



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

**PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN
PARA RED DE TRANSPORTE**

Autor: Pablo García – Patiño Gómez

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título “PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA RED DE TRANSPORTE” en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2023/24 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.: Pablo García-Patiño Gómez


Fecha: 04/ 10/ 24

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Matías Juan Sánchez Mingarro

Fecha: 06/10/2024





COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Autor: Pablo García – Patiño Gómez

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Agradecimientos

A mi familia.

A Segovia.

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

Autor: García-Patiño Gómez, Pablo.

Director: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI– Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente Trabajo de Fin de Grado recogerá los aspectos imprescindibles para realizar un proyecto técnico administrativo de una subestación eléctrica de alta tensión para redes de transporte. La subestación propuesta como objeto de estudio y diseño será una subestación elevadora de 30/132 kV, abastecida por cuatro parques fotovoltaicos de potencia total 450 MWp, dichos parques se encuentran en construcción durante la elaboración de este documento.

La subestación eléctrica elevadora a diseñar será alimentada por 4 parques fotovoltaicos en proceso de construcción durante la redacción de este documento. Estos parques se encuentran en la comunidad autónoma de Castilla y León, concretamente en la provincia de Segovia, entre los municipios de Valverde del Majano, Martín Miguel y Abades. La subestación objeto de estudio se situará en Abades. El principal objetivo de la subestación consistirá en el elevar la tensión de manera que se puedan conectar los parques fotovoltaicos mencionados con la red eléctrica española a través de la subestación eléctrica Segovia propiedad de Red Eléctrica Española.

Por medio del presente documento, se recogerán todas las especificaciones necesarias para la construcción de la subestación mencionada, atendiendo a las distintas normativas vigentes que influyan en el dimensionamiento de la misma o en la elección de su aparamenta.

Los parques fotovoltaicos de los que se hará referencia el resto del proyecto son los siguientes: Castaño Solar, Pato Solar, Baobab Solar y Serbal Solar, contando cada uno con unas potencias instaladas de 120 MWp, 100 MWp, 85 MWp y 145 MWp respectivamente. Todos ellos evacuarán la energía producida a una tensión de 30 kV por medio de líneas subterráneas hasta la subestación objeto de estudio, la cual se denominará Subestación Eléctrica Transformadora Castaño (SET Castaño en adelante). La SET Castaño evacuará por medio de líneas aéreas 132 kV hacia la SET Majano 30/132/400 kV.

TECHNICAL AND ADMINISTRATIVE PROJECT FOR A HIGH VOLTAGE ELECTRICAL SUBSTATION FOR THE TRANSPORT NETWORK

Author: García-Patiño Gómez, Pablo.

Supervisor: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Collaborating Entity: ICAI –Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

This final project will cover the essential aspects required to carry out a technical and administrative project for a high-voltage electrical substation intended for transmission networks. The proposed substation, which serves as the subject of study and design, will be a step-up substation with a voltage transformation of 30/132 kV. It will be powered by four photovoltaic plants with a total capacity of 450 MWp, which are under construction at the time of writing this document.

The step-up electrical substation to be designed will be powered by four photovoltaic plants under construction during the drafting of this document. These plants are located in the autonomous community of Castilla y León, specifically in the province of Segovia, between the municipalities of Valverde del Majano, Martín Miguel, and Abades. The substation under study will be located in Abades. The main objective of the substation is to step up the voltage in order to connect the aforementioned photovoltaic plants to the Spanish electrical grid via the Segovia electrical substation, which is owned by Red Eléctrica Española.

This document will gather all the necessary specifications for the construction of the aforementioned substation, adhering to the relevant regulations that influence its design and the selection of its equipment.

The photovoltaic plants referenced in this project are as follows: Castaño Solar, Pato Solar, Baobab Solar, and Serbal Solar, each with installed capacities of 120 MWp, 100 MWp, 85 MWp, and 145 MWp, respectively. All will evacuate the energy they generate at a voltage of 30 kV via underground lines to the substation under study, which will be named the Castaño Step-Up Electrical Substation (hereinafter referred to as SET Castaño).

UNIDADES DE MEDIA

Longitud, área y volumen

m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico

Masa

g	Gramo
kg	Kilogramo

Tiempo

s	Segundo
h	Hora
Hz	Hercio

Fuerza, energía y potencia

N	Newton
Pa	Pascal
W	Vatio
kW	Kilovatio
MW	Megavatio
VA	Voltiamperio
Ah	Amperio hora

Temperatura

°C Grado Celsius

K Grado Kelvin

Electricidad y magnetismo

A Amperio

V Voltio

kV ef Kilovoltio eficaz

kV cr Kilovoltio cresta

Ω Ohmio

GLOSARIO

1. CTE: Código Técnico de la edificación
2. IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
3. ISO: International Organization for Standardization
4. ITC: Instrucción Técnica Complementaria
5. LAT: Línea de Alta Tensión
6. ONAN: Oil natural air natural
7. ONAF: Oil natural air forced
8. RAT: Reglamento de Alta Tensión
9. RD: Real Decreto
10. SSAA: Servicios Auxiliares
11. UNE: Una Norma Española
12. UNE-EN: Una Norma Española-European Norm

NORMATIVA Y OTROS DOCUMENTOS DE REFERENCIA

A continuación se recogen las distintas normativas aplicables al diseño de la subestación eléctrica en cuestión para los distintos aspectos recogidos en el documento.

Legislación

- BOE-A-2023-16636: Resolución de 5 de julio de 2023, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se otorga a Castaño Solar, SL, autorización administrativa de construcción para la instalación fotovoltaica FV Castaño Solar, de 120 MW de potencia instalada y sus infraestructuras de evacuación, en los términos municipales de Abades, Martín Miguel, Valverde del Majano y Segovia (Segovia), y se declara, en concreto, su utilidad pública.
- Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-RAT); aprobado por Real Decreto 337/2014 de 9 de mayo.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC-RAT 01 a 23) aprobado en Real Decreto 337/2014.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC-LAT 01 a 09) aprobado en Real Decreto 228/2008
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-BT 01 a 51, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.
- Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida.

- IEEE Std. 80-2000. IEEE Guide for safety in AC substation grounding. January 2000.

Otros documentos

- Normas UNE-EN.
- Documentos teóricos relacionados con la materia proporcionados por la Universidad Pontificia de Comillas ICAI.

Documentos teóricos proporcionados por Structuralia “*Proyecto técnico administrativo de una subestación eléctrica*”.

Índice de la memoria

UNIDADES DE MEDIA	11
GLOSARIO 13	
NORMATIVA Y OTROS DOCUMENTOS DE REFERENCIA	14
Capítulo 1. HIPÓTESIS DE DISEÑO	8
1.1 emplazamiento.....	8
1.2 condiciones ambientales.....	8
1.3 datos de cortocircuito	9
1.4 potencia a transformar	9
Capítulo 2. ALCANCE DE LAS TECNOLOGÍAS	10
2.1 configuración.....	10
2.1.1 posiciones parque 132 kv	10
2.1.2 posiciones de transformación 30/132 kv	11
2.1.3 posiciones parque 30 kv	12
2.1.4 sistema de servicios auxiliares	14
2.1.5 sistema de puesta a tierra.....	14
2.1.6 instalaciones auxiliares	16
2.2 especificaciones de las posiciones.....	17
2.3 parámetros de diseño	18
2.3.1 intensidad nominal	18
2.3.2 cálculo de distancias y aislamientos	18
2.4 disposición de la instalación.....	20
2.4.1 estructuras y soportes metálicos.....	20
2.4.2 distancias.....	21
Capítulo 3. POSICIONES DE 132 kV.....	22
3.1 generalidades de los componentes.....	22
3.2 posiciones de línea.....	23
3.2.1 módulos híbridos	23

3.2.2 transformadores de tensión inductivos.....	25
3.2.3 autoválvulas.....	26
3.3 posiciones de barra.....	27
3.4 Posición de acoplamiento.....	28
Capítulo 4. POSICIONES DE TRANSFORMACIÓN 30/132 kv.....	33
4.1 generalidades de los componentes.....	33
4.1.1 transformador de potencia 30/132 kV 250 MVA.....	33
4.1.2 Protección transformador.....	34
4.1.3 Autoválvulas.....	35
4.1.4 Transformadores inductivos de tensión 132 kV.....	37
4.1.5 Transformadores de intensidad 132 kV.....	38
4.1.6 Interruptor de potencia 132 kV.....	40
4.1.7 Seccionador tripolar con puesta a tierra 132 kV.....	40
Capítulo 5. POSICIONES 30 kV.....	42
5.1 justificación de diseño.....	42
5.2 especificaciones de las celdas.....	43
5.2.1 celda de línea con seccionamiento de cables.....	45
5.2.2 celda de medida.....	47
5.2.3 celda de remonte.....	48
5.2.4 celda de transformador.....	53
5.2.5 celda de servicios auxiliares.....	50
5.2.6 celda de acoplamiento.....	51
5.2.7 interruptores automáticos.....	54
5.2.8 transformadores de intensidad.....	55
5.2.9 transformadores de tensión.....	56
Capítulo 6. OBRA CIVIL.....	58
6.1 movimiento de tierras.....	58
6.2 acceso y vallado.....	58
6.3 drenajes.....	59
6.4 edificio de mando.....	59
Capítulo 7. SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIONES.....	60
7.1 sistema protectivo.....	60

7.2 sistema de control.....	63
Capítulo 8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	64
Parte II ANEXOS.....	65
ANEXO I: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE TIERRAS	66
1.1 parámetros de diseño	67
1.2 procedimiento para el dimensionamiento.....	68
1.2.1 características del suelo.....	70
1.2.2 corrientes máximas de puesta a tierra	72
1.2.3 tiempo máximo de eliminación del defecto.....	72
1.2.4 tensión de paso y tensión de contacto máxima.....	73
1.2.5 parámetros de diseño	76
1.2.6 resistencia de puesta a tierra	77
1.2.7 corrientes de defecto.....	78
1.2.8 sección mínima del conductor	78
1.2.9 cálculo de tensiones de paso y de contacto	83
1.2.10 comprobación de los valores obtenidos	88
ANEXO II: CÁLCULO DE DISTANCIAS.....	89
1.1 niveles de aislamiento	89
1.2 distancias mínimas en el aire.....	90
1.2.1 distancias mínimas entre fases	90
1.2.2 distancias mínimas entre fases y tierra	91
1.2.3 distancias mínimas para el diseño.....	91
1.3 distancias del resto de elementos.....	91
1.3.1 pasillos de servicio	92
1.3.2 Zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación	93
1.3.3 Zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación	94
ANEXO III: DIMENSIONAMIENTO DE CABLES Y EMBARRADOS.....	97
1.1 intensidades nominales.....	97
1.2 dimensionamiento conductores	98

1.2.1 Densidad de corriente admisible.....	98
1.3 dimensionamiento embarrados.....	100
ANEXO IV: CÁLCULO DE CAPACIDAD PARA BATERIAS CORRIENTE	
CONTINUA 101	
ANEXO V: CÁLCULO DE CIMENTACIONES..... 102	
1.1 peso propio	102
1.2 vibraciones	102
1.3 cálculo de sección mínima	103
PLANOS 105	
ESTUDIO ECONÓMICO..... 106	
ESPECIFICACIONES FABRICANTES..... 110	

Índice de figuras

Ilustración 1-1: disposición geográfica de la SET Castaño	8
Ilustración 5-1 Diagrama unifilar de la celda de línea con seccionamiento de cables	47
Ilustración 5-2 Diagrama unifilar de la celda de medida.....	48
Ilustración 5-3 Diagrama unifilar de la celda de remonte	50
Ilustración 5-4 Diagrama unifilar de la celda de transformador.....	54
Ilustración 5-5 Diagrama unifilar de la celda de servicios auxiliares.....	51
Ilustración 5-6 Diagrama unifilar de la celda de acoplamiento.....	52
Ilustración 0-1:Tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta	67
Ilustración 0-1: Representación distancia de seguridad G	95

Índice de tablas

Tabla 1-1 Condiciones ambientales en la zona prevista para la construcción de la SET.....	9
Tabla 2-1 Especificaciones de las posiciones.....	17
Tabla 2-2 Líneas de fuga mínima por posición.....	18
Tabla 2-3 Clasificación parques según nivel de aislamiento.....	19
Tabla 3-1 Características generales posición 132 kV.....	22
Tabla 3-2 Características del transformador de tensión EMF 145 kV.....	25
Tabla 3-3 Características autoválvula HTS 132.....	27
Tabla 3-4 Especificaciones tubo 150/136.....	28
Tabla 3-5 Especificaciones aislador C-10 650.....	28
Tabla 4-1 Especificaciones transformador 20/132 kV 250MVA.....	34
Tabla 4-2 Condiciones de funcionamiento del transformador 30/132 kV 250 MVA.....	34
Tabla 4-3 Poder de corte para 220 VCC del DGPT-2.....	35
Tabla 4-4 Características autoválvula HTS 132.....	36
Tabla 4-5 Especificaciones autoválvula HE 36/R.....	37
Tabla 4-6 Especificaciones transformados de tensión EMF 145 kV.....	38
Tabla 4-7 Especificaciones del transformador de corriente IMB 145.....	39
Tabla 4-8 Especificaciones Interruptor 3AP1 145 kV.....	40
Tabla 4-9 Especificaciones seccionador 3G3C-145/2750.....	41
Tabla 5-1 Especificaciones celdas CBGS-1.....	44
Tabla 5-2 Especificaciones celda de línea con seccionamiento de cables.....	46
Tabla 5-3 Especificaciones de la celda de medida.....	48
Tabla 5-4 Especificaciones celda de remonte.....	49
Tabla 5-5 Especificaciones de la celda de acometida con seccionador.....	53
Tabla 5-6 Especificaciones de la celda de servicios auxiliares.....	51
Tabla 5-7 Especificaciones celda de acoplamiento.....	52
Tabla 5-8 Especificaciones interruptor automático celdas media tensión.....	55
Tabla 5-9 Especificaciones transformador de intensidad en celdas de media tensión.....	56

Tabla 5-10 Especificaciones transformadores de tensión empleados en celdas de media tensión.....	57
Tabla 7-1 Relés integrados en terminal IRV	62
Tabla 7-2 Relés de protección del transformador de potencia	62
Tabla I-0-1: Profundidad de los materiales	70
Tabla I-0-2: Resistividades aparentes superficiales.....	71
Tabla I-0-3: Valor de Uca en función de tf según ITC-RAT 13	73
Tabla I-0-4 Tensiones de paso y contacto máximas.....	75
Tabla I-0-5: Valores característicos para el cálculo de Rg	77
Tabla I-0-6: Parámetros para el dimensionamiento de los conductores de la red de tierras	80
Tabla I-0-7: Parámetros característicos para el cálculo de las tensiones de paso y de contacto	86
Tabla I-0-8 Tensiones de paso y contacto resumidas	88
Tabla II-0-1: Niveles de aislamiento para 132 kV y 30 kV.....	89
Tabla II-0-2: Distancias mínimas en el aire entre fases.....	90
Tabla II-0-3: Distancias mínimas para el diseño	91
Tabla II-0-4 Anchuras mínimas según el tipo de pasillo.....	92
Tabla II-0-5: Altura mínima de elementos en tensión sin protección	93
Tabla II-0-6: Distancias mínimas medidas en horizontal a los elementos en tensión.....	94
Tabla II-0-7: Distancias mínimas de seguridad entre cierres y elementos en tensión.....	95
Tabla III-0-1 Distintas densidades de corriente en función de la sección.	98
Tabla III-0-2 Especificaciones LA-545	99
Tabla III-0-3 Especificaciones tubos embarrados	100
Tabla VI-0-1 Consumo de potencia para el cálculo de baterías	101
Tabla V-0-1 Esfuerzos debidos al peso propio de la aparamenta.....	102
Tabla V-0-2 Secciones mínimas para la cimentación	104

Capítulo 1. HIPÓTESIS DE DISEÑO

Se presentan los distintos parámetros fundamentales para el diseño de la subestación.

1.1 EMPLAZAMIENTO

La subestación será construida entre los municipios de Abades, Martín Miguel y Valverde del Majano, en la provincia de Segovia.

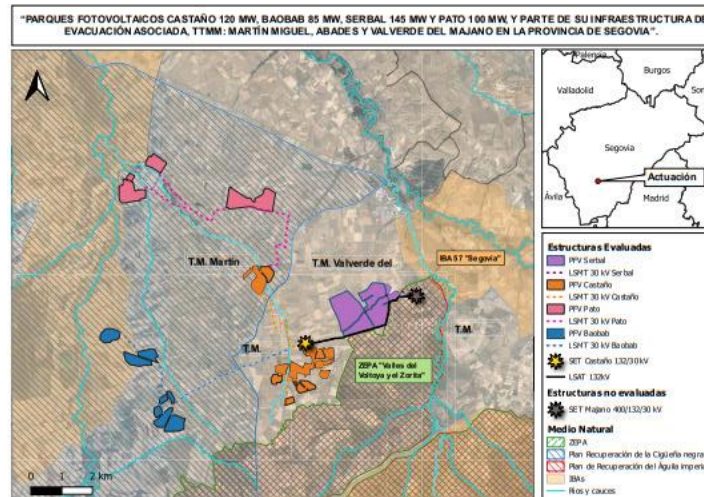


Ilustración 1-1: disposición geográfica de la SET Castaño

1.2 CONDICIONES AMBIENTALES

La siguiente tabla recoge parámetros relacionados con la disposición geográfica de la subestación, influyentes en cálculos de dimensionamiento de la instalación y sus equipos.

Altitud	1005 m
Aceleración sísmica	$< 0,06 \text{ m/s}^2$
Temperatura máxima absoluta	38,7 °C

Temperatura mínima absoluta	-13,2 °C
Velocidad media del viento	12,3 km/h

Tabla 1-1 Condiciones ambientales en la zona prevista para la construcción de la SET

Dada la naturalidad agrícola de la zona donde se emplazaría la subestación, acorde con ITC-LAT 07 se ha tomado un nivel de contaminación I (Ligero)

1.3 DATOS DE CORTOCIRCUITO

Según el “Informe anual de potencia de cortocircuito 2022 SEPE. 09/10/2023” de REE, podemos observar que la corriente de cortocircuito mínima registrada en zonas próximas a la de la subestación en cuestión es de 31,36 kA. El tiempo adoptado como máximo para el despeje de faltas será de 0,5 segundos.

1.4 POTENCIA A TRANSFORMAR

Como se ha indicado en la descripción del proyecto, la potencia total a transformar será de 450 MVA.

Capítulo 2. ALCANCE DE LAS TECNOLOGÍAS

Este capítulo pretende ilustrar de manera esquemática lo representado en los planos “*PLANTA GENERAL*” y “*ALZADO*”. Se mencionará la aparamenta a utilizar tanto en el parque de media tensión como en el de alta y en la posición de transformación. En capítulos posteriores se procederá a un desarrollo técnico más profundo sobre los distintos elementos de cada posición.

2.1 CONFIGURACIÓN

2.1.1 POSICIONES PARQUE 132 KV

La aparamenta a utilizar será de tecnología AIS (*Air Insulated Switchgear*) económicamente más viable que sus dos alternativas, GIS (*Gas Insulated Switchgear*) o tecnología que hibrida cualidades de ambas.

La configuración elegida para este parque es de barra partida mediante interruptor seccionador, confiriendo versatilidad y flexibilidad a la subestación al permitir la separación de circuitos para su correcto funcionamiento y mantenimiento. Esta configuración también presenta ventajas por la naturaleza de las fuentes de alimentación de la subestación, permitiendo aislarlas de manera independiente.

El propietario del parque de 132 kV de la subestación será el propio promotor.

Las posiciones de 132 kV estarán constituidas por:

- 2 posiciones de línea.
- 2 posiciones de barra.
- 1 posición de acoplamiento.

2.1.1.1 posiciones de línea

La aparamenta que constituye cada posición, siendo ambas idénticas, es la siguiente:

- 1 Interruptor seccionador con puesta a tierra híbrido con aislamiento SF₆ conformado por:
 - o 2 Seccionadores trifásicos.
 - o 1 Interruptor automático tripolar.
 - o 3 Transformadores de intensidad.
- 6 Pararrayos-autoálvulas (3 previos al equipamiento híbrido y 3 posteriores)

2.1.1.2 posiciones de barra

La aparamenta que constituye cada posición, siendo ambas idénticas, es la siguiente:

- 1 Transformador de tensión inductivo conectado a la fase central.

2.1.1.3 posiciones de acoplamiento

Hace referencia a la aparamenta necesaria para poder obtener una configuración de barra partida.

- 2 Seccionadores tripolares con puesta a tierra.
- 1 Interruptor tripolar.
- 6 Transformadores de intensidad.

2.1.2 POSICIONES DE TRANSFORMACIÓN 30/132 KV

Consta de dos posiciones idénticas con la siguiente aparamenta:

- 1 Interruptor de tripolar 132 kV.
- 1 Seccionador tripolar con puesta a tierra 132 kV.
- 3 Transformadores de tensión inductivos 132 kV.
- 3 Transformadores de intensidad 132 kV.
- 6 Pararrayos-autoválvula:
 - o 3 situadas en el parque de 30 kV

- 3 situadas en el parque de 30 kV
- 1 Transformador 30/132 kV 250 MVA.

2.1.3 POSICIONES PARQUE 30 KV

Se emplearán celdas de interior blindadas con aislamiento mediante hexafluoruro de azufre (SF6). Constará de una barra simple partida por los mismos motivos que el parque de 132 kV.

El parque de 30 kV estará constituido por 2 posiciones idénticas que contarán con las siguientes posiciones internas:

- 4 Posiciones de línea con seccionamiento de cables.
- 1 Posición de medida.
- 1 Posición de transformador.
- 1 Posición de servicios auxiliares.

Adicionalmente se incluirá una posición de remonte y otra de acoplamiento que permita acoplar ambas posiciones.

2.1.3.1 posiciones de línea

Se utilizarán celdas de salida de línea de las siguientes características:

- Sistema general de barras colectoras.
- Interruptor-seccionador de tres posiciones (Cerrado-Abierto-Puesta a tierra)
- Mecanismo operativo del interruptor-seccionador.
- 3 transformadores de intensidad.

