RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

COMUNIDAD AFECTADA

Islas Baleares

TÉRMINO MUNICIPAL

Calvià

GONZALEZ JOUANNEAU DAVID - 50731686B

Firmado digitalmente por GONZALEZ JOUANNEAU DAVID - 50731686B
Fecha: 2022.12.07 13:48:36 +01'00'

Madrid, noviembre de 2022

Rfª.: TI.S/2022/J-0806-S1827

COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS INDUSTRIALES
COIIM - MADRID
Nº VISADO 202205415
FECHA DE VISADO 09/12/2022
VISADO
DOCUMENTO VISADO CON FIRMA ELECTRÓNICA
COLEGIADO/A Nº: NOMBRE
11729 COIIM DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 220 kV

ÍNDICE

		Nº PÁGINAS
DOCUMENTO 1	MEMORIA	26
ANEXO 1.1	CÁLCULOS PARQUE 132kV	47
ANEXO 1.2	CÁLCULOS PARQUE 220kV	48
DOCUMENTO 2	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	10
ANEXO 1	REQUISITOS AMBIENTALES. ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	15
ANEXO 2	ESTUDIO DE SEGURIDAD	17
DOCUMENTO 3	PLANOS	22
DOCUMENTO 4	PRESUPUESTO	03
DOCUMENTO 5.1	ESTUDIO CAMPOS MAGNÉTICOS 132kV	11
DOCUMENTO 5.2	ESTUDIO CAMPOS MAGNÉTICOS 220kV	11

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España SAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 1

MEMORIA

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES 4

1.1 ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y FINALIDAD DE LA INSTALACIÓN 4

1.2 OBJETO 4

1.3 RELACIÓN DE ADMINISTRACIONES, ORGANISMOS O EMPRESAS DE SERVICIO PÚBLICO O SERVICIOS DE INTERÉS GENERAL, EN LA PARTE QUE LA INSTALACIÓN PUEDA AFECTAR A BIENES Y DERECHOS A SU CARGO 5

1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 5

1.5 ESQUEMA DE LA ACTUACIÓN 9

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS EN LA SUBESTACIÓN DE SANTA PONSA 11

2.1 GENERALIDADES E HIPÓTESIS DE DISEÑO 11

2.1.1 Características básicas y emplazamiento 11

2.1.2 Hipótesis de diseño 11

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN 12

2.2.1 Descripción general de la instalación 12

2.2.2 Configuración y disposición general de la instalación 13

2.3 SISTEMA ELÉCTRICO 14

2.3.1 Magnitudes eléctricas 14

2.3.2 Distancias 15

2.3.3 Embarrados 16

2.3.4 Características de la aparamenta 17

2.4 RED DE TIERRAS 19

2.4.1 Red de tierras inferiores 19

2.4.2 Red de tierras superiores 19

2.5 ESTRUCTURAS METÁLICAS 19

2.6 SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN 20

2.6.1 Sistemas de control 20

2.6.2 Sistemas de protecciones 20

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.7 SERVICIOS AUXILIARES 21
2.8 SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES 22
2.9 OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN 22
2.9.1 Movimiento de tierras 22
2.9.2 Drenajes 23
2.9.3 Cimentaciones, viales y canales de cables 23
2.9.4 Accesos 23
2.9.5 Edificios y casetas 23
2.9.6 Cerramiento 23
2.10 INSTALACIONES DE ALUMBRADO Y FUERZA 23
2.10.1 Alumbrado 23
2.10.2 Fuerza 24
2.11 SISTEMA CONTRAINCENDIOS Y ANTIINTRUSISMO 24
CAPÍTULO 3. NORMATIVA APLICADA 25
CAPÍTULO 4. PLAZO DE EJECUCIÓN Y FECHA PREVISTA DE PUESTA EN SERVICIO 26

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y FINALIDAD DE LA INSTALACIÓN

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. (en adelante RED ELÉCTRICA), de conformidad con lo establecido en los artículos 6 y 34 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre del Sector Eléctrico, como gestor de la red de transporte y transportista único con carácter de exclusividad, tiene atribuida la función de transportar energía eléctrica, así como construir, mantener y maniobrar las instalaciones de transporte.

