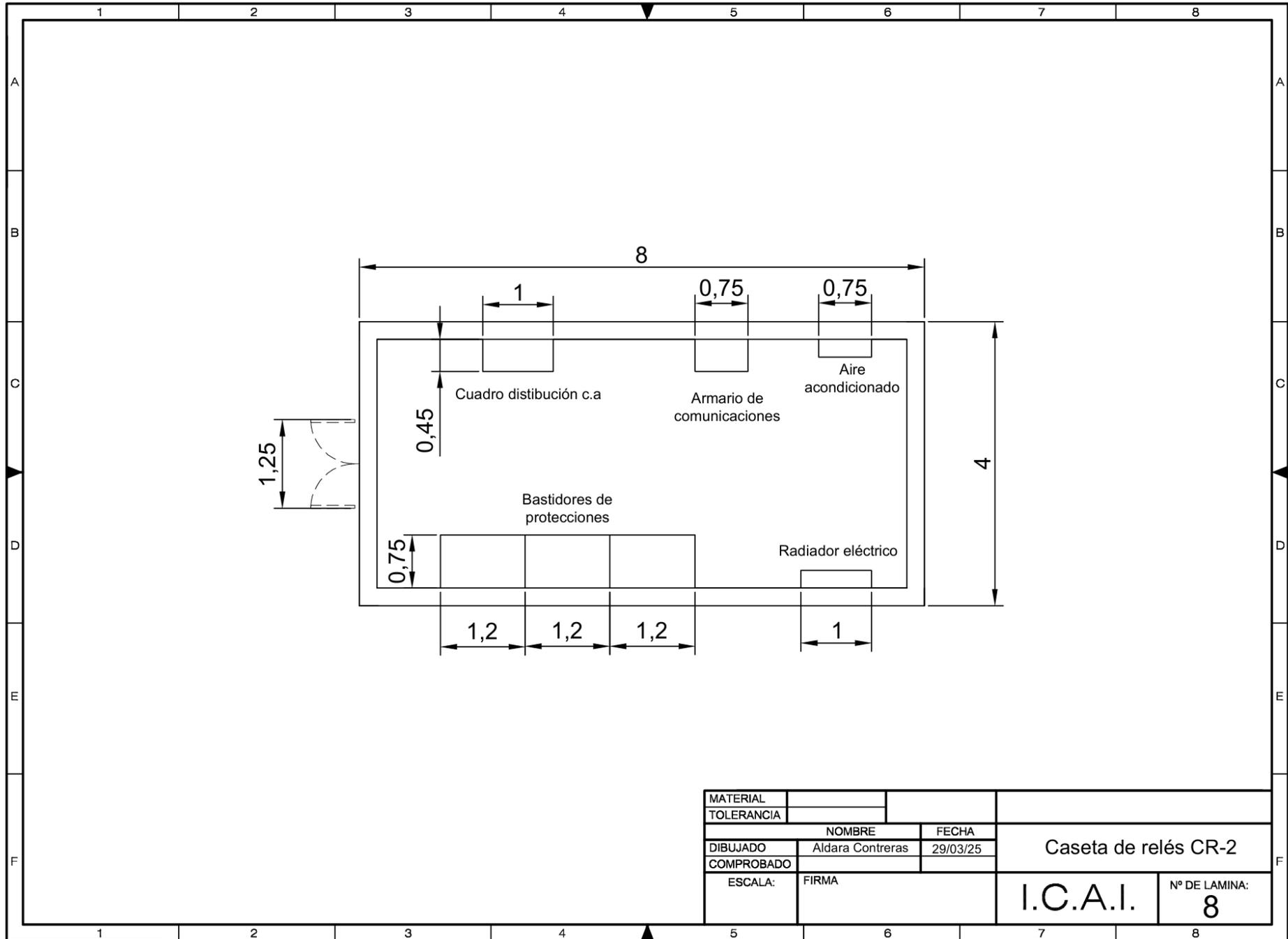
MATERIAL			
TOLERANCIA			
NOMBRE		FECHA	
DIBUJADO		29/03/25	
COMPROBADO		Aldara Contreras	
ESCALA:		FIRMA	
I.C.A.I.			Nº DE LAMINA: 5



MATERIAL			
TOLERANCIA			
	NOMBRE	FECHA	Edificio de control
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
			Nº DE LAMINA: 6