2.1.3.2 posición de acoplamiento

La celda de acoplamiento proporcionará la configuración de barra partida al parque y constará de los siguientes elementos:

- Sistema general de barras colectoras.
- Seccionador de tres posiciones (Cerrado-Abierto-Puesto a tierra).
- Mecanismo operativo del seccionador.
- Interruptor automático.
- Mecanismo operativo del interruptor automático.
- 3 Transformadores de intensidad.
- Sistema de barras colectoras inferior.

El resto de posiciones serán explicadas más detalladamente en el capítulo 4.

2.1.4 SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES

El sistema de servicios auxiliares es el encargado de generar y distribuir la energía necesaria para dar servicio a la instalación. Estos sistemas no solo garantizan la operación continua y eficiente en condiciones normales y de emergencia, sino que también aseguran la integridad y seguridad del equipamiento y del personal.

Los servicios auxiliares abarcan desde la alimentación la aparamenta, de sistemas de control, comunicaciones y protección, sistemas de PCI, hasta sistemas mecánicos y de climatización necesarios para el correcto funcionamiento de los equipos. Esta infraestructura esencial es responsable de mantener la operatividad de los dispositivos de la subestación incluso durante interrupciones del suministro principal. Su adecuada implementación y gestión son, por lo tanto, fundamentales para asegurar una distribución eléctrica fiable y eficaz.

2.1.4.1 Sistema de servicios auxiliares de corriente alterna

La tensión nominal a proporcionar será 230 / 400 V a una frecuencia nominal de 50 Hz. Para proporcionar energía a la tensión propuesta se instalará un centro de transformación compacto de la empresa Ormazabal, modelo “*miniblock*” sujeto a la norma IEC 62271-202, permitiendo transformar hasta 630 kVA con un nivel de aislamiento de hasta 24 kV.

2.1.4.2 Sistema de servicios auxiliares de corriente continua

Atendiendo a las opciones presentadas en el ITC-RAT 12, se instalará un sistema de fuente conmutada rectificador batería que permita suministrar energía a tensión de 220 V, necesaria para alimentar el sistema de protección y control mencionado en el apartado 2.1.4, y el sistema de fuerza. El equipo de fuente conmutada batería estará dimensionado en el “*ANEXO IV*”, resultando en una batería de 750 Ah.

2.1.5 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Se ha diseñado una red de tierras acorde con la norma ITC-RAT 13, conformada por una malla de cable de cobre desnudo de sección de 240 mm², siendo las dimensiones de la misma

100x80 m, atravesada por conductores reticulados de 5x5 m. Esta malla se encuentra a una profundidad de 0,5 m y cuenta con 9 electrodos dispuestos tanto en las esquinas exteriores del perímetro de la malla como en los puntos medios de la diagonal que une dichos extremos con el centro del rectángulo y en el propio centro.

El objetivo de la red de tierras es garantizar la seguridad de las personas y de los equipos de la instalación. Para verificar que se cumple este objetivo, se ha aproximado el modelo de manera que se han supuesto 4 tipos de terrenos diferentes en el interior de la subestación: grava, hormigón, acero y el propio terreno arenoso previo al diseño de la instalación. Dentro del Anexo I se recogen todos los cálculos contemplados para la obtención de las tensiones de paso y de contacto máximas admisibles, y posteriormente las tensiones de paso y de contacto máximas dentro de la instalación, siendo estas menores que las admisibles.

Deben de conectarse a tierra según el ITC-RAT 13, todo aquel elemento metálico de la instalación que deban de estar en tensión en caso de un funcionamiento ordinario pero que puedan llegar a estarlo en caso de averías o incidentes:

- Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos.
- Las puertas metálicas de los locales.
- Las vallas y cercas metálicas.
- Las columnas, soportes, pórticos, etc.
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión.
- Las armaduras metálicas de los cables.
- Las tuberías y conductos metálicos.
- Las carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.
- Hilos de guarda o cables de puesta a tierra de las líneas aéreas.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.
- Pantalla de separación de los circuitos primario y secundario de los transformadores de medida o protección.

Adicionalmente, se han de conectar a la red de tierras por motivos de servicio:

- Los neutros de los transformadores, que lo precisen, en instalaciones o redes con neutro a tierra de forma directa o a través de resistencias o bobinas.
- El neutro de los alternadores y otros aparatos o equipos que lo precisen.
- Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida o protección, salvo que existan pantallas metálicas de separación conectadas a tierra entre los circuitos de alta y baja tensión de los transformadores.
- Los limitadores, descargadores, autoválvulas, pararrayos, para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas.

2.1.6 INSTALACIONES AUXILIARES

Dentro de una subestación podemos encontrar las siguientes instalaciones auxiliares:

- Sistema de protección contra incendios (PCI): el riesgo de incendio en una subestación eléctrica es significativo debido a la presencia de equipos que se encuentran a altas tensiones, así como equipos que contienen aceites y otros materiales inflamables. Es vital para el sistema PCI ser capaz de detectar el incendio, proceder a su extinción, dar alarma y ejecutar un plan de emergencia.
- Sistema anti intruismo: la seguridad de la instalación es fundamental para prevenir robos y accesos no autorizados que puedan comprometer la integridad del suministro eléctrico. Las funciones de este tipo de sistemas engloban la vigilancia mediante sensores o cámaras y gestionando los controles de acceso.
- Climatización: el paso de corriente tiene como consecuencia la disipación de calor al ambiente por medio del efecto Joule, estas variaciones de temperatura pueden afectar a la vida útil de los equipos de la subestación. Los sistemas de climatización comprenden desde aires acondicionados hasta sensores de humedad.
- Alumbrado y fuerza: estos sistemas brindan apoyo para que se puedan desarrollar correctamente las tareas de mantenimiento y limpieza de forma segura y eficiente como por ejemplo el alumbrado de emergencia o las tomas de corriente.

- Ventilación: alineado con los objetivos de los sistemas de climatización también pretende minimizar los riesgos de intoxicaciones debido a gases nocivos que se puedan encontrar en el interior de la subestación, también son fundamentales para la refrigeración de ciertos equipos.

Este tipo de sistemas no serán objeto de estudio del presente proyecto.

2.2 ESPECIFICACIONES DE LAS POSICIONES

La siguiente tabla recoge las características a las que estarán referenciadas los equipos que conforman las posiciones de la subestación, las cuales vienen definidas en la norma ITC-RAT 12, apartado 1.2 recogidas en “Tabla 1” y “Tabla 2”:

Magnitud	Posición 132 kV	Posición 30 kV
Tensión nominal (kV eficaces)	132	30
Tensión más elevada para el material (kV eficaces)	145	36
Tensión soportada a impulso tipo rayo (kV cresta)	650	170
Tensión soportada a frecuencia industrial (kV eficaces)	275	70

Tabla 2-1 Especificaciones de las posiciones

Se tomará una línea de fuga de 16 mm/kV, valor aconsejado por la norma ITC-LAT 07 para un terreno con nivel de contaminación I, por lo que particularizando para cada posición:

	Posición 132 kV	Posición 30 kV
Línea de fuga mínima (mm)	2112	480

Tabla 2-2 Líneas de fuga mínima por posición

2.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Se procede a justificar detalladamente los distintos parámetros escogidos para el diseño de la instalación:

2.3.1 INTENSIDAD NOMINAL

Consultar “ANEXO III” para el detalle del cálculo, resultando

- Intensidad nominal parque 132 kV = 1093,47 A
- Intensidad nominal parque 30 kV = 4811,25 A

2.3.2 CÁLCULO DE DISTANCIAS Y AISLAMIENTOS

Con el apoyo de los cálculos y selecciones de distancias demostrados en el “ANEXO II”, se diseñará la coordinación del aislamiento de la instalación acorde con la norma ITC-RAT 12. El diseño coordinación del aislamiento es el proceso mediante el cual se selecciona la tensión normalizada que soportarán los equipos, considerando las sobretensiones que puedan surgir, las protecciones que puedan aplicar y las condiciones ambientales. El principal objetivo de esta práctica es disminuir el riesgo de fallo hasta valores aceptables.

Según las tensiones soportadas en la instalación objeto del proyecto, y acorde con la norma ITC-RAT 12 dónde segrega los valores de aislamiento nominales en los siguientes grupos:

- Grupo A. Tensión más elevada del material mayor que 1 kV y menor o igual de 36 kV.
- Grupo B. Tensión más elevada del material mayor que 36 kV y menor o igual de 245 kV.
- Grupo C. Tensión más elevada del material mayor de 245 kV.

Observamos que podemos clasificar los dos parques según:

Parque	Tensión más elevada del material (kV eficaces)	Grupo según ITC-RAT 12
132 kV	145	B
30 kV	36	A

Tabla 2-3 Clasificación parques según nivel de aislamiento

Por lo que como se detalla en el Anexo B, conociendo el grupo al que pertenece según la tensión más elevada del material, se procederá al cálculo de las siguientes distancias para el diseño de la subestación:

- Distancias mínimas en el aire:
 - Entre fases.
 - Entre fase y tierra.
- Distancias del resto de elementos:
 - Pasillos de servicio.
 - Zonas de protección contra contactos accidentales en el interior de la instalación.
 - Zonas de protección contra contactos accidentales en el exterior de la instalación.

2.4 DISPOSICIÓN DE LA INSTALACIÓN

La subestación se encontrará dispuesta a la intemperie como se ha mencionado en previos apartados, esta parcela albergará las posiciones de línea, barras, transformación y evacuación. La instalación también contará con un edificio de control que albergue tanto los sistemas de protección, control y medida, teleoperados como las celdas de media tensión, los transformadores auxiliares y las baterías de corriente continua. Los muros de la sala de control serán construidos con ladrillo, contará con un sistema de ventilación y de alumbrado.

2.4.1 ESTRUCTURAS Y SOPORTES METÁLICOS

Para los soportes de los equipos eléctricos, se emplearán estructuras metálicas compuestas por perfiles fabricados según las normativas estándar vigentes en el país. Dichos perfiles estarán contruidos con acero S275-JR (límite elástico de 275 MPa) conforme a la norma UNE-EN 10025, garantizando su capacidad de soldadura. Además, se les aplicará un recubrimiento de protección superficial mediante galvanizado, siguiendo las especificaciones de la norma UNE-EN ISO 1461. El peso del recubrimiento de zinc no deberá ser menor a 0.55 Kg/m² de superficie galvanizada. Toda la tornillería utilizada para ensamblar los soportes será de acero galvanizado. Para la fijación de los soportes a los dispositivos, se empleará tornillería de acero inoxidable.

Dichos perfiles serán dimensionados para hacer frente a:

- Peso propio.
- Cargas estáticas transmitidas por los aparatos.
- Cargas dinámicas transmitidas por la aparamenta de maniobra.

2.4.2 DISTANCIAS

Los distintos componentes bajo tensión deben mantener una distancia mínima de seguridad entre sí y con el suelo para asegurar la protección. La ITC-RAT 12 especifica los valores mínimos que deben respetarse.

En el documento Anexo II se detallan los valores considerados para las siguientes distancias:

- Entre fases
- Entre fase y tierra
- Pasillos
- Áreas de protección contra contactos accidentales dentro del recinto de la instalación
- Áreas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación

Capítulo 3. POSICIONES DE 132 kV

3.1 GENERALIDADES DE LOS COMPONENTES

A continuación, se presenta una tabla con los parámetros fundamentales para el diseño de la posición:

Parámetros	Posición 132 kV
Esquema	Barra partida
Tensión nominal	132 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Tensión más elevada para el material	145 kV
Tensión soportada tipo rayo	650 kV cresta
Corriente admisible 0,5 s	31,36 kA
Tensión S.S.A.A.	220 V

Tabla 3-1 Características generales posición 132 kV

3.2 POSICIONES DE LÍNEA

Se procede a desarrollar las características de los equipos a utilizar en la posición.

3.2.1 MÓDULOS HÍBRIDOS

Los distintos componentes de la subestación se pueden clasificar según 3 categorías según su aislamiento: *Air Insulated Switchgear (AIS)*, *Gas Insulated Switchgear (GIS)* o una tecnología que hibride las características de ambas. La tecnología GIS implementa hexafluoruro de azufre (SF_6) para conferir una mayor seguridad en las funciones de corte y aislamiento eléctrico en tensión. La tecnología híbrida propuesta para esta posición presenta las siguientes ventajas respecto a la tecnología AIS, en el caso de este proyecto, usada en la posición de transformación.

- Diseño compacto.
- Rapidez de instalación.
- Menor requerimiento de mantenimiento debido a la alta fiabilidad del gas SF_6 usado para encapsular los contactos de alta tensión.
- Bajo coste de vida útil.
- Fácilmente sustituible en caso de fallo.

Para el diseño de la subestación, se ha escogido el modelo “*Plug And Switch System PASS M0 145 kV*” del fabricante HITACHI ENERGY. Dentro de la gama del modelo existen varias configuraciones posibles, en este caso se opta por:

- 1 Seccionador tripolar de cuchillas con puesta a tierra.
- 1 Seccionador trifásico.
- 1 Interruptor automático tripolar.
- 3 Transformadores de intensidad.

En la siguiente tabla recoge las características del módulo seleccionado:

Magnitud	PASS M0 145 kV
Tensión máxima soportada por el equipo	145 kV
Tensión soportada de corta duración	275 kV
Tensión soportada a impulsos tipo rayo	650 kV
Frecuencia	50 Hz
Corriente en servicio continuo	3150 A
Corriente admisible de corta duración	40 kA
Tiempo de despeje de falta	0.5 s
Rango de temperaturas ambiente	-30/40 °C
Tipo de mecanismo	Doble movimiento y autoexplosión

Tabla 3-1: Características módulo híbrido PASS M0 145 kV

3.2.2 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS

Los transformadores de tensión son una pieza clave del sistema de medida de la subestación. Se ha escogido el modelo EMF 145 kV del fabricante ABB. Las características del modelo particularizando que los aisladores sean de cerámica pueden verse representadas en la siguiente tabla:

Magnitud	EMF 145 kV
Tensión máxima soportada por el equipo	145 kV
Tensión soportada de corta duración	275 kV
Tensión soportada a impulsos tipo rayo	650 kV
Tensión de test RIV	92 kV Max
Nivel RIV	2500 μ V
Distancia de descarga	1200 mm
Línea de fuga	3625 mm
Línea de fuga protegida	1400 mm

Tabla 3-2 Características del transformador de tensión EMF 145 kV

La relación de transformación que emplea el transformador es de $132000/\sqrt{3} : 110/\sqrt{3}$ V para los tres arrollamientos. Las potencias de precisión serán de 25, 50 y 50 VA contando con clases de precisión de cl. 0,2, cl. 0,5 3P, cl. 0,5 3P respectivamente. La clase cl. 0,2 es más precisa que cl. 0,5, siendo de $\pm 0,2\%$ en el primer caso y $\pm 0,5\%$ en el segundo. Por lo que el primer arrollamiento será empleado para el registro de medidas y facturación. El segundo y tercer arrollamiento tendrán funcionalidad de protección.

El test RIV sirve para medir las interferencias producidas por altas frecuencias según NEMA 107-1987, ANSI 63-2-1996, VDE 876, DIN EN 55016-1-1.

Todas las superficies exteriores han sido conformadas por metal aleado con aluminio para una mejor resistencia contra efectos meteorológicos como la polución, la tornillería es de acero inoxidable

Las bornas primarias del transformador son fabricadas en aluminio, éstas son diseñadas para aguantar cargas de hasta 1000 N para la tensión máxima del material, 145 kV. Las bornas secundarias son de aluminio anti corrosivo y aceptan cables de una sección de hasta 10 mm².

El sistema de tierras del transformador se conforma por una borna de diámetro de 16 mm y una barra de acero inoxidable 80x145x8 mm.

El nivel de protección es de IP 55, sistema alfanumérico que clasifica la resistencia de los materiales versus agentes como el polvo y el agua.

3.2.3 AUTOVÁLVULAS

La función de las autoválvulas será proteger el circuito de posibles sobretensiones e impulsos de tipo rayo. Su funcionamiento se puede asemejar a la de un circuito abierto para un determinado nivel de tensión prefijado que una vez superado, cierra el circuito para disipar gran parte de la energía de la onda de sobretensión a tierra. El dimensionamiento de las mismas se recoge en la norma UNE-EN 60099.

Para el presente proyecto se opta por el modelo HTS 132 del fabricante RH International.

Las características generales de dicho modelo se recogen en la siguiente tabla:

Magnitud	HTS 132
Tensión de servicio	132 kV

Tensión residual máxima para una descarga de corriente nominal 10 kA mediante onda tipo 8/20 μs	325,6 kV cresta
Tensión residual máxima con onda de maniobra a 500 A – 30/80	257,5 kV cresta
Intensidad nominal	10 kA
Capacidad dieléctrica del envolvente	700 kV
Línea de fuga	4090 mm
Altura	1740 mm
Diámetro exterior	150 mm
Peso	150 kg

Tabla 3-3 Características autoválvula HTS 132

3.3 POSICIONES DE BARRA

Se empleará tubo de aluminio 150/136, para más detalle consultar “ANEXO III”. La siguiente tabla recoge las principales características:

\varnothingext/\varnothingint	150/136 mm
Sección	3145 mm ²
Peso por unidad de longitud	8,491 kg/m
Intensidad admisible	3400 A

Momento de inercia	805,76 cm ⁴
Momento resistente	84,38 cm ³

Tabla 3-4 Especificaciones tubo 150/136

3.3.1.1 Aisladores de apoyo

Los aisladores a utilizar serán el modelo C-10 650 del fabricante POINSA. En la siguiente tabla se recogen las especificaciones principales:

Magnitud	C-10 650
Tensión nominal	145 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo	650 kV
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz	325 kV
Línea de fuga mínima	2320 mm
Altura	1500 mm
Diámetro máximo parte aislante	400 mm
Mínima carga de rotura a flexión	10000 N
Mínima carga de rotura a torsión	4000 N

Tabla 3-5 Especificaciones aislador C-10 650

3.4 POSICIÓN DE ACOPLAMIENTO

A continuación, se profundizará en los equipos empleados para la posición de acoplamiento.

3.4.1.1 Interruptor de potencia 132 kV

Esta posición incluirá un interruptor tripolar de potencia AIS accionado por resortes. Se ha optado por utilizar el diseño 3AP1 145 kV de la marca SIEMENS. Este interruptor cuenta con un accionamiento tripolar y un bastidor común. Así mismo, también está equipado con cámaras de extinción de autocompresión. Los resortes de apertura y cierre se encuentran en una caja fundida resistente a la corrosión. Además, es un modelo muy fiable por su bajo coste de mantenimiento, criterio de diseño importante, siendo la vida útil del interruptor de 10000 ciclos de maniobra garantizado y exento de mantenimiento durante 25 años. La siguiente tabla recoge las especificaciones imprescindibles del equipo:

Magnitud	3AP1 145 kV
Tensión nominal	145 kV
Cantidad de cámaras de extinción por polo	1
Tensión de prueba a frecuencia industrial	275 kV
Tensión de prueba a impulso por rayo (1,2 x 50 µs)	650 kV
Corriente nominal	4000 A
Corriente nominal de corta duración	40 kA
Corriente nominal de cortocircuito	40 kA
Ciclo nominal de operación	O-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO
Tiempo de ruptura	3 ciclos

Frecuencia	50 Hz
-------------------	-------

Tabla 3-4 Especificaciones Interruptor 3AP1 145 kV

3.4.1.2 Seccionador tripolar con puesta a tierra 132 kV

Al igual que los interruptores, los seccionadores desempeñan un papel fundamental para poder manipular la subestación de manera segura. Los seccionadores a diferencia de los interruptores no trabajan bajo carga, su función es proporcionar un aislamiento visible una vez se desenergice el sistema. Para el presente proyecto se empleará el modelo SG3C-145/2750 del fabricante MESA. La posición de acoplamiento incluirá dos seccionadores como los presentados. En la siguiente tabla se recogen sus especificaciones principales:

Magnitud	SG3C-145/2750
Tensión nominal	145 kV
Intensidad nominal	2750 A
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	275 kV
Tensión de ensayo a impulso	650 kV
Intensidad de corta duración	40 kA
Tipo de aislador	C4-750

Tabla 3-5 Especificaciones seccionador 3G3C-145/2750

3.4.1.3 Transformadores de intensidad 132 kV

Los transformadores de intensidad, al igual que los de tensión, representan una pieza fundamental del sistema de medida. Para el proyecto en cuestión se utilizarán 6 transformadores del fabricante ABB gama IMB 36-800 kV. Las partes exteriores del equipo son conformadas con hierro aleado con aluminio para conferir una mayor resistencia a los agentes externos como condiciones meteorológicas y contaminación. La fuerza estática sobre la borna del devanado primario tiene un límite de 6000 N en todas las direcciones, soportando una fuerza de rotación máxima de 1000 Nm. El devanado secundario cuenta con una protección clase IP 55 según la norma CEI 60529, permitiendo conexionado de cables de hasta 10 mm² de sección. El material del conexionado a tierra será latón, apto para conexionado de cables de 8-16 mm de diámetro, la barra de conexión a tierra será de las siguientes dimensiones 80x145x8 mm de acero inoxidable según la norma CEI. En la siguiente tabla se recogen de manera más detallada las especificaciones del transformador particularizando en su gama de aisladores de porcelana:

Magnitud	IMB 145
Corriente nominal	2400 A
Corriente máxima de cortocircuito durante 1 segundo	63 kA
Corriente máxima de cortocircuito durante 3 segundos	40 kA
Corriente dinámica máxima	170 kA cresta
Distancia de descarga	1120 mm
Línea de fuga	3625 mm (25mm/kV)
Línea de fuga protegida	1400 mm

Tabla 3-6 Especificaciones del transformador de corriente IMB 145

La relación de transformación que empleará el equipo es de 2000/5-5-5-5 A para cuatro devanados en conjunto. Al igual que ocurre con el transformador de tensión inductivo, se empleará el primer arrollamiento para el registro de medidas y facturación, mientras que los otros tendrán función protectora. Que un devanado esté destinado a la medida implica que es utilizado para alimentación de equipos de media, mientras que, si se trata de un devanado de protección, en caso de circular corrientes de defecto, éste enviará una señal al equipo de protecciones para su actuación. Las potencias del transformados por núcleo son de 20, 50, 50 y 50 VA. Las clases de precisión empleadas son cl. 0,2s, 5P10, 5P20 y 5P20. Para una clase de precisión 5P resulta un error de $\pm 1\%$ a intensidad nominal.