En atención a la Resolución número 2584 del Director General de Energía en la que se fijan los criterios que determinan la red de transporte eléctrico en la Comunidad Autónoma de Islas Baleares de fecha de 4 de febrero de 2005 (BOIB número 31, de fecha 22-05-2005), tendrán consideración de red de transporte las líneas y subestaciones de tensión 66 kV o superior, las interconexiones entre islas y con el sistema peninsular independientemente de su tensión, los transformadores de tensión secundaria igual o superior a 66 kV y los elementos de control de potencia activa o reactiva de tensión igual o superior a 66 kV, así como los activos y sistemas de comunicaciones, protecciones, control y servicios auxiliares, terrenos y edificaciones necesarios para el funcionamiento adecuado de las instalaciones de transporte.

En el ejercicio de las citadas funciones y en orden al efectivo cumplimiento de las finalidades relativas al transporte de energía eléctrica, RED ELÉCTRICA ha proyectado la ampliación de la subestación SANTA PONSA en los parques de 132kV y 220 kV, con objeto de instalar un transformador 220/132 kV, dos reactancias de 30 MVAR cada una y un compensador síncrono (recogido en otro proyecto) y las correspondientes posiciones asociadas. La instalación se ubica en el término municipal de Calvià, dentro de la Comunidad Autónoma de Islas Baleares.

Así mismo, debe tenerse en cuenta que esta ampliación está incluida en el Plan Director Sectorial Energético de las Islas Baleares, aprobado mediante el Decreto 96/2005, de 23 de septiembre, y modificado en diciembre de 2014 por el Decreto Ley 3/2014, de 5 de diciembre, de medidas urgentes destinadas a potenciar la calidad, la competitividad y la desestacionalización turística en las Illes Balears, que en su artículo 19, modificó la disposición adicional del citado Decreto 96/2005, en el sentido de que las obras e instalaciones previstas en la planificación estatal obligatoria de las redes de transporte de electricidad y de gas, así como las modificaciones a las subestaciones de distribución de energía eléctrica existentes o planificadas, desarrolladas de acuerdo con las leyes del sector eléctrico y de hidrocarburos, quedan automáticamente incluidas en las determinaciones del Plan director sectorial energético de las Illes Balears que se aprueba mediante este Decreto con carácter general y, especialmente, en cuanto a los efectos de declaración de utilidad pública energética.

1.2 OBJETO

De conformidad con lo establecido en la referida Ley 24/2013, del Sector Eléctrico, y en el Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica, constituye el objeto de este proyecto de ejecución, a efectos administrativos, la aportación de los datos precisos para la obtención de la correspondiente resolución relativas a:

- Autorización administrativa previa
- Autorización administrativa de construcción

Estas instalaciones se encuentran incluidas en la red de transporte secundaria en virtud de los artículos 6 y 34 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, por lo que compete a la Dirección General de Energía y Cambio Climático del Gobierno de las Islas Baleares resolver sobre la autorización administrativa, la declaración, en concreto, de utilidad pública, la aprobación del Proyecto Técnico Administrativo y la autorización de construcción.

TITULAR DE LA INSTALACIÓN

El domicilio social del titular es:

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U.

Paseo Conde de los Gaitanes, 177

28109-Alcobendas-Madrid

Y a efectos de notificación en:

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U.

Cami Son Fangos, 100\n

07007-Palma-Islas Baleares

1.3 RELACIÓN DE ADMINISTRACIONES, ORGANISMOS O EMPRESAS DE SERVICIO PÚBLICO O SERVICIOS DE INTERÉS GENERAL, EN LA PARTE QUE LA INSTALACIÓN PUEDA AFECTAR A BIENES Y DERECHOS A SU CARGO

- Ayuntamiento de Calvià
- Dirección de Política energética y Minas del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio a los efectos de lo preceptuado en el artículo 114 del RD 1955/2000.