MATERIAL			
TOLERANCIA			
NOMBRE		FECHA	
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		
I.C.A.I.			Nº DE LAMINA: 7



MATERIAL			
TOLERANCIA			
NOMBRE		FECHA	Caseta de relés CR-2
DIBUJADO	Aldara Contreras	29/03/25	
COMPROBADO			
ESCALA:	FIRMA		I.C.A.I.
			Nº DE LAMINA: 8

***PARTE III.* PLIEGO DE CONDICIONES**

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

CÁPITULO 4. GENERALES Y ECONÓMICAS.....	93
4.1. OBJETIVO	93
4.2. NORMATIVA APLICABLE	94
4.2.1 <i>Equipamiento y montaje</i>	94
4.2.2 <i>Obra civil</i>	96
4.3. GESTIÓN DE CALIDAD	99
4.4. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL.....	99
4.5. SEGURIDAD EN EL TRABAJO	99
4.6. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN	100
4.7. ESTUDIO DE SEGURIDAD	100
4.7.1 <i>Situación y descripción de la obra</i>	101
4.7.2 <i>Control de accesos</i>	102
4.7.3 <i>Trabajos previos, interferencias y servicios afectados</i>	102
4.7.4 <i>Unidades constructivas que componen la obra</i>	102
4.7.5 <i>Identificación de riegos</i>	104
4.7.6 <i>Locales de descanso y servicios higiénicos</i>	108
4.7.7 <i>Disposiciones de Emergencia</i>	108
4.7.8 <i>Plan de seguridad</i>	111
4.7.9 <i>Pliego de condiciones</i>	111
CÁPITULO 5. TÉCNICAS Y PARTICULARES	113
5.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN	113
5.2. REQUISITOS DE CARÁCTER GENERAL	113
5.2.1 <i>Condicionados de los Organismos de la Administración</i>	113
5.2.2 <i>Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible</i>	113
5.2.3 <i>Cambios de aceites y grasas</i>	114
5.2.4 <i>Campamento de obra</i>	114
5.2.5 <i>Gestión de residuos</i>	114
5.2.6 <i>Incidentes con consecuencias ambientales</i>	114
5.3. REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LOS MOVIMIENTOS DE TIERRA.....	115
5.3.1 <i>Zonificación de los trabajos</i>	115