Capítulo 4. POSICIONES DE TRANSFORMACIÓN 30/132 KV

4.1 GENERALIDADES DE LOS COMPONENTES

Se procede a desarrollar las distintas características de los componentes que conforman la posición de transformación.

4.1.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA 30/132 KV 250 MVA

Como se ha mencionado en el apartado 2.1.2. *POSICIONES DE TRANSFORMACIÓN 20/132 KV*, se emplearán dos transformadores elevadores de 250 MVA cada uno para obtener una potencia total de transformación de 500 MVA.

Dada la elevada potencia a transformar proveniente de los parques fotovoltaicos generadores, es complicado encontrar en el mercado un transformador con las especificaciones exactas a las requeridas. Para este tipo de casos se procede al diseño de un transformador a medida con el fabricante, lo cual recae fuera de los límites de este proyecto, por lo que se ha optado por tomar valores característicos similares a otros transformadores que hayan sido usados para aplicaciones y bajo condiciones similares.

Por lo que la siguiente tabla recoge las especificaciones del transformador dispuesto a la intemperie que se empleará:

Magnitud	Valor
Tensión en vacío en bornes de alta tensión	132 kV
Tensión en vacío en bornes de media tensión	30 kV
Frecuencia	50 Hz
Símbolo de conexión	YNd11

Impedancia de cortocircuito	9%
Refrigeración	ONAF/OFAF
Cambiador de tomas	OLTC
Método de enfriamiento	Transformador de tipo sumergido en aceite
Aceite de aislamiento	Aceite mineral, aceite vegetal
Material depósito de aceite	Acero inoxidable
Material del tanque	Acero al carbono de silicio
Material del bobinado	Cobre

Tabla 4-1 Especificaciones transformador 20/132 kV 250MVA

También se recoge en la siguiente tabla las condiciones de funcionamiento:

Magnitud	Valor
Temperatura	-40°C/50°C
Humedad relativa	<93%
Altitud	<1500 m
Velocidad del viento	<150 km/h
Aceleración sísmica	<0,3 g

Tabla 4-2 Condiciones de funcionamiento del transformador 30/132 kV 250 MVA

4.1.2 PROTECCIÓN TRANSFORMADOR

Adicionalmente, se instalará un dispositivo DGPT-2 en cada transformador para realizar mediciones de temperatura, nivel de aceite, presiones en la cuba y detectar posibles fugas de gases. El dispositivo cuenta con las siguientes características:

- Carcasa y cubierta de acero inoxidable.

- Prensaestopas, bornes e hilos están fabricados de material autoextinguible y libre de halógenos para prevenir posibles incendios.
- Bulbo magnético de contacto inversor.
- Presostato de fuelle metálico y resorte de ajuste equipado con un microcontacto.
- 2 termostatos independientes de dilatación de líquido regulables que cuentan con compensación de temperatura ambiente, siendo su rango de medidas (40-140°C) y con una precisión de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ a 90°C .

El poder de corte del dispositivo, encontrándose alimentado a 220 VCC gracias al sistema de servicios auxiliares se recoge en la siguiente tabla:

Función	220 VCC
Desprendimiento de gases	0,25 A
Exceso de presión	0,25 A
Temperatura	0,5 A

Tabla 4-3 Poder de corte para 220 VCC del DGPT-2

4.1.3 AUTOVÁLVULAS

4.1.3.1 Parque 132 kV

Se emplearán las mismas autoválvulas que las mencionadas en el apartado 3.2.3.

Magnitud	HTS 132
Tensión de servicio	132 kV

Tensión residual máxima para una descarga de corriente nominal 10 kA mediante onda tipo 8/20 μs	325,6 kV cresta
Tensión residual máxima con onda de maniobra a 500 A – 30/80	257,5 kV cresta
Intensidad nominal	10 kA
Capacidad dieléctrica del envolvente	700 kV
Línea de fuga	4090 mm
Altura	1740 mm
Diámetro exterior	150 mm
Peso	150 kg

Tabla 4-4 Características autoválvula HTS 132

4.1.3.2 Parque 30 kV

Para el lado de media tensión se ha optado por emplear el modelo HE 36/R de RH International. En la siguiente tabla se recogen las características principales:

Magnitud	HE 36/R
Tensión de servicio	30 kV
Tensión asignada	36 kV
Tensión residual máxima para una descarga de corriente nominal 10 kA mediante onda tipo 8/20 μs	97,5 kV cresta

Tensión residual máxima con onda de maniobra a 500 A – 30/80	77,5 kV cresta
Intensidad nominal	10 kA
Capacidad dieléctrica del envolvente	200 kV
Flexión dinámica (SSL)	200 Nm
Línea de fuga	1360 mm
Altura	365 mm
Diámetro exterior	114 mm
Peso	3,5 kg

Tabla 4-5 Especificaciones autoválvula HE 36/R

4.1.4 TRANSFORMADORES INDUCTIVOS DE TENSIÓN 132 kV

Se emplearán los mismos transformadores usados en la posición de 132 kV, EMF 145 kV del fabricante ABB, la siguiente tabla recoge sus características:

Magnitud	EMF 145 kV
Tensión máxima soportada por el equipo	145 kV
Tensión soportada de corta duración	275 kV
Tensión soportada a impulsos tipo rayo	650 kV
Relación de transformación	132000/ $\sqrt{3}$: 110/ $\sqrt{3}$ V
Potencias	25-50-50 VA

Clases de precisión	cl. 0,2 - cl. 0,5 3P - cl. 0,5 3P
Tensión de test RIV	92 kV Max
Nivel RIV	2500 μ V
Distancia de descarga	1200 mm
Línea de fuga	3625 mm
Línea de fuga protegida	1400 mm

Tabla 4-6 Especificaciones transformados de tensión EMF 145 kV

4.1.5 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD 132 kV

La posición incluirá 3 transformadores de intensidad idénticos a los utilizados en el apartado 3.2.5.3. En la siguiente tabla se recogen de manera más detallada las especificaciones del transformador particularizando en su gama de aisladores de porcelana:

Magnitud	IMB 145
Corriente nominal	2400 A
Corriente máxima de cortocircuito durante 1 segundo	63 kA
Corriente máxima de cortocircuito durante 3 segundos	40 kA
Corriente dinámica máxima	170 kA cresta
Relación de transformación	2000/5-5-5-5 A
Potencias	20-50-50-50 VA

Clases de precisión	cl. 0,2s - 5P10 - 5P20 - 5P20
Distancia de descarga	1120 mm
Línea de fuga	3625 mm (25mm/kV)
Línea de fuga protegida	1400 mm

Tabla 4-7 Especificaciones del transformador de corriente IMB 145

4.1.6 INTERRUPTOR DE POTENCIA 132 kV

Se emplearán los mismos interruptores presentados en el capítulo 3.2.5.1. La siguiente tabla recoge las especificaciones del interruptor:

Magnitud	3AP1 145 kV
Tensión nominal	145 kV
Cantidad de cámaras de extinción por polo	1
Tensión de prueba a frecuencia industrial	275 kV
Tensión de prueba a impulso por rayo (1,2 x 50 µs)	650 kV
Corriente nominal	4000 A
Corriente nominal de corta duración	40 kA
Corriente nominal de cortocircuito	40 kA
Ciclo nominal de operación	O-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO
Tiempo de ruptura	3 ciclos
Frecuencia	50 Hz

Tabla 4-8 Especificaciones Interruptor 3AP1 145 kV

4.1.7 SECCIONADOR TRIPOLAR CON PUESTA A TIERRA 132 kV

Se empleará el mismo modelo citado en el capítulo 3.2.5.2. En la siguiente tabla se recogen sus especificaciones principales:

Magnitud	SG3C-145/2750
Tensión nominal	145 kV
Intensidad nominal	2750 A
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	275 kV
Tensión de ensayo a impulso	650 kV
Intensidad de corta duración	40 kA
Tipo de aislador	C4-750

Tabla 4-9 Especificaciones seccionador 3G3C-145/2750

Capítulo 5. POSICIONES 30 kV

5.1 JUSTIFICACIÓN DE DISEÑO

En el presente capítulo se detallará la aparamenta empleada en el parque de 30 kV, reflejada en el plano 3 “*Esquema unifilar parque 30 kV*”, este plano representa únicamente la posición número 1, siendo idéntica la posición número 2. Las celdas de media tensión son otro aspecto fundamental de la instalación a diseñar, cumpliendo funciones similares a sus análogos en el parque de 132 kV. Las celdas a instalar serán de gran utilidad para maniobrar, proteger y controlar el parque de 30 kV. Para el presente proyecto se han decidido utilizar las celdas CGBS-1 del fabricante Ormazabal.

Las celdas se encontrarán en 2 posiciones idénticas de simple barra que estarán constituidas por:

- 4 Posiciones de línea con seccionamiento de cables.
- 1 Posición de medida.
- 1 Posición de transformador.
- 1 Posición de servicios auxiliares.

Adicionalmente se instalarán una celda de remonte y otra de acoplamiento, estas conferirán una configuración de barra partida análoga a la configuración del parque de 132 kV.

Se ha optado por este diseño en paralelo para poder verificar que la intensidad que circulará por cada posición es menor que la intensidad nominal de la aparamenta. A continuación, se detalla la intensidad nominal de cada rama, la cual se calcula como una particularidad de la fórmula empleada en el “ANEXO III”:

$$I_N^{rama} = \frac{S_N^{Transformador}}{\sqrt{3} * U_N^{BAJA} * Nr} = \frac{250 * 10^6}{\sqrt{3} * 30 * 10^3 * 4} = 1202,82 A$$

Siendo:

S_N la potencia nominal del transformador (VA)

U_N la tensión nominal del lado de baja del transformador (V)

N^f el número de ramas en paralelo de la instalación

5.2 ESPECIFICACIONES DE LAS CELDAS

La siguiente tabla recoge las principales especificaciones comunes a todas las celdas:

Magnitud	CBGS-1
Tensión nominal	36 kV
Nivel de aislamiento a frecuencia industrial	70 kV eficaces
Nivel de aislamiento a onda de choque tipo rayo	170 kV cresta
Intensidad nominal en embarrado general	2500 A
Intensidad nominal en derivaciones	1600 A
Intensidad nominal de cortocircuito	31,5 kA
Capacidad de cierre en cortocircuito	80 kA
Intensidad nominal de corta duración	31,5 kA / 1 seg
Resistencia frente arcos internos	25 kA / 1 seg

Presión nominal relativa de gas SF₆ a 20°C	0,3 bar
Grado de protección	IP-3X

Tabla 5-1 Especificaciones celdas CBGS-1

Los embarrados utilizados para la conexión entre las celdas y los distintos equipos que permiten la maniobra se encuentran aislados mediante gas SF₆. El sistema de puesta a tierra está constituido por una barra colectora en cada compartimento, a su vez conectada al embarrado general colector de tierras de la celda, a esta barra particularizada de cada celda se conectarán todas aquellas partes metálicas de la celda recogidas en la norma ITC-RAT 13 para su correcta puesta a tierra.

Las celdas están conformadas por paneles RAL 7032, chapas y un bastidor metálico.

El compartimento de baja tensión queda separado del compartimento de media tensión, en la parte inferior. En este compartimento se encuentran los relés Sepam y todos los equipos encargados de las tareas de medición, control y protección.

En el embarrado principal se encuentran elementos como el seccionador, conexiones y el interruptor automático, éste último se encuentra localizado en la parte central de la celda y está conectado a los cables de potencia y al embarrado general.

El compartimento destinado a albergar las conexiones de cables de entrada o salida de media tensión se encuentra en la parte inferior trasera, para nuestro diseño se ha optado por utilizar conectores rectos tipo Pfisterer tamaño 2, debido a la intensidad nominal de la instalación. Este compartimento incluye:

- Zócalos para conexión de cables MT.
- Bridas de sujeción para cables de potencia.
- Zócalo destinado a pruebas de aislamiento de cables MT.

- Transformadores toroidales de intensidad.

A continuación se describen las celdas que se emplearán para cada posición específica:

5.2.1 CELDA DE LÍNEA CON SECCIONAMIENTO DE CABLES

Las especificaciones de la celda de línea se recogen en la siguiente tabla:

Magnitud	Celda de línea
Tensión nominal	36 kV
Intensidad nominal en embarrado general	2500 A
Intensidad nominal en derivaciones	630 A
Intensidad nominal de cortocircuito	31,5 kA / 1 seg, 80 kA cresta / 1 seg
Intensidad nominal de paso en seccionador	1600 A
Intensidad nominal de interruptor automático	2500 A
Manómetro de control SF₆ cubículo central	Sí
Manómetro de control SF₆ barras	Sí
Medida en barras generales	No

Detractores en presencia de tensión	Sí
--	----

Tabla 5-2 Especificaciones celda de línea con seccionamiento de cables

Adicionalmente cuenta con un seccionador de tres posiciones: abierto, cerrado y puesto a tierra. Este seccionador cuenta con un mando manual y mando motorizado para permitir la teleoperación. El seccionador también tiene integrados las siguientes cerraduras:

- Cerradura bloqueo del seccionador en abierto.
- Cerradura bloqueo del seccionador en cerrado.
- Cerradura bloqueo del seccionador de p.a.t. en abierto.
- Cerradura bloqueo del seccionador de p.a.t. en cerrado.
- Cerradura bloqueo tierra en cables.

Además, se ha decidido implementar dos electroimanes, uno para el bloqueo de seccionador, otro para bloque de puesta a tierra.

La celda de línea cuenta a su vez con un interruptor automático, equipado con un mando motorizado, accionado a una tensión de 110 V, cuenta con una bobina de disparo y con bloque del interruptor en abierto y otro bloque mecánico del pulsador de apertura.

Adicionalmente se han decidido incluir en el compartimento de bajo tensión relés contactores y otros elementos auxiliares como conmutadores, convertidores, interruptores automáticos y regletero de bornas.

A continuación, se adjunta un esquema unifilar de la celda:

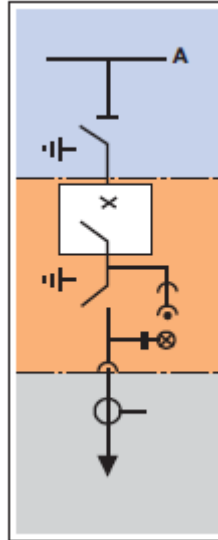


Ilustración 5-1 Diagrama unifilar de la celda de línea con seccionamiento de cables

5.2.2 CELDA DE MEDIDA

La celda de medida cuenta con las siguientes especificaciones:

Magnitud	Celda de medida
Tensión nominal	36 kV
Intensidad nominal en embarrado general	2500 A
Intensidad nominal de cortocircuito	31,5 kA / 1 seg, 80 kA cresta / 1 seg
Intensidad nominal de paso en seccionador	1600 A
Manómetro de control SF ₆ cubículo central	Sí

Manómetro de control SF₆ barras	Sí
Medida en barras generales	Sí
Detractores en presencia de tensión	No

Tabla 5-3 Especificaciones de la celda de medida

Adicionalmente la celda de medida cuenta con un seccionador de dos posiciones, con mandos manual y motorizado. La celda de medida está conformada también por dos transformadores, uno de intensidad y otro de tensión. A continuación, se representa el diagrama unifilar de la celda de medida:

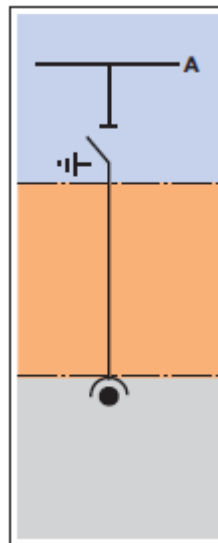


Ilustración 5-2 Diagrama unifilar de la celda de medida

5.2.3 CELDA DE REMONTE

La siguiente tabla recoge las especificaciones principales de la celda de remonte:

Magnitud	Celda de remonte
Tensión nominal	36 kV

Intensidad nominal en embarrado general	2500 A
Intensidad nominal de cortocircuito	31,5 kA / 1 seg, 80 kA cresta / 1 seg
Intensidad nominal de paso en seccionador	1600 A
Manómetro de control SF₆ cubículo central	Sí
Manómetro de control SF₆ barras	Sí
Medida en barras generales	Sí
Detractores en presencia de tensión	No

Tabla 5-4 Especificaciones celda de remonte

La celda de remonte también cuenta con un seccionador de dos posiciones y mandos motorizado y manual. La siguiente ilustración representa su diagrama unifilar, con un transformador de tensión que es opcional:

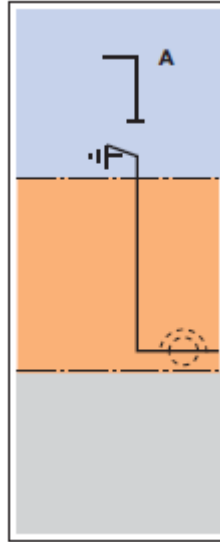


Ilustración 5-3 Diagrama unifilar de la celda de remonte

5.2.4 CELDA DE SERVICIOS AUXILIARES

La siguiente tabla recoge las especificaciones de la celda de servicios auxiliares:

Magnitud	Celda de servicios auxiliares
Tensión nominal	36 kV
Intensidad nominal en embarrado general	2500 A
Intensidad nominal de cortocircuito	31,5 kA / 1 seg, 80 kA cresta / 1 seg
Manómetro de control SF ₆ cubículo central	Sí
Manómetro de control SF ₆ barras	Sí
Medida en barras generales	No

Detractores en presencia de tensión	No
--	----

Tabla 5-5 Especificaciones de la celda de servicios auxiliares

La siguiente imagen representa el esquema unifilar de la celda de servicios auxiliares:

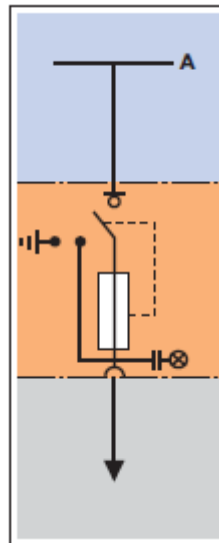


Ilustración 5-4 Diagrama unifilar de la celda de servicios auxiliares

5.2.5 CELDA DE ACOPLAMIENTO

La siguiente tabla recoge las especificaciones de la celda de acoplamiento:

Magnitud	Celda de acoplamiento
Tensión nominal	36 kV
Intensidad nominal en embarrado general	2500 A
Intensidad nominal en derivaciones	630 A
Intensidad nominal de cortocircuito	31,5 kA / 1 seg, 80 kA cresta / 1 seg

Intensidad nominal de paso en seccionador	1600 A
Intensidad nominal de interruptor automático	2500 A
Manómetro de control SF₆ cubículo central	Sí
Manómetro de control SF₆ barras	Sí
Medida en barras generales	No
Detractores en presencia de tensión	No

Tabla 5-6 Especificaciones celda de acoplamiento

La celda de acoplamiento tiene integrados un seccionador de tres posiciones con mando manual y monotorizado e interruptor automático.

La siguiente imagen representa el diagrama unifilar de la celda de acoplamiento:

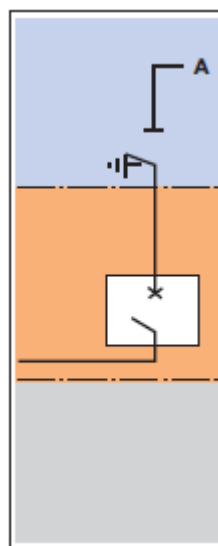


Ilustración 5-5 Diagrama unifilar de la celda de acoplamiento

5.2.6 CELDA DE TRANSFORMADOR

Dada la magnitud de la subestación, no se encuentran celdas normalizadas aptas para las condiciones del parque de 30 kV, por lo que han de ser hechas a medida. La siguiente tabla recoge las posibles especificaciones de la celda de transformador:

Magnitud	Celda de transformador
Tensión nominal	36 kV
Intensidad nominal en embarrado general	5000 A
Intensidad nominal en derivaciones	1250 A
Intensidad nominal de cortocircuito	63 kA / 1 seg, 160 kA cresta / 1 seg
Intensidad nominal de paso en seccionador	5000 A
Intensidad nominal de interruptor automático	5000 A
Manómetro de control SF₆ cubículo central	Sí
Manómetro de control SF₆ barras	Sí
Medida en barras generales	No
Detractores en presencia de tensión	Sí

Tabla 5-7 Especificaciones de la celda de transformador

Las características del interruptor automático y seccionador son idénticas a las de la celda de línea.

Esta celda cuenta con un seccionador de tres posiciones y los siguientes bloqueos:

- Cerradura bloqueo del seccionador en abierto.
- Cerradura bloqueo del seccionador en cerrado.
- Cerradura bloqueo del seccionador de p.a.t. en abierto.
- Cerradura bloqueo del seccionador de p.a.t. en cerrado.
- Cerradura bloqueo tierra en cables.

La siguiente imagen representa el diagrama unifilar de la celda:

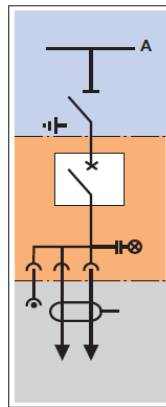


Ilustración 5-6 Diagrama unifilar de la celda de transformador

5.2.7 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

El interruptor automático con el que cuentan las celdas de línea y acoplamiento es de tipo soplado, utilizando gas SF₆ como medio de corte y aislamiento. El corte por soplado consta de tres fases:

- 1) Precompresión: Partiendo de contactos fijos, cuando comienzan a separarse, el pistón comprime dentro de la cámara el gas SF₆.
- 2) Fase de arco: se genera un arco eléctrico entre los contactos a medida que el pistón sigue avanzando, el gas SF₆ entra en el arco a través de las boquillas del interruptor y mediante convección forzada se consigue la extinción del arco.

- 3) Barrido final: una vez los componentes móviles hayan terminado su recorrido, se inyecta gas frío hasta que el circuito quede completamente abierto.