1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Parque de 220 kV

- Nuevas posiciones de interruptor a instalar:

Número de posiciones equipadas	3

- Características:

Tecnología	GIS
Instalación	Blindada interior
Configuración	Interruptor y medio
Intensidad de cortocircuito de corta duración	50 kA

- Transformadores:

Número	1
Número de devanados	3
Relación de transformación	220/132/24 kV

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Potencia	160 MVA
Configuración	Trifásico

- Cables enterrados:

Número de circuitos	1
Longitudes	73 m.
Conductor	RHE-RA+2OL(AS) 127/220 kV 1x1200KAL+T375AL
Aislamiento	Polietileno reticulado
Tipo de cable	Cable aislado
Número de cables por circuito	1
Capacidad de transporte	212,7 MVA a 3 m. de profundidad.
Instalación	Zanja Tresbolillo No Normalizada.
Conexión de pantallas	Ambos lados

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Parque de 132 kV

- Nuevas posiciones de interruptor a instalar:

Número de posiciones equipadas	2 GIS + 2 AIS

- Características:

Tecnología	GIS
Instalación	Blindada interior
Configuración	Interruptor y medio
Intensidad de cortocircuito de corta duración	40 kA

Tecnología	AIS
Instalación	Convencional Exterior
Configuración	Interruptor y medio (conexión de las REA's en simple barra)
Intensidad de cortocircuito de corta duración	31,5 kA

- Reactancias:

Número	2
Tensión nominal	132 kV
Potencia	30 MVAr
Conexión	Estrella
Configuración	Trifásica

- Cables enterrados:

Número de circuitos	3
Longitudes	40 m. Rea 1 45 m. Rea 2 99 m. Transformador lado baja.

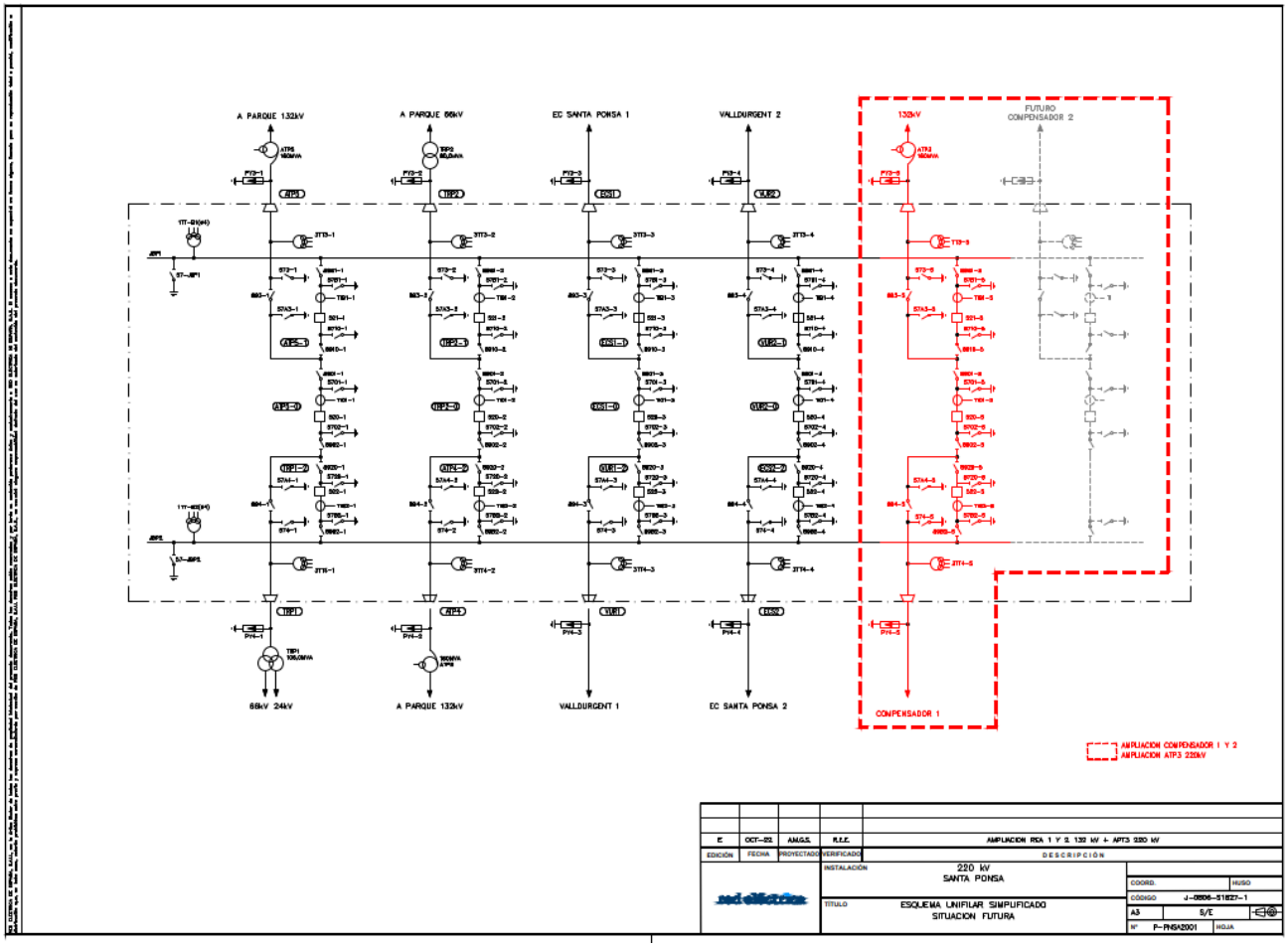
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Conductor	RHE-RA+2OL 76/132 kV 1x1200Mal+H135
Aislamiento	Polietileno Reticulado
Tipo de cable	Cable aislado
Número de cables por circuito	1
Capacidad de transporte	125,7 MVA Rea 1 a 3m. de profundidad 125,7 MVA Rea 2 a 3m. de profundidad. 209,5 MVA Transformador lado baja a 3m. de profundidad
Instalación	Zanja Tresbolillo No Normalizada.
Conexión de pantallas	Pat en ambos extremos en Rea 1 y Rea 2 Pat en un solo punto en el Transformador lado baja