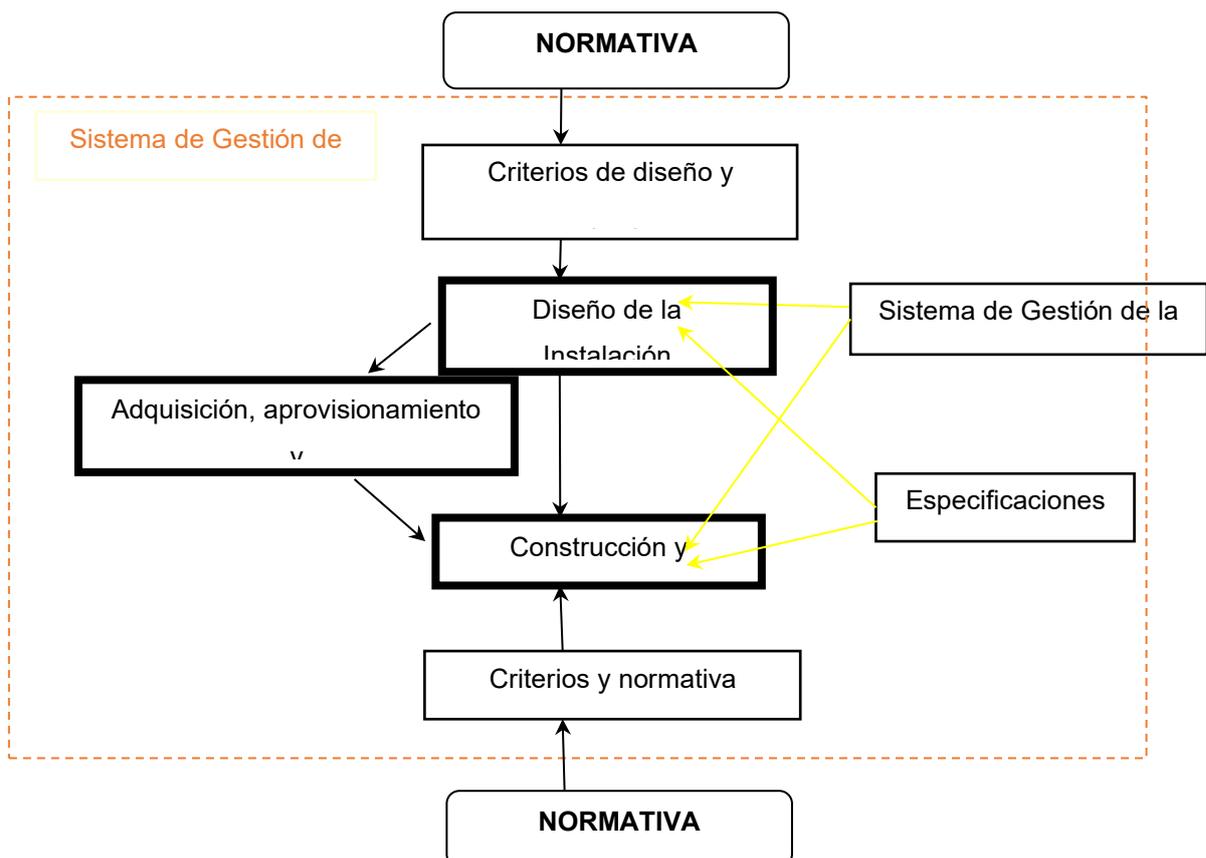
5.3.2	<i>Accesos</i>	115
5.3.3	<i>Retirada de la cubierta vegetal</i>	115
5.3.4	<i>Patrimonio cultural</i>	115
5.3.5	<i>Movimientos de tierra para la explanación</i>	116
5.4.	REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LA OBRA CIVIL	116
5.5.	REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMECÁNICO	116
5.5.1	<i>Llenado de equipos con aceite</i>	116
5.5.2	<i>Llenado de equipos con SF6</i>	117
5.6.	ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA	117

Cápítulo 4. GENERALES Y ECONÓMICAS

4.1. Objetivo

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

- 1º Normativa: Los equipos y su montaje será conforme a la normativa legal y de referencia.
- 2º Gestión de Calidad: El plan de calidad recoge las características técnicas de los equipos y su montaje. Además, la certificación ISO-9000 asegura la calidad de la instalación construida.
- 3º Gestión medioambiental: Con el objeto de minimizar los impactos puedan acarrear la construcción y funcionamiento de la instalación.
- 4º Seguridad Laboral: Para asegurar que tanto el montaje como la explotación de los equipos de esta instalación cumplen con las medidas de seguridad requeridas.



4.2. Normativa aplicable

Se aplicarán por el orden en que se relacionan, cuando no existan contradicciones legales, las siguientes normas:

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

4.2.1 Equipamiento y montaje

El presente Proyecto ha sido redactado basándose en los anteriores Reglamentos y Normas, y más concretamente, en los siguientes, que serán de obligado cumplimiento:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.
En especial las ITC del “Reglamento sobre Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación”:
 - ITC-MIE-RAT-09: "PROTECCIONES".
 - ITC-MIE-RAT-12: "AISLAMIENTO".
 - ITC-MIE-RAT-13: "INSTALACION DE PUESTA A TIERRA".
 - ITC-MIE-RAT-15: "INSTALACIONES ELECTRICAS DE EXTERIOR".
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. "REBT". DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología B.O.E.: 18-SEPT-2002, e Instrucciones Técnicas Complementarias y sus modificaciones posteriores.
- Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.
- Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico,

- R.D. 1215/97 de 18 de Julio sobre EQUIPOS DE TRABAJO
- R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo,
- R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación manual de cargas,
- R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual,
- Ley 32/2006 de 18 de Octubre Reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.
- Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.
- Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. REAL DECRETO 1942/1993, de 5-NOV, del Ministerio de Ind. y Energía B.O.E.: 14-DIC-93, y sus correcciones posteriores. Normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios y se revisa el anexo I y los apéndices del mismo ORDEN, de 16-ABR, del Ministerio de Industria y Energía B.O.E.: 28-ABR-98
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. REAL DECRETO 786/2001, de 6-JUL, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, B.O.E.: 30-JUL-01, y sus correcciones posteriores.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) R.D. 314/2006 de 17 de marzo del Ministerio de la Vivienda. B.O.E.: 28 de marzo de 2006.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos, como en lo relativo a mediciones.
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

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

- Otras normas y recomendaciones (IEEE, MF, ACI, CIGRE, ANSI, AISC, etc).