La siguiente tabla recoge las características principales del interruptor automático:

Magnitud	Interruptor automático
Tensión nominal	36 kV
Nivel de aislamiento a frecuencia industrial	70 kV eficaces
Nivel de aislamiento a onda de choque tipo rayo	170 kV cresta
Intensidad nominal	2500 A
Intensidad nominal de corte de cortocircuito	31,5 kA
Capacidad de cierre en cortocircuito	80 kA
Secuencia de operación	O-0,3s-CO-3 min-CO
Tiempo aproximado de operación	Apertura: 50 ms Corte: 60 ms Cierre: 60 ms

Tabla 5-8 Especificaciones interruptor automático celdas media tensión

5.2.8 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

La siguiente tabla recoge las especificaciones de los transformadores de intensidad dispuestos en la zona de los cables de las celdas de media tensión:

Magnitud	Transformador de intensidad
Arquitectura	Toroidal
Tensión máxima de funcionamiento	0,72 kV
Frecuencia	50 Hz
Intensidad nominal primario	40 A a 1600 A
Intensidad nominal secundario	1 A y 5 A
Posibilidad de conmutación en el devanado secundario	Desde 200 A hasta 1600A
Datos del núcleo dependientes de la intensidad nominal del primario	Potencia: 30 Va Clase: 10 Factor de sobreintensidad: P30

Tabla 5-9 Especificaciones transformador de intensidad en celdas de media tensión

5.2.9 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

La siguiente tabla recoge las especificaciones de los transformadores de tensión empleados en las celdas de media tensión:

Magnitud	Transformador de tensión
Arquitectura	Conectable por cable de media tensión
Funcionamiento	Inductivo
Tensión nominal	52 kV

Factor nominal de tensión ($U_n/8h$)	1,9/2,5
Tensión en el secundario	$\frac{110}{\sqrt{3}}$ V
Intensidad nominal de larga duración (8h)	5 A
Potencia para clase 0,5	50 VA

Tabla 5-10 Especificaciones transformadores de tensión empleados en celdas de media tensión

Capítulo 6. OBRA CIVIL

En el presente capítulo se procede a desarrollar las actuaciones fundamentales en el área de la obra civil para la construcción de la subestación.

6.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Será el primer paso del proceso, es una parte crucial para conferir estabilidad y planitud. A parte de los motivos usuales de esta fase de trabajo, es de vital importancia en el proyecto ya que con ellos se puede obtener un suelo de resistividad $50 \Omega\text{m}$. El proceso del movimiento de tierras comprende las siguientes etapas:

- 1) Planificación.
- 2) Despeje.
- 3) Desbroces.
- 4) Excavaciones carga y descarga.

Durante esta fase se excavará una fosa de profundidad de 3 metros para la instalación de las cimentaciones calculadas en el “*Anexo V*”.

6.2 ACCESO Y VALLADO

El acceso a la subestación se realizará mediante un vial de doble carril de 4 metros cada uno. Adicionalmente, tendrá una entrada acondicionada para el personal de trabajo en el propio acceso.

El vallado será de acero galvanizado y tendrá una altura de 2,5 metros acorde con la norma establecida en el RAT, el enrejado será cuadrículado con dimensiones de 50x50 milímetros, dispuesto entre postes metálicos distanciados 2 metros que irán fijados al suelo con bloques de hormigón.

6.3 DRENAJES

El sistema de drenado será responsable de evitar el estancamiento de agua en el interior de la instalación. Para ello se realizarán canalizaciones de hormigón principalmente en los extremos laterales de los viales además de un sistema de canalización en el edificio de mando.

6.4 EDIFICIO DE MANDO

El edificio de mando tiene un papel fundamental en el monitoreo de los equipos, siendo responsable de registrar mediciones, gestionar maniobras sobre interruptores y seccionadores. Adicionalmente, también alberga los sistemas de protección, sistemas auxiliares y las celdas de media tensión.

En el caso del proyecto se ha decidido construir un edificio de 15x40 metros donde se distinguen 3 espacios diferenciados. El acceso del personal al edificio está situado en el vial de entrada a la subestación, existiendo una entrada trasera en la sala de celdas de media tensión que permite la entrada de maquinaria. El primer espacio se encuentra en la entrada y alberga dos salas responsables de los servicios auxiliares de la subestación, en una se puede encontrar el transformador para los sistemas de corriente alterna “miniblock” mientras que en la otra sala se encuentran las baterías de corriente continua dimensionadas en el “ANEXO IV”, esta sala destinada a las baterías al igual que el resto del edificio, contarán con un sistema de ventilación forzada atendiendo a la norma ITC RAT 11. Además, este espacio alberga un servicio apto para el personal. El siguiente espacio del edificio es la zona de trabajo. Por último, el edificio también albergará las celdas CGBS-1 de media tensión.

Toda la red de cableado y bandejas estarán dimensionadas bajo la ITC RAT 14.

Capítulo 7. SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIONES

El sistema de control de una subestación consiste en el conjunto de equipos destinados a supervisar, maniobrar y vigilar los distintos elementos de la instalación. Este sistema permite operar directamente sobre interruptores y seccionadores de forma local o remota, notificar incidencias y registrar medidas en tiempo real.

7.1 SISTEMA PROTECTIVO

Se instalará un Terminal Integrado de Protección, Control y Medida con las siguientes funciones de protección sobre las posiciones de 132 kV:

Código ANSI	Descripción
50	Sobreintensidad instantánea de fases (2 ud.)
50Q	Sobreintensidad instantánea de secuencia inversa I2 (2 ud.)
50N	Sobreintensidad instantánea de tierra (2 ud.)
50Ns	Sobreintensidad instantánea de neutro sensible, con entrada independiente.
51	Sobreintensidad de tiempo (inverso / fijo) de fases (3 ud.)
51Q	Sobreintensidad de tiempo (inverso / fijo) de secuencia inversa I2 (3 ud.)
51N	Sobreintensidad de tiempo (inverso / fijo) de tierra (3 ud.)

51Ns	Sobreintensidad de tiempo (inverso / fijo) de neutro sensible, con entrada independiente.
51V	Sobreintensidad con frenado por tensión.
67	Direccional de fases.
67N	Direccional de tierra.
67Ns	Direccional de neutro sensible.
67Na	Direccional de neutro aislado.
37	Mínima intensidad temporizada de fase (tiempo fijo).
27	Subtensión con medida Fase-Tierra / Fase-Fase, seleccionable (3 ud.)
59	Sobretensión con medida Fase-Tierra / Fase-Fase, seleccionable (3 ud.)
59N	Sobretensión de neutro con medida calculada a partir de las tensiones de fase (2 ud.)
64	Sobretensión de neutro con canal de tensión dedicado.
47	Sobretensión de secuencia inversa (desequilibrio V).
81M	Sobrefrecuencia (4 ud.)
81m	Subfrecuencia (4 ud.)
81D	Derivada de frecuencia (4 ud.)
79	Reenganchador.
25	Sincronismo con elementos de tensión, fase y deslizamiento.
32P/Q	Direccional de potencia activa / reactiva.

49	Unidad térmica.
50BF	Fallo de interruptor.
46	Secuencia inversa I2/I1 (desequilibrio I).
87N	Faltas a tierra restringidas.
87L	Protección diferencial de línea
87B	Protección diferencial de barras
78	Salto de vector.

Tabla 7-1 Relés integrados en terminal IRV

Adicionalmente, se ha decidido instalar los siguientes relés como parte del equipo de protección del transformador de potencia 30/132 kV 250 MVA:

Código ANSI	Descripción
90/70	Regulación de tensión
26	De temperatura
49	Térmico
64	Protección de cuba de transformador
63L	Presión de aceite
63BC	Bucholz
63J	Jansen
71	Nivel de aceite

Tabla 7-2 Relés de protección del transformador de potencia

El relé Bucholz es el más común en los transformadores, funciona al detectar un valor tarado de presión de gas o líquido.

La función del relé Jansen es detectar deficiencias en el regulador en carga.

7.2 SISTEMA DE CONTROL

Se dispondrá de un sistema de control remoto a través del terminal de control y protección. El sistema se basa en una unidad central localizada en la sala de mando de la subestación y conectada vía fibra óptica con los elementos de protección. Esta unidad envía la información a través de un sistema SLIP (“Serial Line Internet Protocol”) a los ordenadores encargados de teleoperar sobre la subestación. Las funciones de control del terminal son las siguientes:

- Mando con actuación sobre los equipos de la instalación.
- Verificación de lógicas de entradas y salidas o enclavamientos.
- Comunicaciones con el despacho de maniobras.
- Interfaz humano máquina con representaciones gráficas.

Capítulo 8. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En el presente capítulo se procederá a explicar con cuáles de los Objetivos de Desarrollo Sostenible se alinea este proyecto. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son parte de la Agenda 2030 y son un plan de acción para la consecución de un estado de bienestar tanto como las personas como para el propio planeta.

En concreto un proyecto técnico administrativo de una subestación eléctrica resuena especialmente con los siguientes Objetivos:

- 9. Industria, Innovación e Infraestructura: promueve el progreso tecnológico en el marco de la industrialización de las ciudades y su relación económica, buscando que dichos objetivos vayan de la mano de la sostenibilidad.
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles: este objetivo aporta un punto de vista mayormente social, donde se pretende conseguir erradicar situaciones de pobreza energética.
- 13. Acción por el clima: fomenta las acciones que ayuden a combatir el cambio climático.

La subestación Castaño objeto del proyecto proveerá de energía limpia a más de 334.000 hogares y evitará la emisión de 15.000 toneladas de dióxido de carbono al año. Este tipo de subestaciones ayudan a promover la generación de energía limpia, combatiendo así el cambio climático. La ciudad de Segovia también ha podido ver repercutidos los beneficios económicos; desde los más de 200.000 euros que ha percibido el ayuntamiento de Martín Miguel (municipio de 225 habitantes), los más de 400 puestos de trabajo que ha generado en la ciudad durante la construcción de los parques solares y hasta la remuneración que se ha obtenido por hectárea cedida al proyecto, del orden de 5 veces más de la rentabilidad que se obtenía de la ganadería o agricultura.

Parte II ANEXOS

ANEXO I: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE TIERRAS

En el presente anexo se mostrarán los cálculos desarrollados para el dimensionamiento de la red de tierras de la subestación eléctrica. Para el modelo que se plantea a continuación se han tomado como referencia tanto la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13, del Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (RAT) como el documento ANSI/IEEE Standard 80-2000, “Guide for Safety in AC Substation Grounding”. Para la subestación objeto del proyecto se diseñará una única red de tierras general donde se conectarán las distintas tomas de tierra de la aparamenta eléctrica especificada anteriormente.

La puesta a tierra de los distintos equipos que conforman la subestación es un factor imprescindible para garantizar tanto la seguridad de los seres vivos como la de los mismos equipos.

A continuación, se muestra una gráfica recogida en la norma IEC 60479 ilustrando los posibles efectos del paso de corriente sobre el cuerpo humano según la duración del incidente y su magnitud para un contacto ente pie y mano.

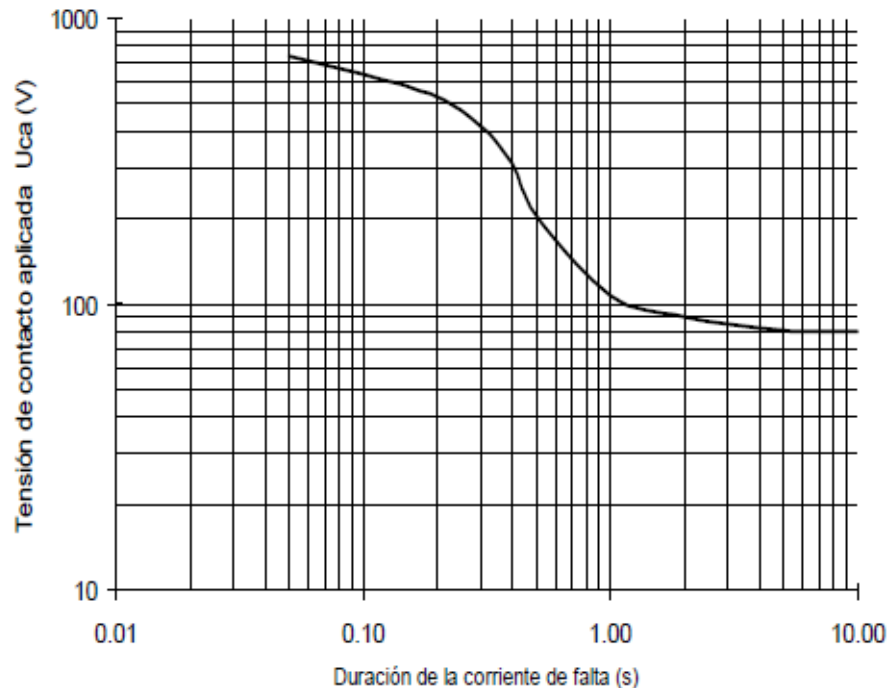


Ilustración 0-1: Tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta

1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para realizar los cálculos de dimensionamiento es necesario conocer los siguientes factores condicionantes:

- Naturalidad o resistividad del terreno: dependerá de la humedad, la temperatura y la composición química del mismo. También será de gran interés la variación de la misma en función de la profundidad.
- Tiempo de despeje de falta: debido a la naturalidad extremadamente inversa de las curvas de tensión admisibles versus tiempo, resulta esencial despejar las faltas en el menor tiempo posible.

- Intensidades de falta a tierra e intensidad de puesta a tierra: se trata de la intensidad que circulará por la malla.

1.2 PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO

En el documento mencionado al inicio del anexo, Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13, se muestra en el apartado 2 “*DISEÑO DE INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA*” el procedimiento a seguir para el dimensionamiento objeto del anexo. Dicho procedimiento consta de las siguientes fases:

- 1) Investigación de las características del suelo
- 2) Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente de eliminación del defecto. Cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles en la instalación.
- 3) Diseño preliminar de la instalación de tierra.
- 4) Cálculo de la resistencia del sistema de tierra
- 5) Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de la instalación
- 6) Cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación.
- 7) Comprobar que las tensiones de paso y contacto calculadas son inferiores a los valores máximos admisibles.
- 8) Investigación de las tensiones transferibles al exterior por tuberías, railes, vallas, conductores de neutro, pantallas o armaduras de cables, circuitos de señalización y de los puntos especialmente peligrosos, y estudio de las formas de eliminación o reducción.
- 9) Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo. Si la comparación es positiva la configuración de red de tierras elegida es válida y si la comparación no fuese positiva se modificaría la configuración y se repetiría el proceso.

A continuación, se procederá a profundizar cada paso del procedimiento:

1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Una característica fundamental es la ya definida resistividad. Existen diversos ensayos que permiten obtener un valor real de la resistividad del suelo a partir de instrumentos como el telurómetro. Dado el carácter académico del proyecto se asumirá un valor tipo de la resistividad acorde a valores comunes de suelos con características similares al que será abarcado por la subestación, arenoso.

Se ha tomado un valor de resistividad del terreno de $50 \Omega m$, esto es solo posible con un tratamiento previo del terreno. Con el fin de poder diferenciar entre las distintas secciones de la subestación y la composición del suelo, se toman a su vez las siguientes resistividades:

$$\rho_{GRAVA} = 3000 \Omega m$$

$$\rho_{ACERO} = 2500 \Omega m$$

$$\rho_{HORMIGÓN} = 2500 \Omega m$$

$$\rho_{TERRENO} = 50 \Omega m$$

Así mismo, en la siguiente tabla se recogen las profundidades tipo para cada material dentro de la subestación:

Material	Profundidad (m)
Grava	0,2
Hormigón	0,2
Acero	0,15

Tabla I-0-1: Profundidad de los materiales

A continuación se ha de calcular la resistividad superficial aparente, para ello se estimará el valor del coeficiente reductor de resistividad (C_s) a través de la fórmula de Sverak, presentado una imprecisión inferior al 5%.

$$\rho_s = C_s * \rho$$

$$C_s = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2 * h_s + 0,106} \right]$$

Donde:

ρ_s es la resistividad superficial aparente (Ωm).

ρ es la resistividad de la capa superficial (Ωm).

C_s es el coeficiente reductor de la resistividad.

h_s es el espesor de la capa superficial (m).

Por lo que, en base a los parámetros de partida, obtenemos los siguientes resultados:

Material	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)	Resistividad aparente (Ωm)	C_s
Grava	0,2	3000	2382,01	0,794
Hormigón	0,2	2500	1986,76	0,795
Acero	0,15	2500	1860,34	0,744

Tabla I-0-2: Resistividades aparentes superficiales

$$C_S^{GRAVA} = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_S}}{2 * h_S + 0,106} \right] = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{50}{3000}}{2 * 0,2 + 0,106} \right] = 0,795$$

$$C_S^{HORMIGÓN} = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_S}}{2 * h_S + 0,106} \right] = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{50}{2500}}{2 * 0,2 + 0,106} \right] = 0,794$$

$$C_S^{ACERO} = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_S}}{2 * h_S + 0,106} \right] = 1 - 0,106 * \left[\frac{1 - \frac{50}{2500}}{2 * 0,15 + 0,106} \right] = 0,744$$

$$\rho_S^{GRAVA} = C_S^{GRAVA} * \rho^{GRAVA} = 0,795 * 3000 = 2382,01 \Omega m$$

$$\rho_S^{GRAVA} = C_S^{GRAVA} * \rho^{GRAVA} = 0,794 * 2500 = 1986,75 \Omega m$$

$$\rho_S^{GRAVA} = C_S^{GRAVA} * \rho^{GRAVA} = 0,744 * 2500 = 1860,34 \Omega m$$

1.2.2 CORRIENTES MÁXIMAS DE PUESTA A TIERRA

Del apartado 1.3 se ha obtenido el valor de la corriente máxima de puesta a tierra:

$$I_F = 31,36 \text{ kA}$$

1.2.3 TIEMPO MÁXIMO DE ELIMINACIÓN DEL DEFECTO

Este parámetro ha sido referenciado anteriormente como tiempo máximo de despeje de faltas. En el apartado 1.3 se ha optado por un valor:

$$T_F = 0,5 \text{ s}$$

1.2.4 TENSIÓN DE PASO Y TENSIÓN DE CONTACTO MÁXIMA

Las expresiones para las máximas tensiones de paso y contacto admisibles (U_C y U_P respectivamente) se obtienen a partir de la ITC-RAT 13 apartado 1.1:

$$U_C = U_{CA} * \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 * \rho_S}{1000} \right]$$

$$U_P = 10 * U_{CA} * \left[1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho_S}{1000} \right]$$

Donde:

U_{CA} es la tensión de contacto aplicada admisible para un tiempo de despeje de falta determinado. Esta tensión se encuentra referenciada entre mano y pies.

R_{a1} es la resistencia del calzado.

ρ_S es la resistividad superficial aparente.

Para el tiempo máximo de despeje de falta definido en el apartado 1.2.3 podemos obtener el valor de U_{CA} a partir de la siguiente tabla:

Duración de la corriente de falta, T_F (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{CA} (V)
0.3	528
0.4	420
0.5	310
1	204
2	107

Tabla I-0-3: Valor de U_{ca} en función de t_f según ITC-RAT 13

$$U_{CA} = 310 \text{ V para } T_F = 0,5 \text{ s}$$

El valor adoptado para R_{a1} será de 2000Ω según la norma.

Por lo que, para cada material, obtenemos los siguientes valores:

- Grava:

$$U_C^{GRAVA} = U_{CA} * \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 * \rho_S^{GRAVA}}{1000} \right] = 310 * \left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1,5 * 2382,01}{1000} \right]$$

$$U_C^{GRAVA} = 1727,61 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} U_P^{GRAVA} &= 10 * U_{CA} * \left[1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho_S^{GRAVA}}{1000} \right] = \\ &= 10 * 310 * \left[1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 2382,01}{1000} \right] = 59805,49 \text{ V} \end{aligned}$$

- Hormigón:

$$\begin{aligned} U_C^{HORMIGÓN} &= U_{CA} * \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 * \rho_S^{HORMIGÓN}}{1000} \right] = \\ &= 204 * \left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1,5 * 1986,75}{1000} \right] = 1543,84 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_P^{HORMIGÓN} &= 10 * U_{CA} * \left[1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho_S^{HORMIGÓN}}{1000} \right] = \\ &= 10 * 204 * \left[1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 1986,75}{1000} \right] = 52453,71 \text{ V} \end{aligned}$$

- Acerados:

$$U_C^{ACERO} = U_{CA} * \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 * \rho_S^{ACERO}}{1000} \right] = 204 * \left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1,5 * 1860,34}{1000} \right]$$

$$U_C^{ACERO} = 1485,84 V$$

$$U_P^{ACERO} = 10 * U_{CA} * \left[1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho_S^{ACERO}}{1000} \right] =$$

$$= 10 * 204 * \left[1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 1860,34}{1000} \right] = 50102,41 V$$

- Terreno inicial (arenoso):

$$U_C^{TERRENO} = U_{CA} * \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 * \rho_S^{TERRENO}}{1000} \right] = 204 * \left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1,5 * 50}{1000} \right]$$

$$U_C^{ACERO} = 713 V$$

$$U_P^{TERRENO} = 10 * U_{CA} * \left[1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho_S^{TERRENO}}{1000} \right] =$$

$$= 10 * 204 * \left[1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 50}{1000} \right] = 19220 V$$

Resultado de manera esquemática los siguientes valores:

Material	Tensión de contacto U_C (kV)	Tensión de paso U_P (kV)
Terreno	0,713	19,22
Grava	1,727	59,805
Hormigón	1,543	52,453
Acero	1,485	50,102

Tabla I-0-4 Tensiones de paso y contacto máximas

1.2.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

La red de tierra estará conformada por conductor de cobre desnudo, cuya sección se dimensionará en siguientes apartados. La malla a diseñar se encontrará enterrada a una profundidad de 0,5 metros y estará dispuesta de tal manera que forme retículas cuadradas de 5x5 metros. Se dispondrán 9 picas, de las cuales, 4 se encontrarán en las esquinas exteriores de la red de tierras, y las otras 5 uniformemente distribuidas en el interior. Cabe destacar, que dado el carácter académico del proyecto se estima la posición de dichas picas. En caso de tratase de un proyecto real, sería aconsejable el uso de software especializado tanto como para la colocación de las picas, como para el diseño general de la red de tierras. Las picas serán de acero, y tendrán una longitud de 2 metros.