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

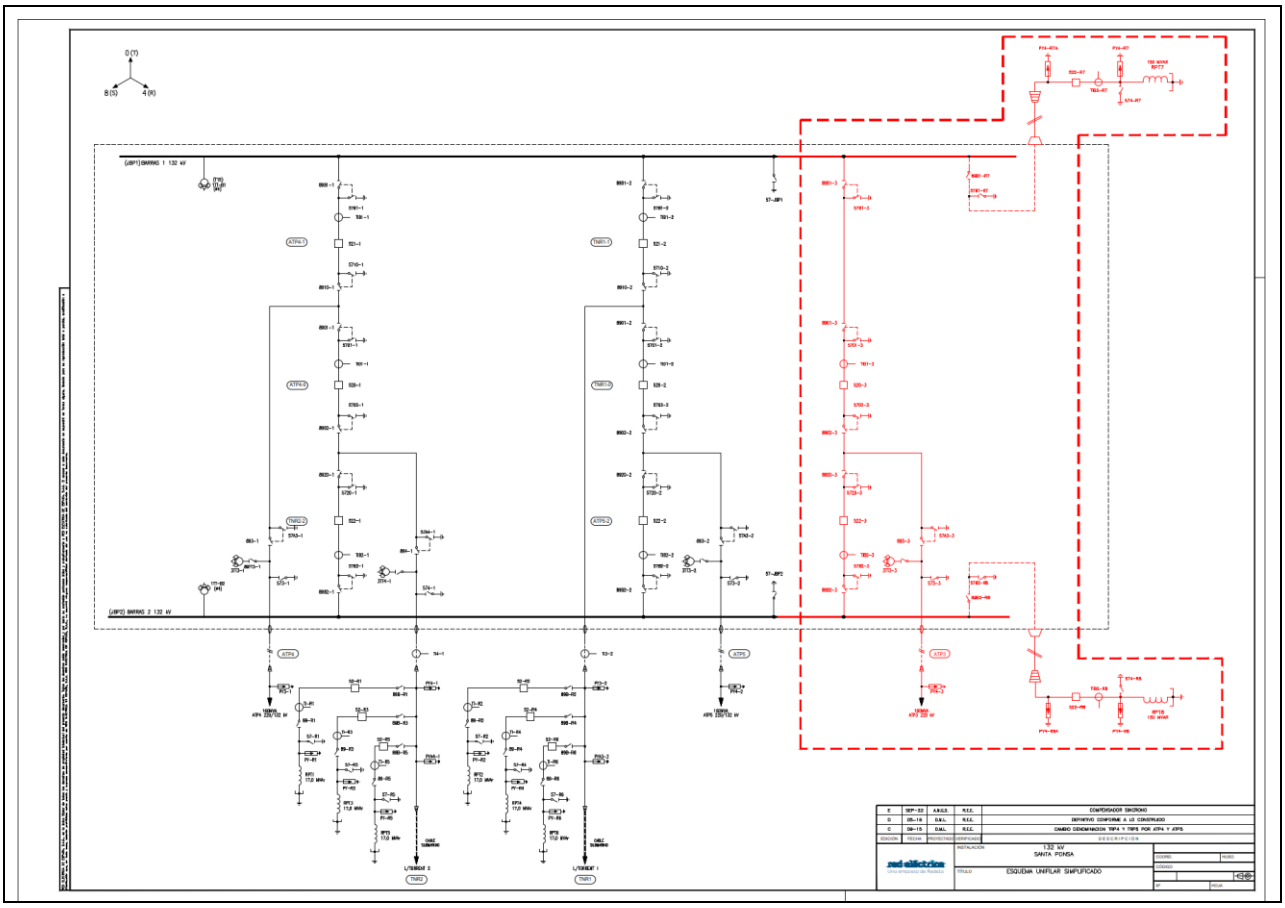
1.5 ESQUEMA DE LA ACTUACIÓN

La actuación consiste en la ampliación de la subestación SANTA PONSA 220 kV y SANTA PONSA 132 kV tipo GIS con configuración de Interruptor y medio. El esquema unifilar de los parques de 220 kV y 132 kV donde se recogen las actuaciones a realizar se muestra a continuación.



Subestación eléctrica SANTA PONSA, parque 220 kV

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU



Subestación eléctrica SANTA PONSA, parque 132 kV

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS EN LA SUBESTACIÓN DE SANTA PONSA

2.1 GENERALIDADES E HIPÓTESIS DE DISEÑO

2.1.1 Características básicas y emplazamiento

La subestación de SANTA PONSA está situada en el término municipal de Calvià, provincia de Islas Baleares, Comunidad Autónoma de las Islas Baleares.

La ubicación queda reflejada en el plano de situación geográfica Documento nº3 Planos del presente proyecto.

Atendiendo las características ambientales del emplazamiento seleccionado esta instalación se realiza con tecnología GIS.

De acuerdo con los criterios establecidos en el *Procedimiento de Operación 13.3 Instalaciones de la Red de Transporte: Criterios de diseño, requisitos mínimos y comprobación de equipamiento y puesta en servicio* aprobado en resolución de 11 de Febrero de 2005, de la Secretaría General de la Energía, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, se ha proyectado que los parques de 132 y 220 kV de la subestación SANTA PONSA se amplíen con configuración de Interruptor y medio.

2.1.2 Hipótesis de diseño

- Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales del emplazamiento son las siguientes:

- Altura media sobre el nivel del mar .....57 m
- Temperaturas extremas .....+ 40º C/-20º C
- Contaminación ambiental .....Bajo
- Nivel de niebla .....Medio

Para el cálculo de la sobrecarga del viento, se ha considerado viento horizontal con velocidad de 140 km/h.

Los embarrados y tendidos altos se han diseñado considerando la Zona A según “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008” y para el resto de la instalación con las sobrecargas consideradas en el Documento Básico de Seguridad Estructural SE-AE “Seguridad Estática. Acciones en la Edificación” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Respecto a las acciones sísmicas, la norma NCSR-02 contempla la necesidad de su aplicación en construcciones de especial importancia, como ésta, cuando la aceleración sísmica básica sea superior o igual a 0,04 g, siendo en Calvià de 0,04g por lo que sí se tendrán en cuenta estas acciones sísmicas.

- Datos de cortocircuito

Parque de 220 kV

El proyecto considera una intensidad de cortocircuito de corta duración de 50 kA.

Las intensidades de cortocircuito previstas en el horizonte 2020 para el parque de 220 kV son las siguientes:

- Monofásica .....12,95 kA
- Trifásica.....11,4 kA

Estos valores son menores que los de la intensidad de cortocircuito de corta duración de diseño.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Parque de 132 kV

El proyecto considera una intensidad de cortocircuito de corta duración de 31,5 kA (en las GIS se consideran 40kA por estándar actual de los fabricantes de GIS).