4.2.2 Obra civil

1. Estructuras

- **Acciones en la edificación**

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

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

- **Acero**

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

- **Fábrica de ladrillo**

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

- **Hormigón**

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

- **Forjados**

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

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

2. Instalaciones

- **Calefacción, Climatización y Agua caliente sanitaria**

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

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

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

- **Electricidad**

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

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

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

- **Instalaciones de Protección Contra Incendios**

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

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

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

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

3. Protección

- **Aislamiento Acústico**

Documento Básico HR “Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 1371/2007 de 19-October, del Ministerio de la Vivienda

- **Aislamiento Térmico**

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

- **Protección Contra Incendios**

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

4. Varios

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

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

4.3. Gestión de calidad

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

4.4. 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.

4.5. 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.

4.6. Verificación y validación

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

Pruebas en Vacío

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

Pruebas en Tensión

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

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

4.7. Estudio de seguridad

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

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

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

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

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

4.7.1 Situación y descripción de la obra

La Subestación de Villamena está situada en el término municipal de Villmena de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Las condiciones climáticas y geotécnicas del punto de instalación son:

Altura del terreno media	760 m
Tipo de Zona	B
Temperaturas extremas	32,8°C / 4,4 °C
Velocidad máxima del viento	94 km/h
Contaminación ambiental	Baja
Nivel de niebla	Media
Pluviometría	Media

La obra básicamente consiste en la construcción de un nuevo parque de intemperie en configuración de interruptor y medio.

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 3 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.
- Instalación de los servicios de c.a y c.c. de Servicios Auxiliares
- Instalación de las redes de tierras así como a la instalación de fuerza y alumbrado.
- Construcción de un cerramiento perimetral de parque.

4.7.2 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.

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

4.7.3 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.

4.7.4 Unidades constructivas que componen la obra

a) Movimiento de tierras

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

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

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

Acopio

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

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

Drenajes y saneamientos

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

b) Obra civil

Incluye 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 aparamenta serán de hormigón en masa y de las cajas de centralización se realizarán de hormigón armado.

Canales de cables

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

Casetas de relés

Se construirán 2. De planta rectangular con dimensiones de 4x 8 m, se construirán con muros prefabricados de hormigón. La solera del suelo será un pavimento de hormigón industrial.

Edificio de Control

Será de planta rectangular construido con muros prefabricados de hormigón 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.

c) Montaje de estructuras y equipos

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

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

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

Trabajos de cableado y trabajos en BT

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 las nuevas posiciones / 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.

4.7.5 Identificación de riesgos

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

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

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

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

<i>Situaciones pormenorizadas de riesgo</i>	
Caídas de personas al mismo nivel	Caída por deficiencias en el suelo, por pisar o tropezar con objetos, por existencia de vertidos o líquidos, por superficies en mal estado por condiciones atmosféricas (heladas, nieve, agua, etc.).
Caídas de personas a distinto nivel	Caída desde escaleras portátiles, desde andamios y plataformas temporales, desniveles, huecos, zanjas, taludes, desde estructuras pórticos.
Caídas de objetos	Caída por manipulación manual de objetos y herramientas o de elementos manipulados con aparatos elevadores.
Desprendimientos desplomes y derrumbes	Desprendimientos de elementos de montaje fijos, desplome de muros o hundimiento de zanjas o galerías
Choques y golpes	Choques contra objetos fijos, contra objetos móviles, golpes por herramientas manuales y eléctricas.
Maquinaria automotriz y vehículos	Atropello a peatones, choques y golpes entre vehículos, vuelco de vehículos y caída de cargas
Atrapamientos por mecanismos en movimiento	Atrapamientos por herramientas manuales, portátiles eléctricas. Atrapamientos por mecanismos en movimiento.
Cortes	Cortes por herramientas portátiles eléctricas o manuales y cortes por objetos superficiales o punzantes.
Proyecciones	Impacto por fragmentos, partículas sólidas o líquidas.
Contactos térmicos	Contactos con fluidos o sustancias calientes / fríos. Contacto con proyecciones.
Contactos químicos	Contacto con sustancias corrosivas, irritantes/ alergizantes u otras.
Contactos eléctricos	Contactos directos, indirectos o descargas eléctricas
Arcos eléctricos	Calor, proyecciones o radiaciones no ionizantes.
Sobreesfuerzos	Esfuerzos al empujar, tirar de objetos. Esfuerzos al levantar, sostener o manipular cargas.
Explosiones	Máquinas, equipos y botellas de gases.
Incendios	Acumulación de material combustible. Almacenamiento y trasvase de productos inflamables. Focos de ignición, proyecciones de chispas o partículas calientes.
Confinamiento	Golpes, choques, cortes o atrapamientos por espacio reducido. Dificultades para rescate.
Tráfico	Choques entre vehículos o contra objetos fijos Atropello de peatones o en situaciones de trabajo Vuelco de vehículos por accidente de tráfico.