La longitud total del conductor enterrado será la suma del perímetro exterior más la longitud reticulada, para unos valores de 100x80 metros para la red de tierras resulta:

$$L_{\text{perímetro exterior}} = 2 * L_X + 2 * L_Y = 2 * 100 + 2 * 80 = 360 \text{ m}$$

$$L_{\text{conductor enterrado}} = L_X * \frac{L_Y}{5} + L_Y * \frac{L_X}{5}$$

$$L_{\text{conductor enterrado}} = 100 * \frac{80}{5} + 80 * \frac{100}{5} = 3200 \text{ m}$$

1.2.6 RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Podemos calcular la resistencia de puesta a tierra de una malla plana de conductores metálicos en medio homogéneo con el método de Sverak propuesto en la norma IEEE Std 80-2000:

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

Donde:

ρ es la resistividad media del terreno (Ωm)

L_c es la longitud total de conductor enterrado calculada en el apartado 1.2.5 (m)

A es la superficie cubierta por la red de tierras (m^2)

h es la profundidad de la malla de tierra (m)

Para la subestación a diseñar los valores resultan:

ρ	200 Ωm
L_c	3200 m
A	8000 m
h	0,5 m

Tabla I-0-5: Valores característicos para el cálculo de R_g

$$R_g = 200 * \left[\frac{1}{3200} + \frac{1}{\sqrt{20} * 8000} * \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5 * \sqrt{\frac{20}{8000}}} \right) \right] = 1,05 \Omega$$

Cabe destacar la posibilidad de disminuir el valor de R_g mediante la adición de picas o alargando las mismas. Otra solución que se suele adoptar suele ser el tratamiento del suelo para disminuir su resistividad y aumentar así el diámetro efectivo de los electrodos. Para dicha práctica es común la adición de arcillas, sales o materiales artificiales.

1.2.7 CORRIENTES DE DEFECTO

El valor de la corriente de defecto (I_E) será útil a efectos del cálculo de tensiones de paso y contacto aplicadas. Según la norma ITC-RAT 13 se calculará a partir del valor máximo de la corriente de tierra (I_F) y un factor de reducción que en el presente proyecto tomaremos de un 20%.

Por lo que resulta:

$$I_E = 0,8 * I_F = 0,8 * 31,36 = 25,1 \text{ kA}$$

1.2.8 SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR

Dentro de este apartado se verá el dimensionamiento tanto del conductor de cobre desnudo que conforma la red de tierras tanto como de los electrodos de acero.

Se procederá a determinar la sección mínima necesaria de los conductores de cobre a utilizar. Para ello, se aplicará la siguiente fórmula, la cual permite calcular la sección del conductor considerando la corriente que lo atraviesa, el tiempo de duración de esta corriente, y las temperaturas ambiente y máxima admisible para el conductor:

$$S = I_E * \sqrt{\frac{t_c * \alpha_r * \rho_r * 10^4}{TCAP * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Donde:

I_E es la intensidad de defecto calculada en 1.2.7 (kA)

t_c es el tiempo que dura la falta (s)

α_r es el coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia (20 °C), (°C⁻¹)

ρ_r es la resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia (20°C) (μΩcm)

TCAP es el factor de capacidad térmica (J/cm³°C⁻¹)

$K_0 = \alpha_0^{-1}$, es el coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia (20°C) (°C)

T_m es la temperatura máxima permisible (°C)

T_a es la temperatura ambiente (°C)

Para los distintos materiales objetos de estudio, se adoptan los siguientes valores:

Magnitud	Cobre	Acero
I_E (kA)	25,1	
t_c (s)	0,5	
α_r (°C ⁻¹)	0,00393	0,00378
ρ_r (μΩcm)	1,72	8,62
TCAP (J/cm ³ °C ⁻¹)	3,42	3,85
K_0 (°C)	234	245
T_m (°C)	200	
T_a (°C)	20	

Tabla I-0-6: Parámetros para el dimensionamiento de los conductores de la red de tierras

1.2.8.1 Cables de cobre desnudo

Atendiendo a la fórmula propuesta con los parámetros descritos resulta:

$$S_{COBRE}^{MIN} = 25,1 * \sqrt{\frac{0,5 * 0,00393 * 1,72 * 10^4}{3,42 * \ln\left(\frac{234 + 200}{234 + 20}\right)}} = 107,75 \text{ mm}^2$$

Tomando cables de sección de 120 mm² normalizados, verificamos que para dicho valor de sección mínima no se viole la condición de máxima densidad de corriente ($\rho_{corriente}$) expuesta en la ITC-RAT 13, apartado 3.1:

$$\rho_{corriente}^{cobre} = \frac{I_E}{S_{cobre}} = \frac{25088}{120} = 209,07 \frac{A}{mm^2} > 160 \frac{A}{mm^2}$$

Vemos que la densidad de corriente supera el máximo establecido por la norma (160 A/mm²) por lo que tomamos cable de sección 240 mm² normalizado. La nueva densidad de corriente será:

$$\rho_{corriente}^{cobre} = \frac{I_E}{S_{cobre}} = \frac{25088}{240} = 104,53 \frac{A}{mm^2} < 160 \frac{A}{mm^2}$$

1.2.8.2 Electrodo de acero

Atendiendo a la fórmula propuesta con los parámetros descritos resulta:

$$S_{ACERO}^{MIN} = 25,1 * \sqrt{\frac{0,5 * 0,00378 * 8,62 * 10^4}{3,85 * \ln\left(\frac{245 + 200}{245 + 20}\right)}} = 156,13 \text{ mm}^2$$

$$D_{MIN}^{PICA} = \sqrt{4 * \frac{S_{ACERO}^{MIN}}{\pi}} = 14,1 \text{ mm}$$

Para un valor normalizado de picas de diámetro de 15 mm, calculamos la densidad de corriente en el caso más desfavorable:

$$\rho_{corriente}^{acero} = \frac{I_E}{S_{acero}} = \frac{25088}{\left(\frac{0,015}{2}\right)^2} = 97,78 \frac{A}{mm^2} > 60 \frac{A}{mm^2}$$

Vemos que el valor de la densidad de corriente es mayor al valor fijado por la norma ITC-RAT 13 de 60 A/mm², por lo que tomamos picas de diámetro de 20 mm.

$$\rho_{corriente}^{acero} = \frac{I_E}{S_{acero}} = \frac{25088}{\left(\frac{0,02}{2}\right)^2} = 55 \frac{A}{mm^2} > 60 \frac{A}{mm^2}$$

1.2.9 CÁLCULO DE TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO

Para el cálculo de las tensiones de paso (E_m) y de contacto de la instalación, servirá de apoyo la norma IEEE Std. 80-2000 considerando la malla de puesta a tierra rectangular, mallada uniformemente y en medio homogéneo. El método proporciona las dos siguientes cotas superiores:

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_F}{L_M}$$

$$E_s = \frac{\rho * K_s * K_i * I_F}{L_S}$$

Donde

ρ es la resistividad media del terreno obtenida en el apartado 1.2.1 (Ωm)

I_G es la intensidad que circula por la red de tierras obtenida en el apartado 1.2.2 (A)

K_m es el valor geométrico de espaciamiento de la malla para la tensión de contacto

K_i es el factor de irregularidad

K_s es el valor geométrico de espaciamiento de la malla para la tensión de paso

L_M es la longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de contacto (m)

L_S es la longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de paso (m)

A continuación, se muestran las expresiones desarrolladas para la obtención de los parámetros mencionados:

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

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

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 * \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right]$$

$$L_s = 0,75 * L_C + 0,85 * L_R$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * n$$

$K_{ii} = 1$ por tener colocadas las picas en el perímetro o esquinas

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d$$

$$n_a = 2 * \frac{L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}}$$

$n_c = n_d = 1$ por tratarse de una malla cuadrada

Donde

D es la distancia entre conductores (m)

d es el diámetro de los conductores (m)

h es la profundidad de enterramiento horizontal (m)

n es el número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente

L_C es la longitud total de conductores enterrados calculada en el apartado 1.2.5 (m)

L_R es la longitud total de las picas enterradas (m)

L_r es la longitud de cada pica (m)

L_x es la longitud de la malla medida longitudinalmente (m)

L_y es la longitud de la malla medida transversalmente (m)

L_p es la longitud perimetral de la malla de tierras calculada en el apartado 1.2.5 (m)

A es el área encerrada por la malla de tierras (m^2)

D_m es la distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla (m)

h_0 es la profundidad de referencia de las mallas de tierra (m)

Particularizando para los datos de la instalación:

Parámetro	Valor
D (m)	5
d (m)	0,024
L _x (m)	100
L _y (m)	80
L _c (m)	360
L _p (m)	3200
A (m ²)	8000
L _r (m)	2
N ^{picas}	9

Tabla I-0-7: Parámetros característicos para el cálculo de las tensiones de paso y de contacto

$$L_R = L_r * N^{picas} = 2 * 9 = 18 \text{ m}$$

$$n_a = 2 * \frac{L_c}{L_p} = 2 * \frac{3200}{360} = 17,77$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}} = \sqrt{\frac{3200}{4 * \sqrt{8000}}} = 1,003$$

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d = 14,78 * 1 * 1 * 1 = 17,83$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = \sqrt{1 + \frac{0,5}{1}} = 1,224$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * n = 0,644 + 0,148 * 17,83 = 3,28$$

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

$$= \frac{1}{2 * \pi} * \left[\ln \left(\frac{5}{16 * h * d} + \frac{(5 + 2 * 0,5)^2}{8 * 5 * 0,024} - \frac{0,5}{4 * 0,024} \right) + \frac{1}{1,224} * \ln \left(\frac{8}{\pi * (2 * 17,83 - 1)} \right) \right] = 0,47$$

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

$$= \frac{1}{\pi} * \left[\frac{1}{2 * 0,024} + \frac{1}{5 + 0,5} + \frac{1}{5} * (1 - 0,5^{17,83-2}) \right] = 0,44$$

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 * \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right] = 3200 + \left[1,55 + 1,22 * \frac{2}{\sqrt{80^2 + 100^2}} \right]$$

$$= 3201,57 \text{ m}$$

$$L_S = 0,75 * L_C + 0,85 * L_R = 0,75 * 3200 + 0,85 * 18 = 2415,3 \text{ m}$$

Calculamos así los valores de las tensiones de paso y de contacto:

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_F}{L_M} = \frac{50 * 0,47 * 3,28 * 31360}{3201,57} = 702,22 \text{ V}$$

$$E_s = \frac{\rho * K_s * K_i * I_F}{L_S} = \frac{50 * 0,44 * 3,28 * 31360}{2415,3} = 937,53 \text{ V}$$

1.2.10 COMPROBACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS

La siguiente tabla recoge los valores de las tensiones de paso y de contacto máximos y los calculados:

Material	Tensión de contacto máxima U_C (kV)	Tensión de contacto E_m (kV)	Tensión de paso máxima U_P (kV)	Tensión de paso E_s (kV)
Terreno	0,713	0,702	19,22	0,937
Grava	1,727		59,805	
Hormigón	1,543		52,453	
Acero	1,485		50,102	

Tabla I-0-8 Tensiones de paso y contacto resumidas

A raíz de la tabla I-8, se obtiene la conclusión de que no se superan ni las tensiones de paso ni de contacto.

Cabe destacar la importancia del movimiento de tierras previo, con esta práctica se consigue obtener una resistividad del terreno de $50 \Omega m$; en caso de no realizarse sería muy complicado conseguir que las tensiones de paso y de contacto se encontraran dentro del rango impuesto.

ANEXO II: CÁLCULO DE DISTANCIAS

En este apéndice se establecerán las distancias mínimas requeridas entre los diversos componentes de la subestación, así como entre estos y el suelo, siguiendo las normativas de la ITC-RAT 12, en especial las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2. Las distancias necesarias varían dependiendo de la tensión máxima del equipo y la disposición específica de la subestación.

Es importante señalar que las referencias de tensión en esta sección se basan en la máxima tensión que puede soportar el material, en lugar de la tensión nominal. A continuación, se detallará este aspecto para ambas categorías de tensión.

1.1 NIVELES DE AISLAMIENTO

Los niveles de aislamiento disponibles en la subestación se presentan en la tabla siguiente, la cual sirve como referencia inicial para el cálculo de distancias:

Nivel de tensión	132 kV	30 kV
Tensión nominal (kV ef.)	132	30
Tensión máxima para el material (kV ef.)	145	36
Tensión soportada a impulso tipo rayo (kV cr.)	650	170
Tensión soportada a frecuencia industrial (kV ef.)	275	70
Tensión máxima en la red (kV ef.)	145	36

Tabla II-0-1: Niveles de aislamiento para 132 kV y 30 kV

1.2 DISTANCIAS MÍNIMAS EN EL AIRE

Acorde con la ITC-RAT 12, podemos dividir las tensiones presentes tres grupos:

- Grupo A. Tensión más elevada del material mayor de 1 kV y menor o igual de 36 kV.
- Grupo B. Tensión más elevada del material mayor de 36 kV y menor o igual de 245 kV.
- Grupo C. Tensión más elevada del material mayor de 245 kV.

En función del grupo al que pertenezca la tensión más elevada del elemento a aislar, podremos acceder a una serie de tablas dónde encontrar las distancias mínimas para el diseño de la subestación.

1.2.1 DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES

A partir de las tablas 1 y 2 de la ITC-RAT 12 podemos obtener los siguientes valores:

Tensión más elevada para el material (U_m) (kV eficaces)	Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
145	650	1300
36	170	320

Tabla II-0-2: Distancias mínimas en el aire entre fases

1.2.2 DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES Y TIERRA

Al igual que en el apartado 1.4.1, a partir de las tablas 1 y 2 de la ITC-RAT 12 podemos obtener los siguientes valores:

Tensión más elevada para el material (U_m) (kV eficaces)	Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
145	650	1300
36	170	320

Tabla II-3: Distancias mínimas en el aire entre fases

1.2.3 DISTANCIAS MÍNIMAS PARA EL DISEÑO

Atendiendo a lo que expone la norma ITC-RAT 12 en los apartados 1.4.1 y 1.4.2, se han tomado los siguientes valores de distancias mínimas para el diseño de la subestación:

Tensión más elevada para el material (U_m) (kV eficaces)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra (mm)	Distancia mínima de aislamiento en aire entre fases (mm)
145	2000	2000
36	600	600

Tabla II-0-3: Distancias mínimas para el diseño

1.3 DISTANCIAS DEL RESTO DE ELEMENTOS

Este apartado mostrará el cálculo de distancias a los distintos elementos de la subestación en tensión. Para ello, se utilizará como guía el capítulo 15 de la norma ITC-RAT, “*INSTALACIONES DE EXTERIOR*”.

1.3.1 PASILLOS DE SERVICIO

Para el valor de anchura mínima de los pasillos de servicio, nos apoyaremos en la norma ITC-RAT 14, apartado 6, subapartado 6.1.1, dónde podemos obtener dichos valores, fijados de tal manera que se permita la fácil maniobra e instalación de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos.

Tipo de pasillo	Anchura mínima (m)
Pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a un solo lado	1,0
Pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a ambos lados	1,2
Pasillos de inspección con elementos en alta tensión a un solo lado	0,8
Pasillos de inspección con elementos en alta tensión a ambos lados	1,0

Tabla II-0-4 Anchuras mínimas según el tipo de pasillo

Atendiendo a la norma ITC-RAT 15, apartado 4, subapartado 4.1.2, podemos calcular la altura mínima sobre el suelo (H) de aquellos elementos en tensión no protegidos que se encuentren sobre los pasillos según la siguiente expresión:

$$H = 250 + d$$

Siendo

H: Altura mínima (cm).

d: Distancia expresada en centímetros de las tablas 1,2,3 de la ITC-RAT 12. Estos valores se pueden ver en la Tabla 0.3.

Para el caso que nos ocupa, los valores de H son:

Tensión más elevada para el material (Um) (kV eficaces)	d (cm)	H (m)
145	130	380
36	32	282

Tabla II-0-5: Altura mínima de elementos en tensión sin protección

1.3.2 ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ACCIDENTALES EN EL INTERIOR DEL RECINTO DE LA INSTALACIÓN

Los sistemas de protección que se instalen deberán mantener unas distancias mínimas horizontales a los elementos bajo tensión, las cuales se respetarán en toda la zona comprendida entre el suelo y una altura de 200 cm. Acorde con el apartado 4.2 de la ITC-RAT 12, dependiendo del sistema de protección seleccionado y expresadas en centímetros, estas distancias serán las siguientes:

- 1) De los elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima:

$$B = d + 3$$

- 2) De los elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima:

$$C = d + 10$$

- 3) De los elementos en tensión a cierres de cualquier tipo (paredes macizas, enrejados, barreras, etc.) con una altura que en ningún caso podrá ser inferior a 100 cm:

$$E = d + 30 ; \text{Con un mínimo de } 125 \text{ mm}$$

- 4) Para barreras no rígidas y enrejados los valores de las distancias de seguridad en el aire deben incrementarse para tener en cuenta cualquier posible desplazamiento de la barrera o enrejado.

En la siguiente tabla, se recogen las distancias mínimas de seguridad para la subestación objeto de estudio:

Tensión más elevada para el material (Um) (kV eficaces)	d (cm)	B (m)	C (cm)	E (cm)
145	130	133	140	160
36	32	35	42	125

Tabla II-0-6: Distancias mínimas medidas en horizontal a los elementos en tensión.

1.3.3 ZONAS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS ACCIDENTALES DESDE EL EXTERIOR DEL RECINTO DE LA INSTALACIÓN

Para evitar contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión acorde a la ITC-RAT 12, apartado 4.3, deberán mantenerse las siguientes distancias mínimas de seguridad, medidas en horizontal y expresadas en centímetros:

- 1) De los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura $k < 250 + d$ (cm).

$$F = d + 100$$

- 2) De los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura $k \geq 250 + d$ (cm).

$$B = d + 3$$

- 3) De los elementos en tensión al cierre cuando éste es un enrejado de cualquier altura $k \geq 220$ cm.

$$G = d + 150$$

Siendo de 50x50 mm el máximo del enrejado.

Atendiendo a las fórmulas descritas, podemos calcular los parámetros característicos a partir de la d , distancia expresada en centímetros de las tablas 1,2,3 de la ITC-RAT 12. Estos valores se pueden ver en la Tabla 0.3.

Tensión más elevada para el material (Um) (kV eficaces)	d (cm)	F (m)	B (cm)	G (cm)
145	130	230	133	280
36	32	132	35	182

Tabla II-0-7: Distancias mínimas de seguridad entre cierres y elementos en tensión.

A continuación, podemos ver una ilustración obtenida de la ITC-RAT 12 dónde se representa la distancia de seguridad G :

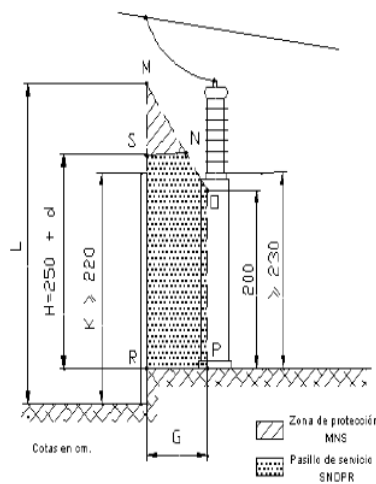


Ilustración 0-1: Representación distancia de seguridad G

ANEXO III: DIMENSIONAMIENTO DE CABLES Y EMBARRADOS

En el presente anexo se procede al dimensionamiento de cables y embarrados de la subestación acorde con la norma ITC LAT 07. Para ello se procederá siguiendo los pasos propuestos en el documento:

1.1 INTENSIDADES NOMINALES

Calcularemos las intensidades para ambos parques de la subestación:

$$I_N^{ALTA} = \frac{S_N^{Transformador}}{\sqrt{3} * U_N^{ALTA}} = \frac{250 * 10^6}{\sqrt{3} * 132 * 10^3} = 1093,47 \text{ A}$$

$$I_N^{BAJA} = \frac{S_N^{Transformador}}{\sqrt{3} * U_N^{BAJA}} = \frac{250 * 10^6}{\sqrt{3} * 30 * 10^3} = 4811,25 \text{ A}$$

$$I_N^{rama} = \frac{S_N^{Transformador}}{\sqrt{3} * U_N^{BAJA} * N^r} = \frac{250 * 10^6}{\sqrt{3} * 30 * 10^3 * 4} = 1202,82 \text{ A}$$

Siendo

U_N la tensión nominal

S_N la potencia nominal del transformador

I_N^{rama} la intensidad nominal que circulará por cada posición de 30 kV

N^r el número de ramas en paralelo en celdas de M.T., en este proyecto 4

1.2 DIMENSIONAMIENTO CONDUCTORES

1.2.1 DENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE

En base a las intensidades calculadas en el apartado anterior, podemos obtener la densidad de corriente para cada sección normalizada en la “Tabla 11” del apartado 4.2.1. de la norma ITC LAT 07.

Sección (mm ²)	Densidad de corriente en lado de alta tensión (A/mm ²)	Densidad de corriente en lado de baja tensión (A/mm ²)	Densidad de corriente máxima permitida para cobre (A/mm ²)
10	109,35	481,1252243	8,75
15	72,90	320,7501495	7,6
25	43,74	192,4500897	6,35
35	31,24	137,4643498	5,75
50	21,87	96,22504486	5,1
70	15,62	68,7321749	4,5
95	11,51	50,64476046	4,05
125	8,75	38,49001795	3,7
160	6,83	30,07032652	3,4
200	5,47	24,05626122	3,2
250	4,37	19,24500897	2,9
300	3,64	16,03750748	2,75
400	2,73	12,02813061	2,5
500	2,19	9,622504486	2,3
600	1,82	8,018753739	2,1

Tabla III-0-1 Distintas densidades de corriente en función de la sección.

Para ello se ha calculado la densidad de corriente según:

$$J\left(\frac{A}{\text{mm}^2}\right) = \frac{I(A)}{\text{Sección} (\text{mm}^2)}$$

Vemos que para una sección de 500 mm² se estaría dentro del rango propuesto por la norma, mientras que para el lado de baja tensión se optará por cable de una sección de 1500 mm².

Por lo tanto, para el parque de 132 kV se decide emplear el siguiente modelo del distribuidor ECN Cable Group, LA-545, el cual cuenta con núcleo de acero. La siguiente tabla recoge las especificaciones de dicho cable:

Magnitud	LA-545
Sección aluminio	484,5 mm ²
Sección acero	62,8 mm ²
Sección total	547,3 mm ²
Nº alambres x diámetro aluminio	54x3,38 mm
Nº alambres x diámetro acero	7x3,38 mm
Diámetro exterior	30,42 mm
Peso unitario	1,832 kg/m
Carga de rotura	148,5 kN

Tabla III-0-2 Especificaciones LA-545

Para los cables de potencia del parque de 132 kV, han de ser realizados a medida, debido a que sus características nominales no están tabuladas en mercado.