Las intensidades de cortocircuito previstas en el horizonte 2020 para el parque de 220 kV son las siguientes:

- Monofásica ..... 10,37 kA
- Trifásica ..... 9,37 kA

Estos valores son menores que los de la intensidad de cortocircuito de corta duración de diseño.

- Datos del terreno a efectos de la red de tierras

A efectos de cálculo se considera una resistividad del terreno de 200 ohm*m.

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

2.2.1 Descripción general de la instalación

Parque de 220 kV

El parque de 220 kV en la subestación de SANTA PONSA responde a las siguientes características principales:

- Tensión nominal ..... 220 kV
- Tensión más elevada para el material (Um) ..... 245 kV
- Tecnología ..... GIS
- Instalación ..... Blindada interior
- Configuración ..... Interruptor y medio
- Intensidad de cortocircuito de corta duración ..... 50 kA

Parque de 132 kV

El parque de 132 kV en la subestación de SANTA PONSA responde a las siguientes características principales:

- Tensión nominal ..... 132 kV
- Tensión más elevada para el material (Um) ..... 145 kV
- Tecnología ..... GIS
- Instalación ..... Blindada interior
- Configuración ..... Interruptor y medio
- Intensidad de cortocircuito de corta duración ..... 31,5 kA

Las REA's del parque de 132 kV se conectarán con un interruptor convencional exterior si bien las barras y los seccionadores de barras serán de la GIS 132kV de las características mencionadas en el párrafo anterior.

2.2.2 Configuración y disposición general de la instalación

Parque de 220 kV

Calle	Existente		Con la ampliación		
	Posición	Nº de interruptores	Posición	Nº de interruptores	Nº de interruptores nuevos
1	Transformador transporte ATP5	1	ATP5-1	1	0
1	Transformador transporte ATP5 (Central)	1	ATP5-0	1	0
1	Transformador transporte ATP5	1	TRP1-2	1	0
2	Transformador transporte TRP2	1	TRP2-1	1	0
2	Transformador transporte TRP2 (Central)	1	TRP2-0	1	0
2	Transformador transporte ATP4	1	ATP4-2	1	0
3	ECS1	1	ECS1-1	1	0
3	ECS1 (Central)	1	ECS1-0	1	0
3	VUR1	1	VUR1-2	1	0
4	VUR2	1	VUR2-1	1	0
4	VUR2 (Central)	1	VUR2-0	1	0
4	ECS2	1	ECS2-2	1	0
5	Transformador transporte ATP3	**0**	ATP3-1	**1**	**1**
5	Transformador transporte ATP3 (Central)	**0**	ATP3-0	**1**	**1**
5	Compensador Síncrono 1	**0**	CSS1-2	**1**	**1**
6	Compensador Síncrono 2 (Futuro)	**0**	Reserva	**0**	**0**
6	Compensador Síncrono 2 Central (Futuro)	**0**	Reserva	**0**	**0**

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Parque de 132 kV

Calle	Existente		Con la ampliación		
	Posición	Nº de interruptores	Posición	Nº de interruptores	Nº de interruptores nuevos
1	Transformador transporte ATP4	1	ATP4-1	1	0
1	Transformador transporte ATP4 (Central)	1	ATP4-0	1	0
1	TRN2	1	TRN2-2	1	0
2	TRN1	1	TRN1-1	1	0
2	TRN1 (Central)	1	TRN1-0	1	0
2	ATP5	1	ATP5-2	1	0
3	Reserva	0	Reserva	0	0
3	Transformador transporte ATP4 (Central)	**0**	ATP5-0	**1**	**1**
3	Transformador transporte ATP4	**0**	ATP5-2	**1**	**1**
4	RPT7	0	RPT7	1	1 (AIS)
4	RPT8	0	RPT8	1	1 (AIS)

2.3 SISTEMA ELÉCTRICO

2.3.1 Magnitudes eléctricas

- Parque de 220 kV

Las magnitudes eléctricas básicas de diseño adoptadas para el parque de 220 kV:

- Tensión nominal ..... 220 kV
- Tensión más elevada para el material (Ve) ..... 245 kV
- Neutro ..... Rígido a tierra
- Intensidad de cortocircuito trifásico (valor eficaz) ..... 50 kA
- Tiempo de extinción de la falta ..... 0,5 seg
- Nivel de aislamiento:
  - Tensión soportada a frecuencia industrial ..... 460 kV
  - Tensión soportada a impulso tipo rayo ..... 1.050 kV
- Línea de fuga mínima para aisladores ..... 7595 mm (31 mm/kV)

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Parque de 132 kV

Las magnitudes eléctricas básicas de diseño adoptadas para el parque de 132 kV:

- Tensión nominal .....132 kV
- Tensión más elevada para el material (Ve) .....145 kV
- Neutro.....Rígido a tierra
- Intensidad de cortocircuito trifásico (valor eficaz).....40 kA
- Tiempo de extinción de la falta .....0,5 seg
- Nivel de aislamiento:
  - Tensión soportada a frecuencia industrial.....275 kV
  - Tensión soportada a impulso tipo rayo .....650 kV
- Línea de fuga mínima para aisladores .....4495 mm (31,5 mm/kV)

2.3.2 Distancias

Las distancias mínimas adoptadas para el parque de 220 kV son las indicadas a continuación, según las magnitudes eléctricas indicadas y la normativa aplicable.

- Para conductores rígidos (embarrados de interconexión):

Distancias fase-tierra:

- Conductor-estructura.....2.100 mm

Distancias fase-fase:

- Conductores paralelos.....2.100 mm

Las distancias adoptadas son válidas, dado que la altura de la instalación sobre el nivel del mar es inferior a 1.000 m.

- Para conductores tendidos:

Este tipo de conductores se verán sometidos bajo ciertas condiciones de defecto a movimientos de gran amplitud, los cuales, y durante algunos instantes, aproximan entre sí a los conductores de fase hasta unas distancias inferiores a las normalizadas.

Por consiguiente, es posible considerar unas distancias mínimas temporales de aislamiento inferiores a las normalizadas ya que debe tenerse en cuenta que:

Los tipos de sobretensiones a considerar son reducidos y sólo deben considerarse aquellas que pudieran ser simultáneas al propio defecto de cortocircuito y con más precisión al momento en el que los conductores se aproximan.

No es por lo tanto, necesario considerar sobretensiones de tipo rayo, ya que es altamente improbable que coincidan con un cortocircuito entre fases.

Por otro lado, la longitud de vano que experimenta la reducción de la distancia de aislamiento es pequeña, y su duración es muy reducida, de forma que la posibilidad de fallo se hace mínima. En este sentido, hay que tener en cuenta que, en el caso de conductores rígidos se elimina la posibilidad de una falta producida por el movimiento de los conductores tras una falta en las salidas de línea.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Basándose en lo anterior, se adoptan las siguientes distancias de aislamiento temporal en conexiones tendidas:

- Conductor-estructura..... 1.100 mm
- Conductor-conductor..... 1.100 mm

Para la determinación de este tipo de distancias, se han tenido en cuenta los siguientes criterios básicos de implantación:

- Las distancias serán tales que permitirán el paso del personal y herramientas por todos los puntos del parque de Blindada interior bajo los elementos en tensión sin riesgo alguno.
- Deberán permitir el paso de vehículos de transporte y de elevación necesarios para el mantenimiento o manipulación de elementos de calles en descargo, bajo el criterio de gálibos estipulados.

No se han tenido en cuenta, por lógica, las exigencias que se deriven de la realización de trabajos de conservación bajo tensión. En estos casos será necesario aumentar las distancias entre fases con respecto a la disposición física preestablecida, con lo que el resto de los condicionantes se cumplirá con un margen mayor.

Al considerar todo lo anterior, y de acuerdo con lo que se indica, se establecerán las siguientes distancias en el parque de 220 kV:

- Entre ejes de aparellaje..... 4.000 mm
- Entre ejes de conductores tendidos..... 4.000 mm
- Anchura de calle..... 13.500 mm
- Altura de embarrados de interconexión entre aparatos.... 6.000 mm
- Altura de embarrados principales altos..... 10.500 mm
- Altura de tendidos altos..... 14.950 mm

Como se puede observar, las distancias mínimas son muy superiores a la preceptuada en la normativa.