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

Tabla 23. Situaciones pormenorizadas de riesgo

a) Organización de la seguridad

Coordinador en Materia de Seguridad y Salud

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

Jefes de Trabajo de las Empresas Contratistas

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

Vigilante de Seguridad de la Empresa Contratista

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

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

b) 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.

c) Formación

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

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

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

d) Medicina Preventiva

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

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

e) 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.

4.7.6 Locales de descanso y servicios higiénicos

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

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

4.7.7 Disposiciones de Emergencia

a) Vías de evacuación

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

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

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

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

b) Iluminación

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

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

c) Instalaciones de suministros 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.

d) Ventilación

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

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

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

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

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

e) Ambientes nocivos y factores atmosféricos

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

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

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

f) Detección y lucha contra incendios

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

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

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

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

g) Primeros auxilios

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

La Empresa Contratista dispondrá de un botiquín de obra para prestar primeros auxilios. Asimismo, deberá estar disponible en la obra un vehículo, para evacuar a un posible accidentado.

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

4.7.8 Plan de seguridad

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

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

4.7.9 Pliego de condiciones

- **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

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

- **Normativa interna de Red Eléctrica**

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

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

***C*apítulo 5. TÉCNICAS Y PARTICULARES**

5.1. Ámbito de aplicación

Este documento tiene por objeto establecer los requisitos de carácter ambiental que se deben cumplir en los trabajos de obra civil y montaje electromecánico que se van a realizar para construcción de la subestación de 400 kV de Baza, 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.

5.2. Requisitos de carácter general

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

5.2.1 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.

5.2.2 Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible

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

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

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

5.2.3 Cambios de aceites y grasas

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

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

5.2.4 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.

5.2.5 Gestión de residuos

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

- **Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición.** Incluido como anexo 2.1. al presente documento.
- **Plan de gestión de residuos de construcción y demolición:** Entregado por el contratista, aprobado por la dirección facultativa y aceptado por el Departamento de Medio Ambiente de REE.

5.2.6 Incidentes con consecuencias ambientales

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

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

El riesgo de incendios viene asociado principalmente al almacenamiento y manipulación de

productos inflamables. Se establecerán todas las medidas de prevención de incendios y se prestará especial atención para que los productos inflamables no entren en contacto con fuentes de calor: trabajo de soldaduras, recalentamiento de máquinas, cigarros etc. En el lugar de trabajo se contará con los extintores adecuados.

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

5.3. Requisitos específicos para los movimientos de tierra

5.3.1 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.

5.3.2 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.

5.3.3 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.

5.3.4 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.

5.3.5 Movimientos de tierra para la explanación

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

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

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

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

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

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

5.4. Requisitos específicos para la obra civil

Limpieza de cubas de hormigonado

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

5.5. Requisitos específicos para el montaje electromecánico

5.5.1 Llenado de equipos con aceite

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

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

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

5.5.2 Llenado de equipos con SF6

El llenado de equipos con SF6 se llevará a cabo por personal especializado, evitándose así fugas de gas a la atmósfera. Las botellas de SF6 (vacías y con SF6 que no se ha utilizado en el llenado) serán retiradas por el proveedor para garantizar la adecuada gestión de las mismas.

5.6. 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.