1.3 DIMENSIONAMIENTO EMBARRADOS

Para los tubos a emplear en el parque de 132 kV, se empleará el tubo 150/136 del fabricante Valgañón Metal Cable, mientras que para el parque de 30 kV se empleará el tubo 200/188. Se han tomado las decisiones anteriores en base a la intensidad admisible especificada por el fabricante. La siguiente tabla recoge las especificaciones de los tubos mencionados:

Øext/Øint	150/136 mm	200/188mm
Sección	3145 mm ²	3657 mm ²
Peso por unidad de longitud	8,491 kg/m	9,9 kg/m
Intensidad admisible	3400 A	4535 A
Momento de inercia	805,76 cm ⁴	1722 cm ⁴
Momento resistente	84,38 cm ³	133,05 cm ³

Tabla III-0-3 Especificaciones tubos embarrados

ANEXO IV: CÁLCULO DE CAPACIDAD PARA BATERIAS CORRIENTE CONTINUA

Para el cálculo de la capacidad de las baterías de corriente continua, se han tomado en consideración los elementos de la siguiente tabla:

	Potencia consumida por unidad (VA)	Número	Potencia total (VA)	Carga total (Ah)
Motores	600	30	18000	654,455
Relés	5	75	125	4,545
Sistema protección transformador	600	1	600	21,818
Sistema de control	1000	1	1000	36,363
Suma total	2205	57	19725	726,36

Tabla VI-0-1 Consumo de potencia para el cálculo de baterías

Para el cálculo anterior, se han empleado las siguientes fórmulas:

$$C = P * \frac{N}{U_{cc}} * T$$

Siendo:

C la carga (Ah)

N el número de unidades de cada equipo

T el tiempo de autonomía (h)

P la potencia consumida por cada equipo

U_{cc} el valor de la tensión de corriente continua

Dónde la tensión ha sido fijada en 220 V y el tiempo de autonomía 8 horas.

ANEXO V: CÁLCULO DE CIMENTACIONES

En el presente anexo se detallará el cálculo del dimensionamiento de las cimentaciones de la aparamenta eléctrica. Se ha decidido emplear hormigón armado para aportar una mayor estabilidad. Para ello, debemos calcular las distintas fuerzas que influyen en el problema:

1.1 PESO PROPIO

La siguiente tabla recoge la fuerza debida al peso propio de los distintos elementos:

Aparamenta	Peso (Kg)	Fuerza peso (N)
Interruptor	873	8555,4
Seccionador	1014	9937,2
TI	490	4802
TT	500	4900
PASS M0	3500	34300

Tabla V-0-1 Esfuerzos debidos al peso propio de la aparamenta

Obteniendo el valor de la fuerza como resultado de la multiplicación del peso y la aceleración de la gravedad.

1.2 VIBRACIONES

En el presente proyecto se decide no incluir las fuerzas debidas a la vibración del transformador. Esta aproximación es fácil de asumir ya que es común el dimensionamiento de un T.M.D. “*Tuned Mass Damper*”, cuyo objetivo es modificar la geometría y el peso del transformador de tal manera que el factor de amplitud dinámico se vea reducido para el rango de frecuencias de excitación del propio transformador.

1.3 CÁLCULO DE SECCIÓN MÍNIMA

Para calcular la sección mínima de los cimientos, se aplicará la fórmula de Terzaghi:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F}$$

Siendo

Q_{adm} la capacidad portante máxima admisible (N/m)

Q_u la capacidad portante última, en este caso 300.000 al tratarse de un suelo arenoso con grava (N/m)

F el factor de seguridad, en este caso 3

Calculando la sección mínima como:

$$A = \frac{P}{q_{adm}}$$

Siendo

A la sección (m²)

P el valor del sumatorio de fuerzas de compresión (N/mm²)

Aparamenta	Sección mínima (m²)
Interruptor	0,085554
Seccionador	0,099372
TI	0,04802
TT	0,049

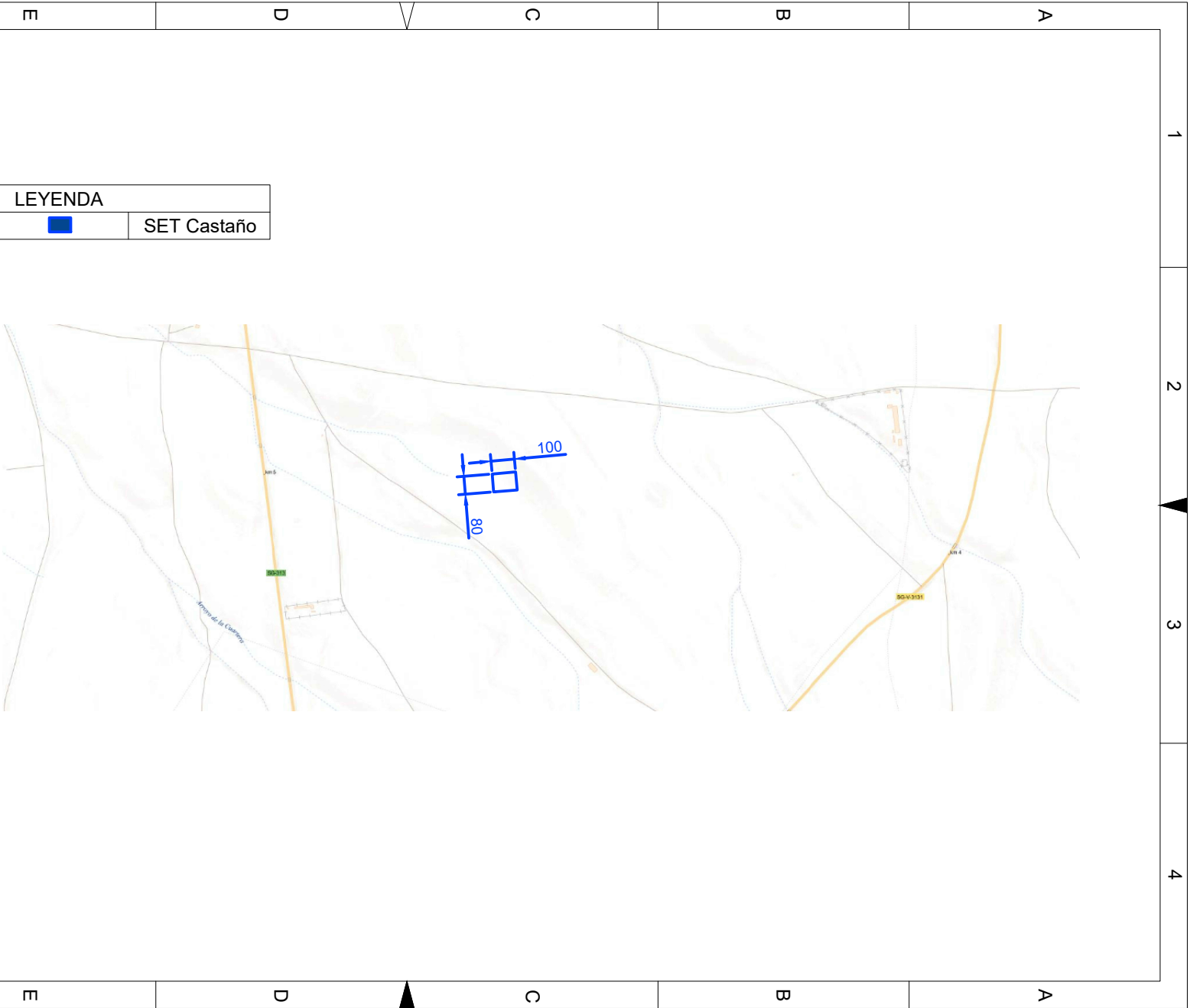
PASS M0	0,392
----------------	-------


Tabla V-0-2 Secciones mínimas para la cimentación



La cimentación de los apoyos ha decidido realizarse hormigonada pata de elefante.

PLANOS

1. Implantación sobre suelo topográfico
2. Esquema unifilar parque 132 kV
3. Esquema unifilar parque 30 kV
4. Planta general
5. Alzado
6. Edificio de mando
7. Red de tierras

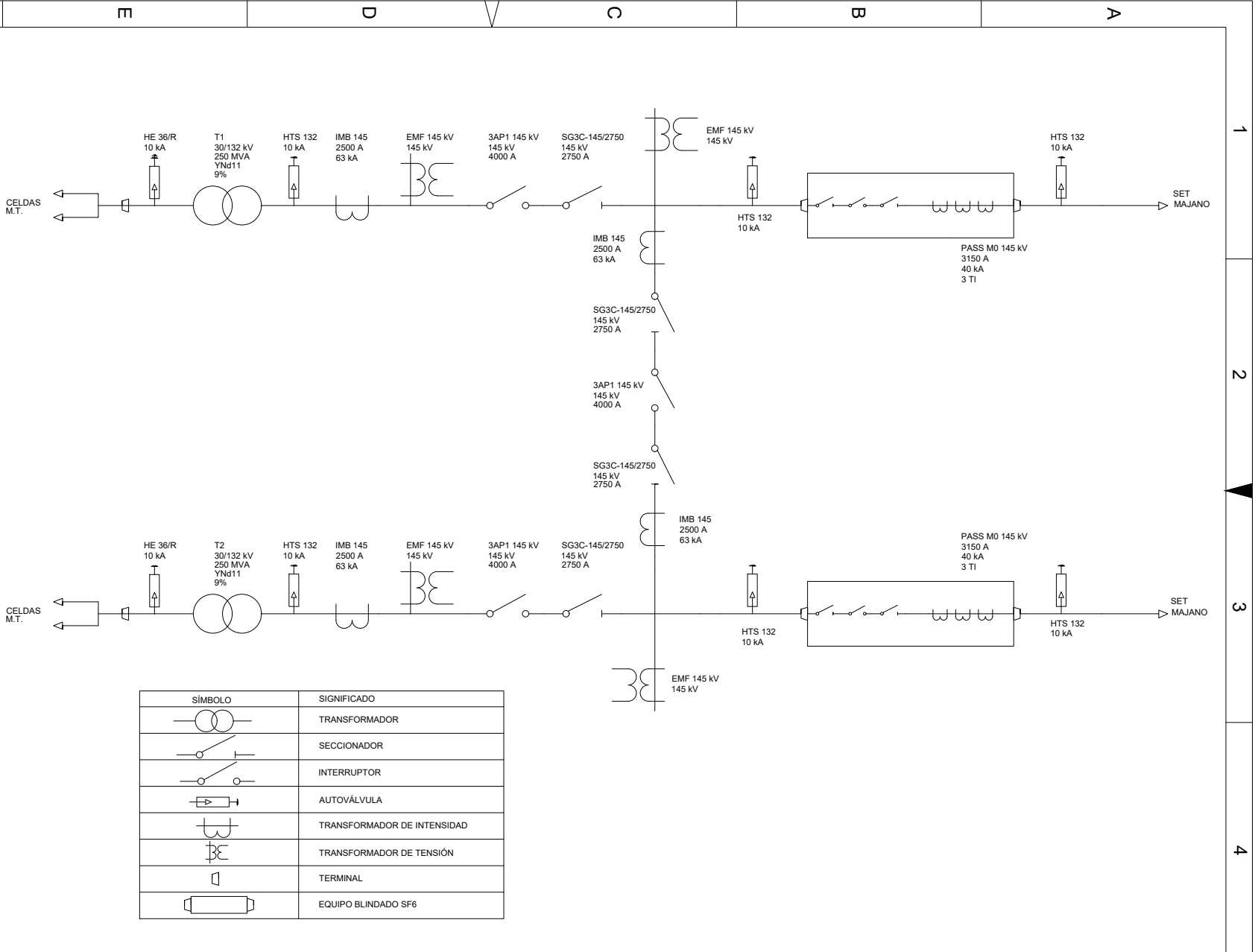


LEYENDA	
	SET Castaño

MATERIAL				PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBSTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSION PARA RED DE TRANSPORTE
TOLERANCIA				Implantación sobre suelo topográfico
DIBUJADO	NOMBRE			
COMPROBADO	P.G.P.			
ESCALA:		FIRMA		I.C.A.I.
1:2500				

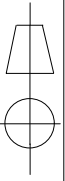
1 2 3 4

1 2 3 4



SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	TRANSFORMADOR
	SECCIONADOR
	INTERRUPTOR
	AUTOVÁLVULA
	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD
	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN
	TERMINAL
	EQUIPO BLINDADO SF6

MATERIAL
TOLERANCIA



NOMBRE

FECHA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBSTACIÓN
ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA RED DE TRANSPORTE

Esquema unifilar parque 132

DIBUJADO
COMPROBADO

P.G.P.

FECHA

ESCALA:

FIRMA

F

I.C.A.I.

KV

Nº DE LAMINA:

2

F

1

2

3

4

1

2

3

4

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

SET MAJANO

SET MAJANO

CELDA M.T.

CELDA M.T.

PASS M0 145 kV
3150 A
40 kA
3 TI

PASS M0 145 kV
3150 A
40 kA
3 TI

EMF 145 kV
145 kV

EMF 145 kV
145 kV

EMF 145 kV
145 kV

3AP1 145 kV
145 kV
4000 A

3AP1 145 kV
145 kV
4000 A

3AP1 145 kV
145 kV
4000 A

SG3C-145/2750
145 kV
2750 A

SG3C-145/2750
145 kV
2750 A

SG3C-145/2750
145 kV
2750 A

EMF 145 kV
145 kV

IMB 145
2500 A
63 kA

IMB 145
2500 A
63 kA

IMB 145
2500 A
63 kA

IMB 145
2500 A
63 kA

IMB 145
2500 A
63 kA

IMB 145
2500 A
63 kA

HTS 132
10 kA

HTS 132
10 kA

HTS 132
10 kA

HTS 132
10 kA

HE 36/R
10 kA

HE 36/R
10 kA

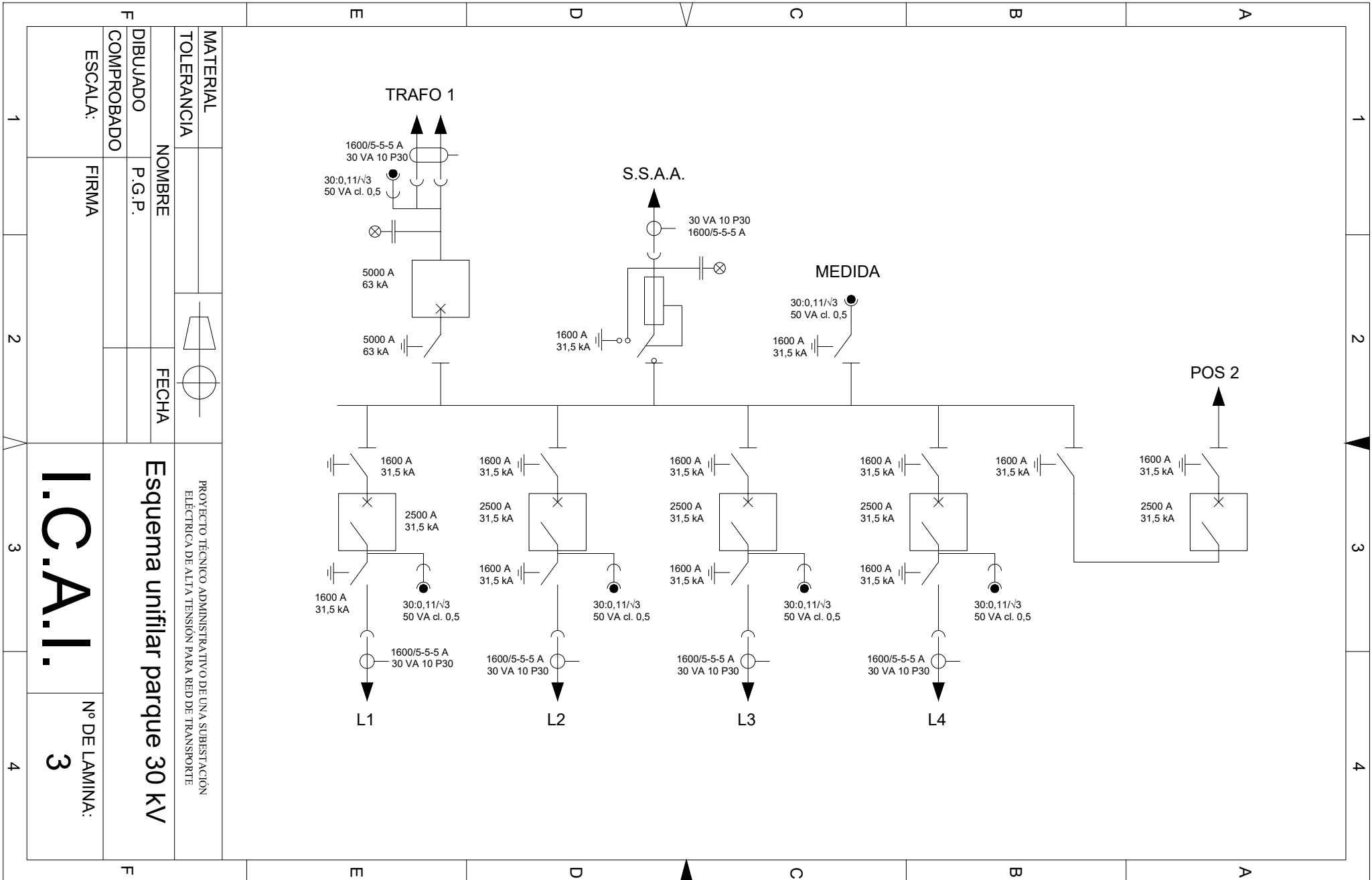
HE 36/R
10 kA

T1
30/132 kV
250 MVA
YNd11
9%

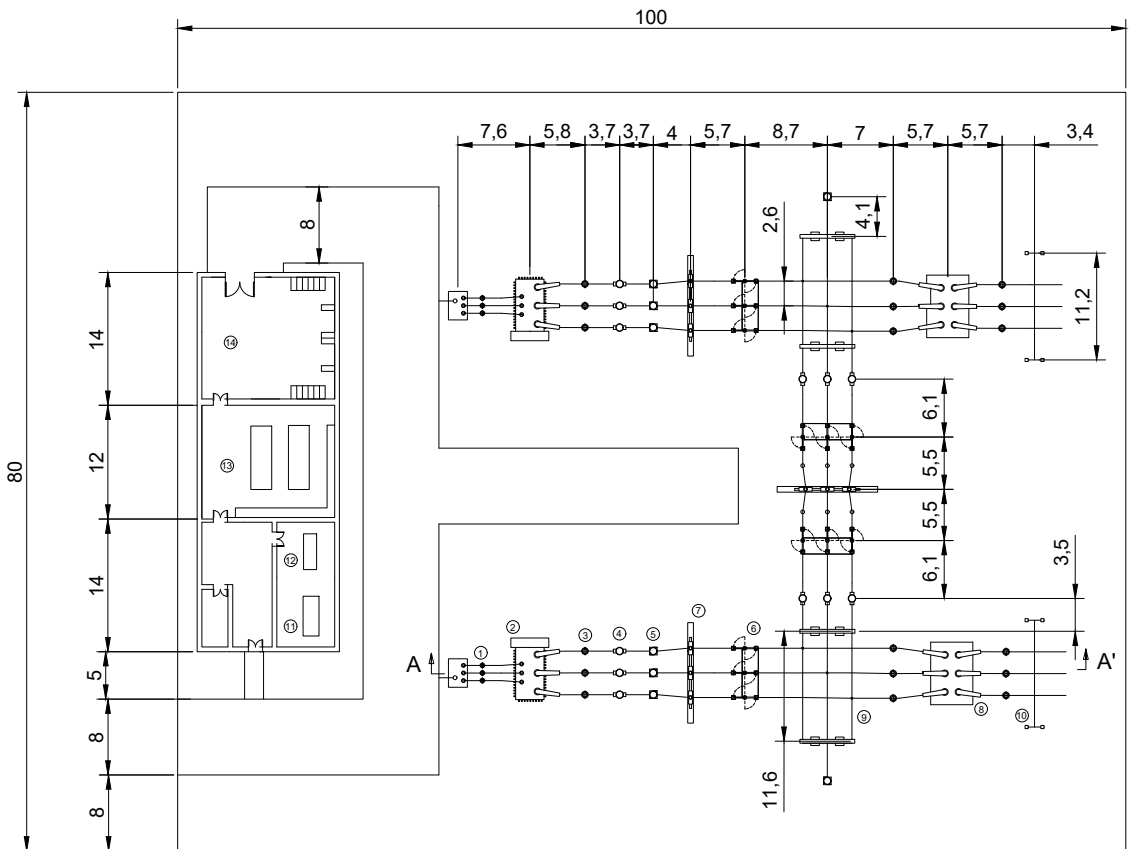
T1
30/132 kV
250 MVA
YNd11
9%

T2
30/132 kV
250 MVA
YNd11
9%

T2
30/132 kV
250 MVA
YNd11
9%



MATERIAL	TOLERANCIA	NOMBRE	FECHA	PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBSTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA RED DE TRANSPORTE
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA			
Esquema unifilar parque 30 kV				I.C.A.I.
Nº DE LAMINA: 3				



1	Autoválvula 30 kV	5	Transformador tensión	10	Pórtico 132 kV
2	Transformador 30/132 kV 250 MVA	6	Interruptor de potencia	11	S.S.A.A. C.A.
3	Autoválvula 132 kV	7	Seccionador con p.a.t.	12	Baterías condensadores
4	Transformador intensidad	8	Interruptor seccionador GIS	13	Sala telecomunicaciones
		9	Barra 132 kV	14	Celdas M.T.

MATERIAL
TOLERANCIA

NOMBRE

FECHA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBSTACIÓN
ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA RED DE TRANSPORTE

Planta general

F
DIBUJADO
COMPROBADO

P.G.P.

ESCALA:
1:75

FIRMA

1

I.C.A.I.

Nº DE LAMINA:
4

2

3

4

E

D

C

B

A

1

2

3

4

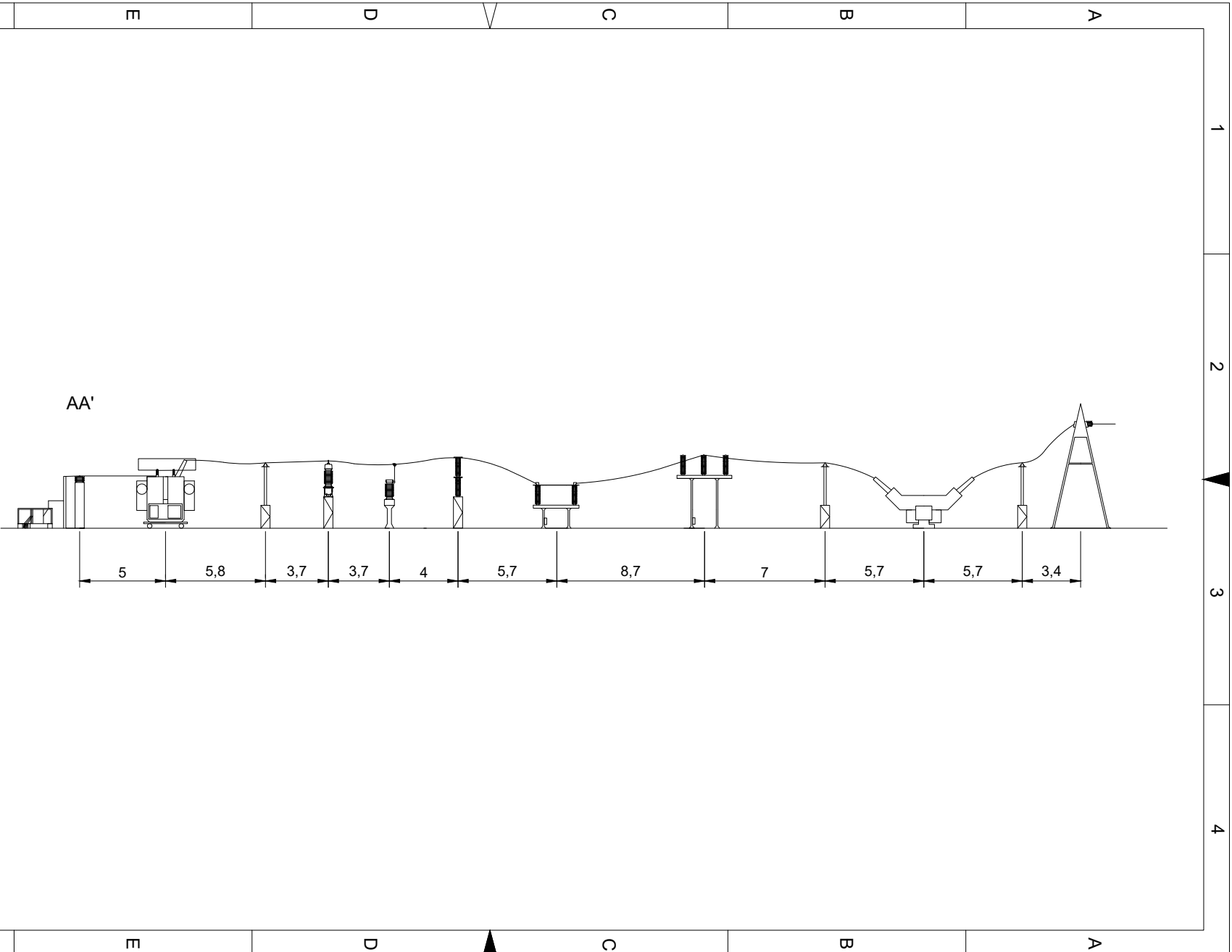
E

D

C

B

A



MATERIAL
TOLERANCIA

NOMBRE

FECHA

Alzado parque 132 kV

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBSTACIÓN
ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA RED DE TRANSPORTE

DIBUJADO
COMPROBADO

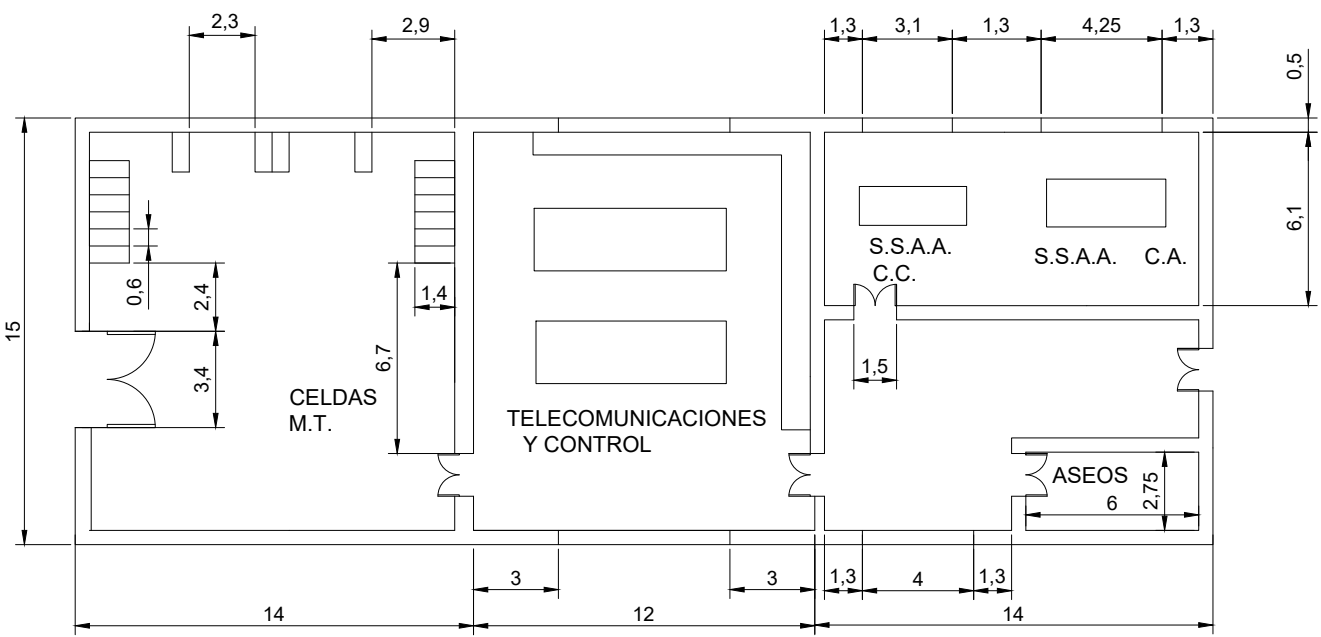
P.G.P.
FIRMA

ESCALA:
1:30

I.C.A.I.

Nº DE LAMINA:
5

1	2	3	4
1	2	3	4



MATERIAL
TOLERANCIA

NOMBRE

FECHA

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

Edificio de control

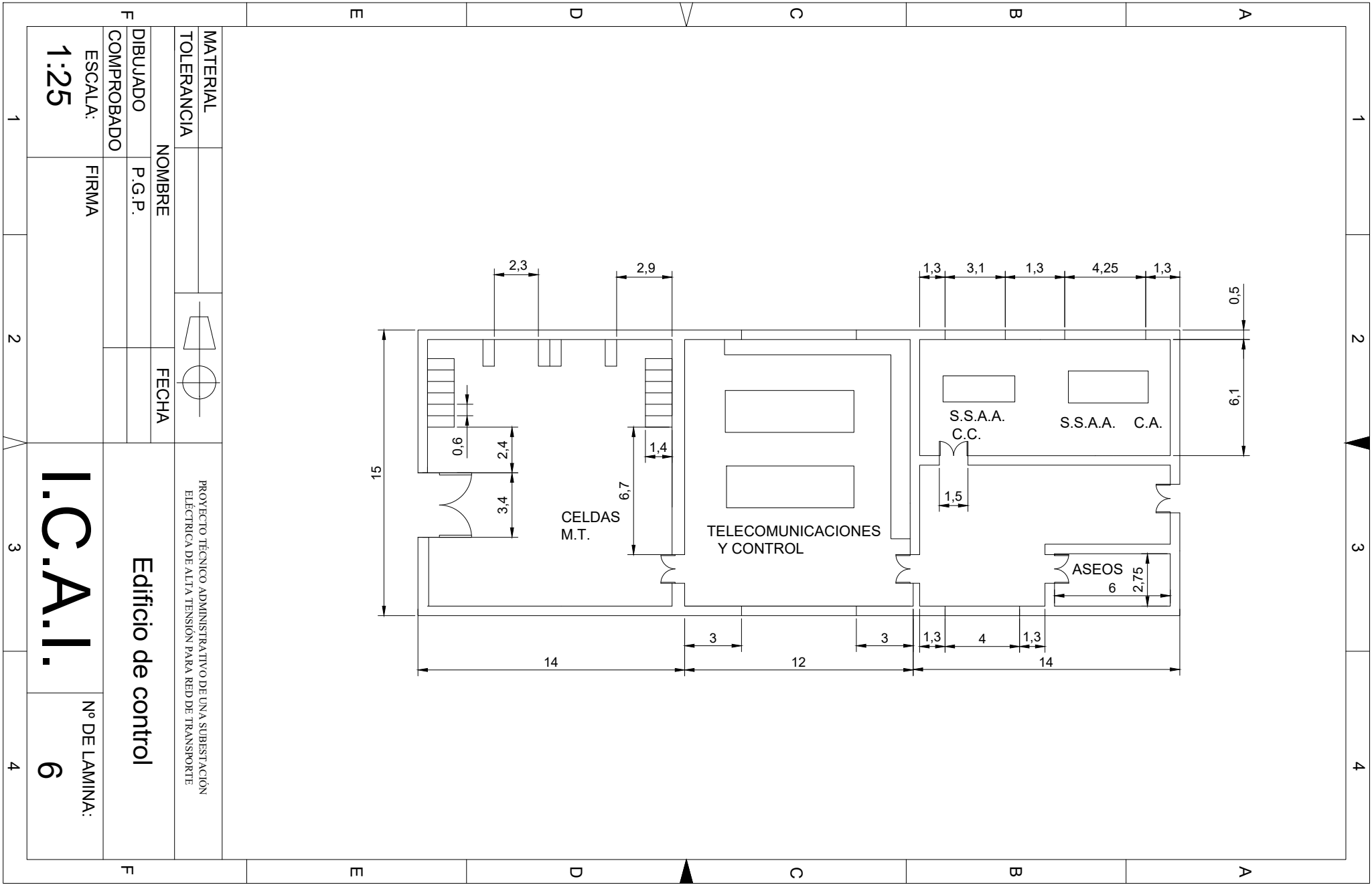
DIBUJADO
COMPROBADO

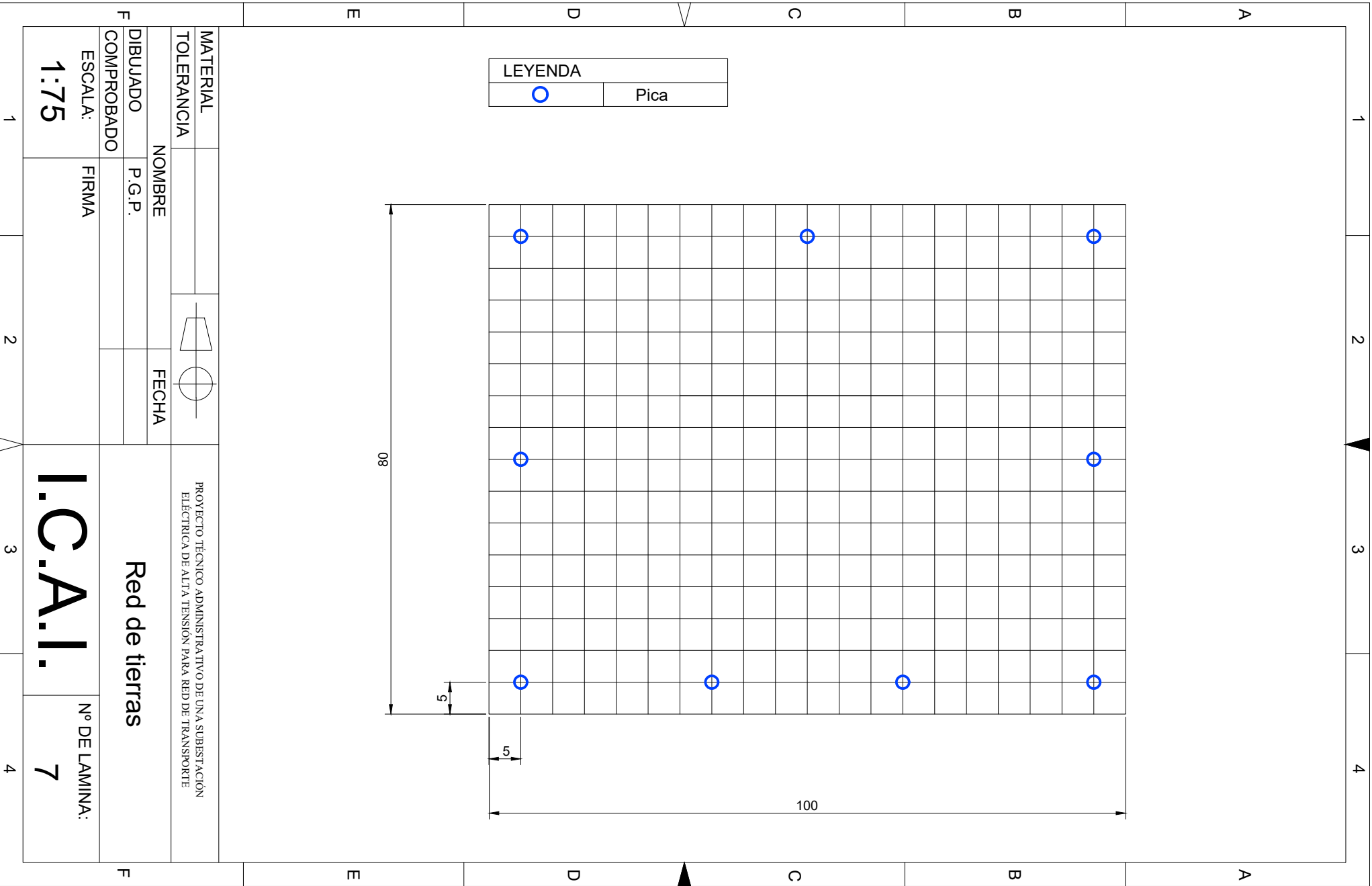
ESCALA:
1:25

FIRMA

I.C.A.I.

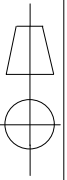
Nº DE LAMINA:
6





LEYENDA	
○	Pica

MATERIAL
TOLERANCIA



PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DE UNA SUBSTACIÓN
ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA RED DE TRANSPORTE

NOMBRE

FECHA

DIBUJADO

P.G.P.

Red de tierras

COMPROBADO

ESCALA:
1:75

FIRMA

1:75

I.C.A.I.

Nº DE LAMINA:
7

1

2

3

4

1

2

3

4

A

B

C

D

E

A

B

C

D

E

ESTUDIO ECONÓMICO

1. APARAMENTA			
Descripción	UD	Precio/UD	Total
Suministro y montaje TI	12	15.000,00 €	180.000,00 €
Suministro y montaje TT	7	14.000,00 €	98.000,00 €
Suministro y montaje autoválvula 30 kV	3	600,00 €	1.800,00 €
Suministro y montaje autoválvula 132 kV	18	6.000,00 €	108.000,00 €
Suministro y montaje interruptor 132 kV	3	35.000,00 €	105.000,00 €
Suministro y montaje seccionador 132 kV	4	15.000,00 €	60.000,00 €
Suministro y montaje interruptor- seccionador híbrido	2	75.000,00 €	150.000,00 €
Suministro e instalación transformador de potencia 30/132 kV 250 MVA	2	2.000.000,00 €	4.000.000,00 €
Suministro y montaje celdas BT	16	35.000,00 €	560.000,00 €
TOTAL APARAMENTA			5.262.800,00 €

2. SERVICIOS AUXILIARES

Descripción	UD	Precio/UD	Total
Suministro y montaje CT "miniblock"	1	50.000,00 €	50.000,00 €
Suministro y montaje baterías corriente continua	1	50.000,00 €	50.000,00 €
TOTAL			100.000,00 €

3. CONDUCTORES Y EMBARRADOS

Descripción	UD	Precio/UD	Total
Suministro y montaje de conductores	1	450.000,00 €	450.000,00 €
Suministro y montaje de pórticos y aisladores	1	300.000,00 €	300.000,00 €
TOTAL CONDUCTORES Y EMBARRADOS			750.000,00 €

4. OBRA CIVIL

Descripción	UD	Precio/UD	Total
Adecuación del terreno	1	300.000,00 €	300.000,00 €
Construcción cimentaciones viales y edificio	1	500.000,00 €	500.000,00 €
Construcción vallado	1	20.000,00 €	20.000,00 €
Excavación zanja red de tierras	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Materiales	1	15.000,00 €	15.000,00 €
TOTAL OBRA CIVIL			840.000,00 €

5. SERVICIOS VARIOS

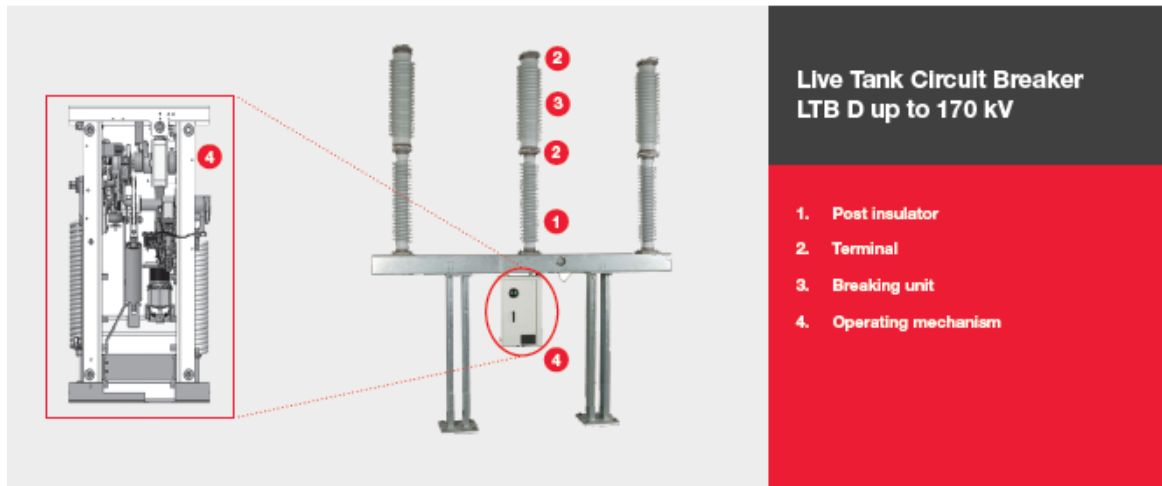
Descripción	UD	Precio/UD	Total
Servicios de ingeniería	1	50.000,00 €	50.000,00 €
Adquisición de terreno	1	20.000,00 €	20.000,00 €
TOTAL SERVICIOS VARIOS			70.000,00 €

Por lo que el resultado total sería de:

Concepto	Importe
Aparamenta	5.262.800,00 €
Servicios auxiliares	100.000,00 €
Conductores y embarrado	750.000,00 €
Obra civil	840.000,00 €
Servicios varios	70.000,00 €
TOTAL	6.952.800,00 €

El total sería de SEIS MILLONES NOVECIENTOS CINCUENTA Y DOS MIL OCHOCIENTOS EUROS.

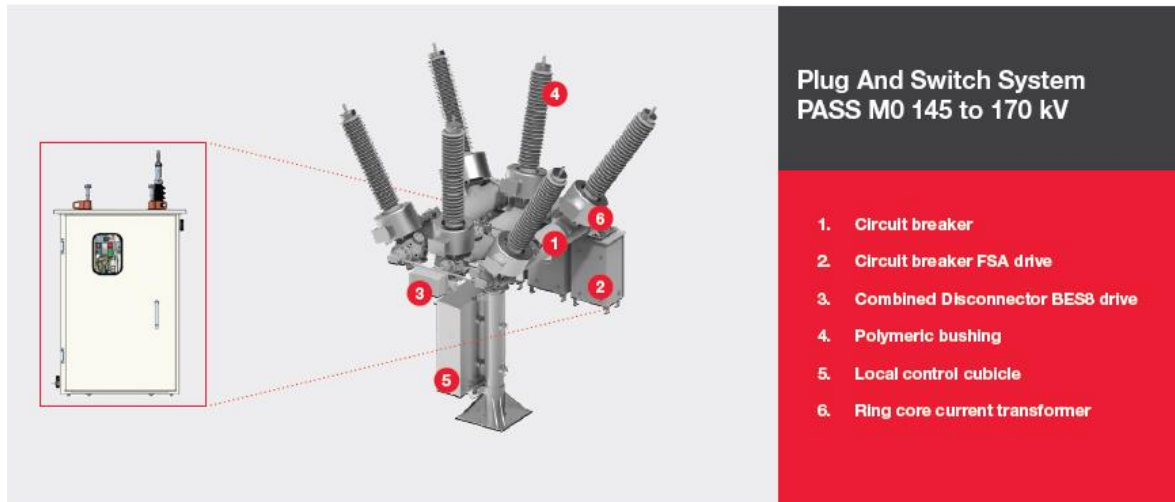
ESPECIFICACIONES FABRICANTES



Performance data

LTB D 72.5 - 170 kV

Rated voltage	kV	up to 170
Rated continuous current	A	up to 3150*
Rated frequency	Hz	50/60
Rated short-circuit breaking current	kA	up to 40
Rated short-time withstand current (3s)	kA	up to 40
Type of operation		Single- or three-pole
Design		Self-blast Interrupter
Insulation		SF ₆
Applications		Line, transformers, reactor, cable and capacitor switching
Controlled switching applications		Yes
Insulators		Composite or porcelain
Operating mechanism		Spring operating
Creepage distance	mm/kV	25 or 31*
Installation		Outdoor
Standards		IEC 62271-100
Service conditions:		
• Ambient temperature	°C	-50 to +40*
• Design altitude	m	1000*



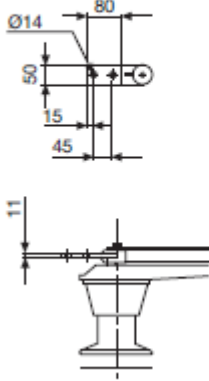
Performance data		PASS M0 145 kV	PASS M0 170 kV
Rated voltage	kV	145*	170
Rated interrupting (short-circuit) current	kA		40
Rated interrupting (breaking) time	ms		<50
Rated continuous (normal) current	A		3150
Rated frequency	Hz	50/60	50
First-pole-to-clear factor (k_{cp})			1.3/1.5
Rated capacitive switching			
Lines and cables	Class/ko		C2/1.4
Capacitor banks			C2/1.0
Rated mechanical endurance class			M2
Minimum ambient temperature	°C	-30/+40**	-25/+40**
Interrupter type		Double-motion, self-blast	
Operating mechanism type		Spring	
Operating mechanism housing ingress protection rating		IP65	
Local Control Cubicle housing ingress protection rating		IP55	
Applicable standards		IEC & ANSI/IEEE	
Bus transfer rating		1600A/100V	

*Product is also available with rated voltage 72.5 kV.