PARTE IV. PRESUPUESTO

	Precio unitario	Unidades	Precio total
1. Servicios iniciales			€ 440.000,00
1.1 Ingeniería	€ 140.000,00	1	€ 140.000,00
1.2 Tramitaciones	€ 10.000,00	1	€ 10.000,00
1.3 Estudios medio ambiente	€ 40.000,00	1	€ 40.000,00
1.4 Estudio terrenos	€ 250.000,00	1	€ 250.000,00
2. Materiales y equipos			€ 2.934.498,80
2.1 Aparamenta 220KV			€ 1.004.500,00
2.1.1 Interruptores	€ 34.500,00	5	€ 172.500,00
2.1.2 Seccionadores de barras	€ 14.500,00	10	€ 145.000,00
2.1.3 Seccionadores giratorios	€ 16.200,00	4	€ 64.800,00
2.1.4 Transformadores de intensidad	€ 14.200,00	15	€ 213.000,00
2.1.5 Transformadores de tensión	€ 15.800,00	18	€ 284.400,00
2.1.6 Autovávilas	€ 2.500,00	12	€ 30.000,00
2.1.7 Aisladores	€ 500,00	24	€ 12.000,00
2.1.8 Embarrados	€ 900,00	42	€ 37.800,00
2.1.9 Piezas de conexión	€ 45.000,00	1	€ 45.000,00
2.2 Estructura metálica	€ 2,60	136538	€ 354.998,80
2.3 Red de tierras			€ 25.000,00
2.3.1 Puntas Franklin	€ 5.000,00	1	€ 5.000,00
2.3.1 Conductor de cobre 120	€ 20.000,00	1	€ 20.000,00
2.4 Sistemas secundarios			€ 1.550.000,00
2.4.1 Protección y control	€ 750.000,00	1	€ 750.000,00
2.2.2 Sistemas de telecomunicaciones	€ 500.000,00	1	€ 500.000,00
2.4.5 Servicios auxiliares	€ 300.000,00	1	€ 300.000,00
3. Construcción			€ 2.320.000,00
3.1 Movimiento de tierras	€ 1.100.000,00	1	€ 1.100.000,00
3.2 Obra civil del parque	€ 800.000,00	1	€ 800.000,00
3.3 Edificios y casetas	€ 80.000,00	1	€ 80.000,00
3.4 Montaje electromecánico	€ 300.000,00	1	€ 300.000,00
3.5 Prueba y puesta en servicio	€ 40.000,00	1	€ 40.000,00
4. Otros servicios			€ 777.000,00
4.1 Almacenamiento y transporte	€ 600.000,00	1	€ 600.000,00
4.2 Vigilancia	€ 25.000,00	1	€ 25.000,00
4.3 Sistema de detección de incendios	€ 10.000,00	1	€ 10.000,00
4.4 CCTV	€ 20.000,00	1	€ 20.000,00
4.5 Iluminación	€ 8.000,00	1	€ 8.000,00
4.6 Grupo electrógeno	€ 14.000,00	1	€ 14.000,00
4.7 EPIS y herramientas	€ 100.000,00	1	€ 100.000,00

Tabla 24. Presupuesto

Por lo tanto, el presupuesto general es de **6.471.498,80 €**.

BIBLIOGRAFIA

Normativas técnicas aplicables:

- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2014). *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión*. BOE. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/05/09/337>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2008). *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión*. BOE. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2008/02/15/223>
- Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2002). *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT)*. BOE. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>
- Asociación Española de Normalización. (2022). *UNE-EN 50522: Puesta a tierra en instalaciones eléctricas de alta tensión de CA*. UNE <https://www.en.une.org>
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (2021). *IEC 61936-1: Power installations exceeding 1 kV AC – General requirements*. IEC Webstore. <https://webstore.iec.ch/publication/65474>
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (2021). *IEC 62271-100: Alternating-current circuit-breakers*. IEC Webstore. <https://webstore.iec.ch/publication/28763>
- IEEE. (2013). *IEEE Std 80: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. IEEE Xplore. <https://standards.ieee.org/standard/80-2013.html>
- IEEE. (2008). *IEEE Std 605: Guide for Design of Substation Rigid-Bus Structures*. IEEE Xplore. <https://standards.ieee.org/standard/605-2008.html>

Catálogos técnicos de fabricantes:

- ABB. (2005). *Descargadores de sobretensiones de alto voltaje – Guía para el Comprador*. ABB Group. <https://new.abb.com>
- Artech. (2022). *Catálogo de transformadores de medida de alta tensión*. Artech. <https://www.artech.com/es/productos/transformadores-de-medida-alta-tension>

- Hitachi Energy. (2022). *Pararrayos de óxidos metálicos – Serie POLIM*. Hitachi. <https://www.hitachienergy.com/es/es/products-and-solutions/high-voltage-products/surge-arresters>
- POINSA. (2018). *Catálogo de aisladores eléctricos de porcelana y compuestos*. Porcelanas Industriales S.A. <http://www.poinsa.com>
- Siemens Energy. (2021). *High Voltage Products Portfolio*. Siemens. <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-transmission/portfolio.html>
- Schneider Electric (MESA). (2020). *Catálogo de celdas y seccionadores de alta tensión*. Schneider Electric España. <https://www.se.com/es/es/download/docList/MESA/>
- Red Eléctrica de España. (2005). P.O. 12.2: Instalaciones conectadas a la red de transporte. CNMC. <https://www.cnmc.es/sites/default/files/PO%2012.2%20Instalaciones%20conectadas%20a%20la%20red%20de%20transporte.pdf>
- Red Eléctrica de España. (2022). *Red de transporte en Andalucía: Subestaciones y líneas de 220/400 kV*. REE. <https://www.ree.es/es/datos/red-de-transporte/estructura-por-ccaa/andalucia>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2023). *Plan de Desarrollo de la Red de Transporte 2021–2026*. MITECO. https://www.planificacionelectrica.es/ree_plan_desarrollo_2021-26.pdf
- AEMET. (2011). *Guía Resumida del Clima en España (1981–2010)*. Agencia Estatal de Meteorología. https://www.aemet.es/documentos/es/divulgacion/publicaciones/Guia_Resumida_1981-2010.pdf

Libros técnicos y manuales:

- Romero Escobar, J. C. (2014). *Diseño de Subestaciones Eléctricas*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Enríquez Harper, G. (2002). *Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas*. Ed. Limusa.
- Fraile Mora, J. (2015). *Líneas e Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión*. UNED.
- McDonald, J. (Ed.). (2012). *Electric Power Substations Engineering*. CRC Press.

- CIGRÉ. (2019). *Green Book – Substations*. CIGRÉ / Springer.
- Mesa, F. et al. (2011). *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*. UNED.
- Rural Utilities Service (USDA). (2001). *Design Guide for Rural Substations*. Bulletin 1724E-300. https://www.rd.usda.gov/files/UEP_Bulletin_1724E-300.pdf

Documentación académica y científica:

- Raull-Martín, J. C. (2000). *Diseño de redes de tierra en subestaciones eléctricas: materiales y fórmulas más utilizadas*. Ing. Investig. Technol., UNAM. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2000.01n4.017>
- Taha, M. (2018). *Design of 220kV Substation Grounding Grid with different resistivity soil*. CIGRÉ Conference. <https://doi.org/10.1109/CIGRÉ.2018.8592480>
- Zhang, B. et al. (2019). *Insulation Coordination Study of 400 kV High Voltage Substation*. IEEE PES GTD Asia. <https://doi.org/10.1109/GTDAsia.2019.8713176>
- Soto, F. et al. (2022). *Protecciones eléctricas en subestaciones eléctricas: análisis y criterios de confiabilidad*. Sapienza: Int. J. of Interdisciplinary Studies.
- CIGRÉ Task Force C4.4.02. (2017). *Guidelines for Substation Grounding System Design and Maintenance*. CIGRÉ Technical Brochure 680.
- IEEE Power & Energy Society. (2012). *IEEE Std 998 – Direct Lightning Stroke Shielding of Substations*. <https://standards.ieee.org/standard/998-2012.html>
- Cuartero García, A. (s. f.). *Proyecto Técnico Administrativo de una subestación en la Red de Transporte española para la evacuación de energía eólica* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.
- Sánchez Mingarro, M. *Apuntes de Centrales y Subestaciones* (Curso 2022-2023)
- Quintana del Olmo, A. (2018). *Subestación de transporte de 220 kV en entorno rural para evacuación de generación en régimen especial* [Trabajo de Fin de Grado]. Universidad Pontificia Comillas.