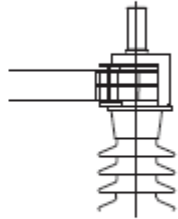
**Extended range available

Terminales de conexión / Terminals

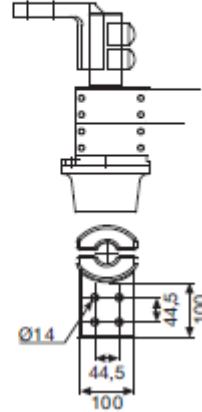
Bornas planas
Flat terminals



Bornas cilíndricas
Cylindrical terminals

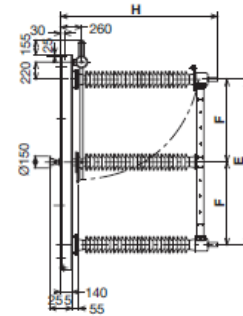
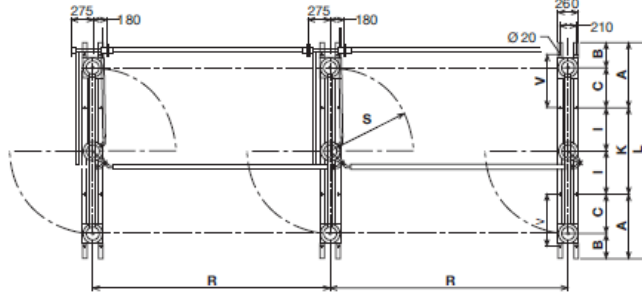


Borna terminal tipo NEMA
en aluminio
Aluminum NEMA type terminal



1250 A, 1600 A	2000 A, 2750 A
Ø40 x 125	Ø50 x 125

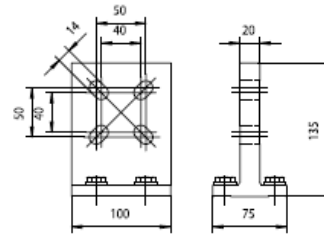
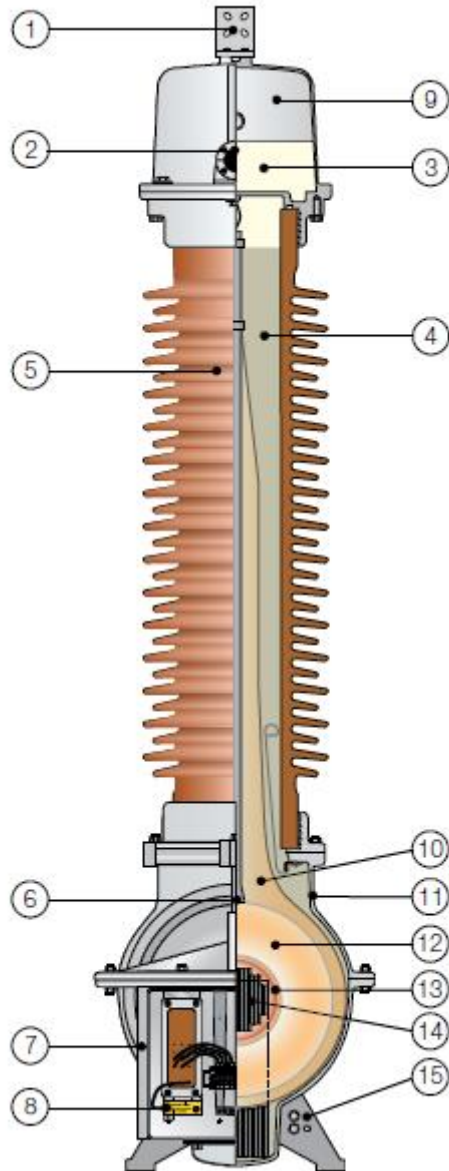
C SG3C, SG3CT: 145 kV ≤ U_n ≤ 245 kV 1600 A ≤ I_n ≤ 2750 A



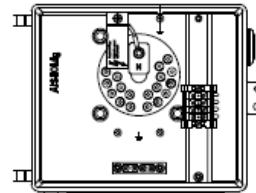
Características eléctricas

Electrical Characteristics

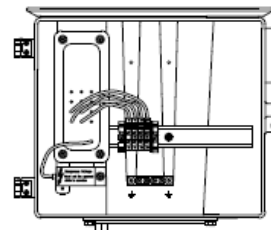
	Referencia Reference	Tensión nominal Rated voltage	Intensidad nominal Rated normal current (I)	Tensión de ensayo / Impulse withstand voltage				Intensidad corta duración (valor eficaz) Short time withstand current (RMS) (I)	Valor cresta de la intensidad Peak withstand current (I)	Tipo de aislador Insulator type
				A tierra y entre polos To earth and between poles	Sobre la distancia de seco Across isolating distance	A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse			
1	SG3CP-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
	SG3CP-52/1250	52	800	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
	SG3CP-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
	SG3CP-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	SG3C-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
	SG3C-52/1250	52	1250	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
	SG3C-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
	SG3C-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	SG3C-52/1600	52	1600	95	250	110	290	40	100	C4-250
	SG3C-52/2000	52	2000	140	325	160	375	40	100	C4-325
	SG3C-52/2750	52	2750	2750				40	100	C4-325
	SG3C-72/1600	72,5	1600	140	325	160	375	40	100	C4-325
SG3C-72/2000	72,5	2000	2750				40	100	C4-325	
SG3C-72/2750	72,5	2750	2750				40	100	C4-325	
SG3C-123/1600	123	1600	230	550	265	635	40	100	C4-550	
SG3C-123/2000	123	2000	2750				40	100	C4-550	
SG3C-123/2750	123	2750	2750				40	100	C4-550	
B	SG3CP-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
	SG3CP-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
	SG3CP-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
	SG3C-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
C	SG3C-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
	SG3C-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
	SG3C-145/1600	145	1600	275	650	315	750	40	100	C4-650
	SG3C-145/2000	145	2000	275	650	315	750	40	100	C4-650
SG3C-145/2750	145	2750	2750				40	100	C4-650	
SG3C-170/1600	170	1600	325	750	375	860	40	100	C4-750	
SG3C-170/2000	170	2000	2750				40	100	C4-750	
SG3C-170/2750	170	2750	2750				40	100	C4-750	
SG3C-245/1600	245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050	
SG3C-245/2000	245	2000	2750				40	100	C4-1050	
SG3C-245/2750	245	2750	2750				40	100	C4-1050	



EMF 52-170



EMF 52-84



EMF 123-170

1	Borne primaire	9	Système d'expansion
2	Regard vitré	10	Isolation en papier
3	Huile	11	Réservoir
4	Contenu en quartz	12	Enroulement primaire
5	Isolateur	13	Enroulements secondaires
6	Crochet de levage	14	Noyau
7	Bloc de connexion secondaire	15	Bornes secondaires
8	Borne d'extrémité neutre	16	Connexion à la terre

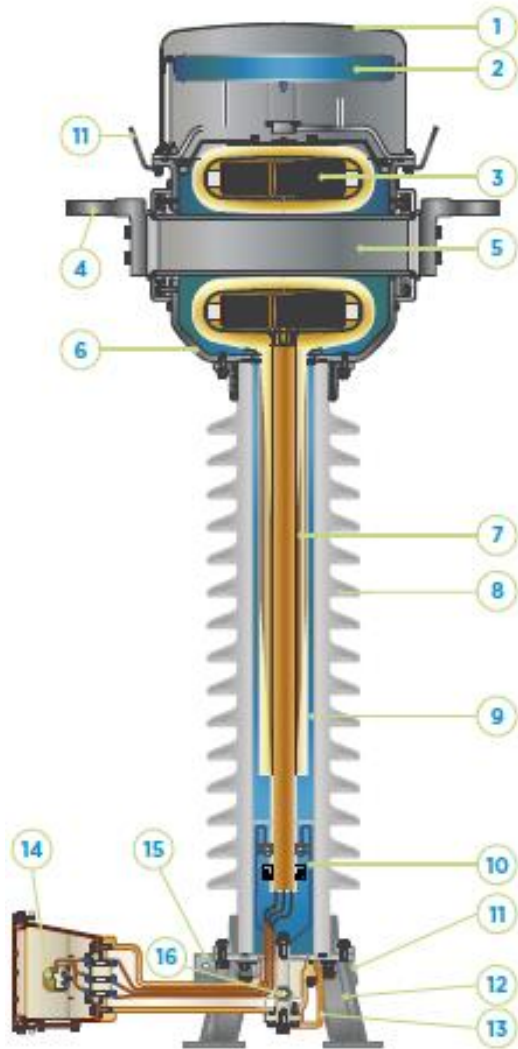
Décharge nominale et ligne de fuite

Type	Porcelaine normale (Valeurs min.)			Porcelaine avec longue ligne de fuite (Valeurs min.)		
	Distance de décharge	Ligne de fuite	Ligne de fuite protégée	Distance de décharge	Ligne de fuite	Ligne de fuite protégée
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
EMF 52	630	224ø	1020	Autres disponible sur demande. Normalement, isolateur pour la tension supérieure la plus proche		
EMF 72	630	224ø	1020			
EMF 84	630	224ø	1020			
EMF 123	1200	3625	1400			
EMF 145	1200	3625	1400			
EMF 170	1330	5270	2200			

Tensions de test CEI 61869-3


Type	Tension maximale de l'équipement (Um)	1 min sous pluie/à sec	LIWL 1.2/50 µs	Tension de test RIV	Niveau RIV
	kV	kV	kV	kV Max.	µV
EMF 52	52	95	250	30	125
EMF 72	72,5	140	325	46	125
EMF 84	84	150	380	54	125
EMF 123	123	230	550	78	2500
EMF 145	145	275	650	92	2500
EMF 170	170	325	750	108	2500

Les tensions de test ci-dessus sont valables pour des altitudes ≤ 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer.



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

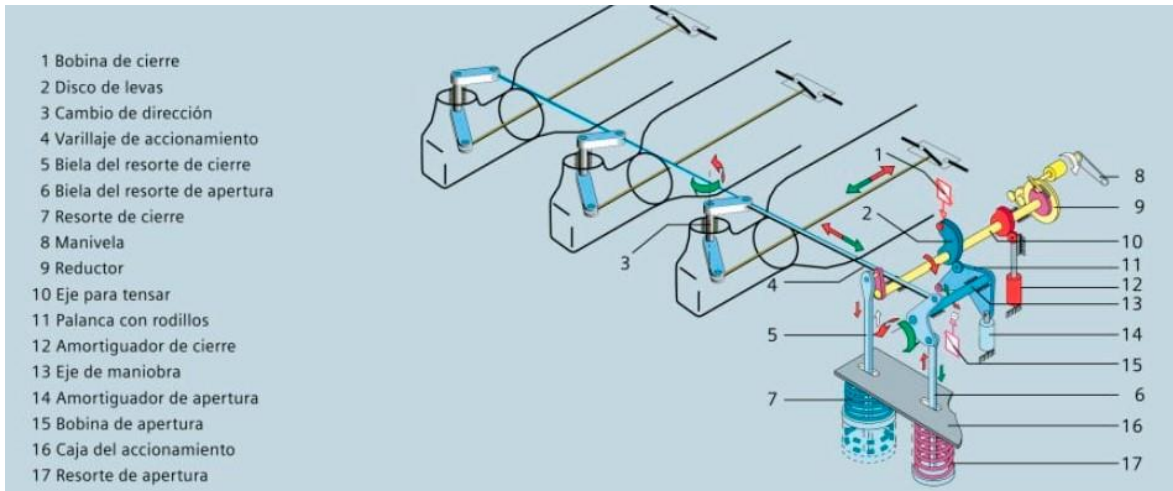
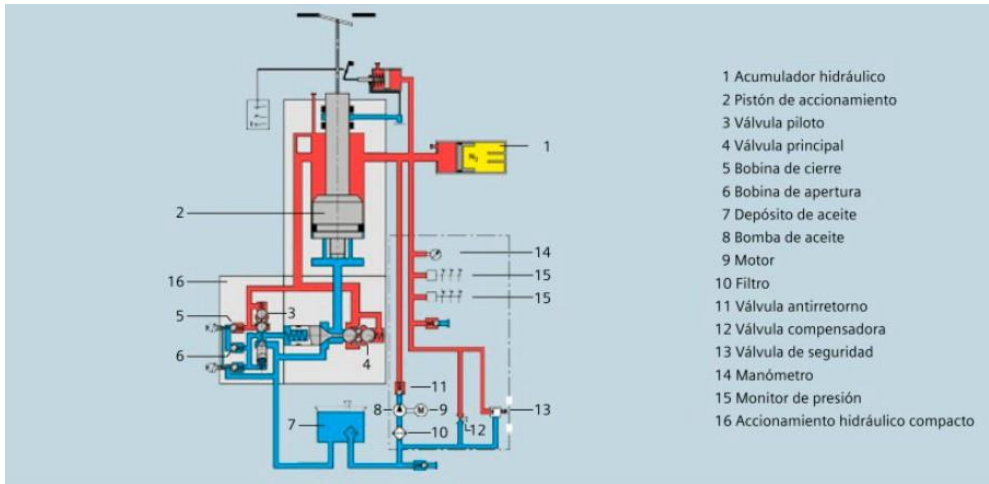
Gamas de descargadores VARISIL



Aplicación	Redes de distribución			Subestaciones MT y AT		Cables	Aplicaciones ferroviarias	
Voltaje del sistema	c.a.			c.a.		c.a.	c.c.	
	24 / 36 kV	hasta 36 kV	hasta 52 kV	hasta 170 kV	hasta 245 kV	MT / AT	15 / 25 kV	750 / 1500/ 3000 V
Clasificación según	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA	10 kA
CEI 60099-4:2009	CDL 1	CDL 1	CDL 1	CDL 2	CDL 3	CDL 1	CDL 1	CDL 2
CEI 60099-4:2014	DH - 0,5 C	DH - 0,5 C	DH - 0,5 C	SL - 1,2 C	SM - 2,0 C	DH - 0,5 C	DH - 0,5 C	SL - 1,2 C
EN 50526-1	-	-	-	-	-	-	-	DC-A

MODELO	UNIDAD	HTS 75	HTS 78	HTS 78-3G	HTS 84	HTS 84-3G	HTS 90	HTS 90-3G	HTS 96	HTS 96-3G	HTS 96-2M2G	HTS 102	HTS 108	HTS 108-4G	HTS 120	HTS 120-4G	HTS 132	HTS 132-4G	HTS 144
Tensión asignada Ur	kV eff /rms	75	78	78	84	84	90	90	96	96	96	102	108	108	120	120	132	123	144
Tensión de servicio permanente Uc	kV eff /rms	60	64	64	68	68	73	73	77	77	77	84	87	87	98	98	106	106	116
Tensión residual máxima																			
5 kA/8/20	kV cresta /peak	170,1	181,8	181,8	195,5	195,5	207,1	207,1	220,8	220,8	220,8	232,4	246,1	246,1	277,5	277,5	302,8	302,8	328,1
10kA/8/20		182,9	195,5	195,5	210,2	210,2	222,7	222,7	237,4	237,4	237,4	249,9	264,6	264,6	298,4	298,4	325,6	325,6	352,8
20kA/8/20		201,2	215,1	215,1	231,2	231,2	245	245	261,1	261,1	261,1	274,9	291,1	291,1	328,2	328,2	358,2	358,2	388,1
Tensión residual con onda de maniobra a 500A-30/80	kV cresta /peak	144,7	154,6	154,6	166,3	166,3	176,2	176,2	187,8	187,8	187,8	197,7	209,3	209,3	236	236	257,5	257,5	279,1
Tensión residual con impulso escarpado a 10kA-1/2.5	kV cresta /peak	199,4	213,1	213,1	229,1	229,1	242,7	242,7	258,8	258,8	258,8	272,4	288,4	288,4	325,3	325,3	354,9	354,9	384,6
Capacidad dieléctrica del envolvente	kV 1.2 /50	450	450	550	450	550	500	550	500	550	650	550	550	750	650	750	700	750	750
Línea de fuga	mm	2780	2780	3240	2780	3240	3010	3240	3010	3240	3860	3240	3240	4320	3860	4320	4090	4320	4320
Altura	mm	1260	1260	1420	1260	1420	1340	1420	1340	1420	1660	1420	1420	1820	1660	1820	1740	1820	1820
Diametro exterior	mm	150																	
Peso	Kg	15,5	16	17,5	16,5	18	17	18,5	17,5	18,5	21,5	19	19,5	22	23	25	24	26	27

MODELO	UNIDAD	HE 03	HE 05	HE 06	HE 09	HE 10	HE 12	HE 12/R	HE 15	HE 18	HE 18/R	HE 21	HE 24	HE 24/R	HE 24/2R	HE 27	HE 30	HE 33	HE 36	HE 36/R																					
Tensión asignada Ur	kV eff /rms	3,3	5	6	9	10	12	12	15	18	18	21	24	24	24	27	30	33	36	36																					
Tensión de servicio permanente	kV eff /rms	2,8	4,25	5,1	7,65	8,4	10,2	10,2	12,7	15,3	15,3	17,5	20,0	20,0	20,0	22,5	25	27,5	30	30																					
Tensión residual máxima																																									
5 kA 8/20	kV cresta /peak	15,4	14,3	15,4	26,4	27,5	30,8	30,8	40,7	46,2	46,2	56,1	61,2	61,2	61,2	72,2	76,2	87,2	91,7	91,7																					
10kA 8/20		16,4	15,2	16,4	28,1	29,3	32,8	32,8	43,3	49,1	49,1	59,7	65,1	65,1	65,1	76,8	81,1	92,8	97,5	97,5																					
20kA 8/20		18,1	16,8	18,1	31,1	32,4	36,2	36,2	47,8	54,3	54,3	66,0	71,9	71,9	71,9	84,9	89,6	102,5	107,5	107,7																					
Tensión residual con onda de maniobra a 500A-30/80	kV cresta /peak	8	12,1	13,0	22,3	23,3	26,1	26,1	34,4	39,0	39	47,5	51,8	51,8	51,8	61,1	64,5	3,8	77,5	77,5																					
Tensión residual con impulso escarpado 10kA-1/2,5	kV cresta /peak	10,8	16,4	17,7	30,3	31,6	35,4	35,4	46,8	53,0	53,0	64,5	70,3	70,3	70,3	82,9	87,6	100,2	105,3	105,3																					
Capacidad dieléctrica del envolvente	kV 1,2 /50	95					110					125					170					200					170					200									
Flexión dinámica (SSL) / Specified short-term load		125										250										125										250									
	N.m	100										200										100										200									
Línea de fuga	mm	480					650					800					1200					1360					1200					1360									
Altura	mm	165					205					245					325					365					325					365									
Diámetro	mm	104							109							114																									
Peso (opción S3D2)	kg	1,4	1,5			1,7			1,9	2,1			2,5			2,9	3,1			3,3			3,5																		



Tipo		3AP1					3AP2/3		3AP4/5	
Tensión nominal	kV	72,5	123	145	170	245	300	420	550	800
Cantidad de cámaras de extinción por polo		1					2		4	
Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1 min	kV	140	230	275	325	460	460	610	800	830
Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50 µs)	kV	325	550	650	750	1050	1050	1425	1550	2100
Tensión de prueba de impulso de maniobra	kV	-					850	1050	1175	1425
Corriente nominal, hasta	A	2500	4000	4000	4000	4000	4000	5000	5000	5000
Corriente nominal de corta duración, hasta	kA _(ms)	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63
Corriente nominal de cortocircuito, hasta	kA	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63
Rango de temperatura	°C	-55 a +55								
Ciclo nominal de operación		0-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO								
Tiempo de ruptura		3 ciclos					2 ciclos			
Frecuencia	Hz	50 o 60								

CENTROS COMPACTOS TIPO KIOSCO

miniblok

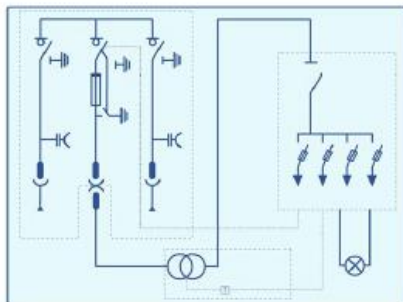
Centro de transformación prefabricado compacto de superficie y maniobra exterior



Características generales

Diseño general	Envolvente monobloque de hormigón prefabricado con cubierta amovible
Aparatación eléctrica	Conjunto eléctrico compacto mb de Ormazabal de tipo agrupado (CEADS-G según IEC 62271-212), con bastidor autoportante. (aparamenta MT + transformador + cuadro BT)
Aparatación de Media Tensión	Esquema eléctrico (RMU) Ormazabal de hasta 24 kV*
Transformador	Transformador de distribución de MT/BT de llenado integral en dieléctrico líquido de hasta 24 kV y 630 kVA
Aparatación de Baja Tensión	Cuadro de baja tensión con embarrado aislado con unidad de control y protección
Conexiones	Interconexiones de MT y BT
Puesta a tierra	Circuito de puesta a tierra de aluminio
Conexiones auxiliares	Circuito de alumbrado y servicios auxiliares
Ventilación	Circulación natural de aire (clase 10K) tipo rejilla
Unidades de protección, control y medida	Telemando, telemedida, control integrado, telegestión, etc
Normativa	IEC 62271-202 Bajo demanda: Normas particulares de Compañía Eléctrica Reglamentaciones locales vigentes

* Esquema 2lp: dos posiciones de línea -l (de entrada y salida) y una posición de protección mediante interruptor combinado con fusibles -p.



Dimensiones exteriores y pesos

	Longitud [mm]	Anchura [mm]	Altura [mm]	Altura visible [mm]	Peso* [kg]
miniblok	2100	2100	2240	1600	8250
miniblok.smart	2100	2100	2570	2070	8060

* Incluye conjunto mb con transformador de 630 kVA y sin telemando. Para otras configuraciones y/o valores consultar con Ormazabal.