Con respecto a la altura de las partes en tensión sobre viales y zonas de servicio accesibles al personal, la normativa, prescribe una altura mínima de 2.300 mm a zócalo de aparatos, lo que se garantizará con las estructuras soporte del aparellaje.

2.3.3 Embarrados

Los conductores del parque de 220 kV estarán dispuestos en tres niveles:

- Embarrados bajos, conexiones entre aparatos a 6 m de altura. Se realizarán con tubo de aluminio.
- Embarrados altos, barras principales de tubo de aluminio a 10,5 m de altura en configuración apoyada sobre aisladores soporte.
- Tendidos altos de cable dúplex de aluminio-acero a 14,95 m de altura.

- Embarrados en tubo

Las características de los tubos destinados a los embarrados principales de 220 kV serán las siguientes:

- Aleación..... AlMgSiO, 5 F22
- Diámetros exterior/interior..... 150/134 mm
- Sección total del conductor..... 3.569 mm²
- Intensidad admisible permanente a 85º C..... 4.408 A

Las características de los tubos destinados a la interconexión del aparellaje serán las siguientes:

- Aleación .....AlMgSiO, 5 F22
- Diámetros exterior/interior .....100/88 mm
- Sección total del conductor .....1.772 mm²
- Intensidad admisible permanente a 85º .....2.040 A

Los tubos no podrán ser soldados en ningún punto o tramo, por lo que se ha previsto que su suministro se realice en tiradas continuas y en tramos conformados, cortados y curvados en fábrica, debiéndose proceder a pie de obra tan sólo a su limpieza y montaje posterior.

En todos los tramos superiores a 6 m se ha previsto la instalación en el interior de la tubería de cables de amortiguación. Estos serán del mismo tipo y características indicados para los embarrados en cable en formación simple.

- Disposición y tipo de embarrado

Se adaptará al nivel en que los conductores están dispuestos en el parque de 220 kV:

- Tendidos altos de cable dúplex de aluminio-acero a 14,95 m de altura.

- Embarrados con cable

Los tendidos altos estarán formados por cables de aluminio con alma de acero tendrá con la siguiente configuración y características:

- Formación.....Dúplex
- Tipo .....Rail
- Sección total del conductor .....516,82 mm²
- Diámetro exterior .....29,61 mm
- Intensidad admisible permanente a 35º C de temperatura ambiente y 85º C en conductor 2.064 A

El amarre de las conexiones tendidas a los pórticos se realizará mediante doble cadena de aisladores de vidrio y contemplada con la piecería adecuada.

La unión entre conductores y entre éstos y el aparellaje se realizará mediante piezas de conexión provistas de tornillos de diseño embutido, y fabricadas según la técnica de la masa anódica.

2.3.4 Características de la aparamenta

Parque de 220 kV

Se relaciona a continuación el aparellaje de la instalación, con el nivel de aislamiento definido anteriormente (GIS) en el parque de 220 kV.

Equipos con aislamiento en Sf6

- Interruptores automático:
  - Tensión más elevada .....245 kV
  - Intensidad límite térmica.....50 kA
  - Frecuencia nominal .....50 Hz
  - Tecnología cámara de corte SF6
- Transformadores de intensidad:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Tensión más elevada ..... 245 kV
- Intensidad límite térmica ..... 50 kA.

Las relaciones de transformación, potencias y clases de precisión se adaptarán a lo preceptuado en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (Real Decreto 1110/2007) y al sistema de protección y medida.

- Transformadores de tensión
  - Tensión más elevada ..... 245 kV
  - Factor de tensión nominal en servicio continúo 1,2

Las relaciones de transformación, potencias y clases de precisión se adaptarán a lo preceptuado en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (Real Decreto 1110/2007) y al sistema de protección y medida.

- Seccionadores:

Tripolar, con cuchilla de puesta a tierra, de mando motorizado, y de las siguientes características:

- Tensión más elevada ..... 245 kV
- Intensidad límite térmica ..... 50 kA.

- Pararrayos:

Se dispondrán autoválvulas con las siguientes características:

- Tensión nominal ..... 198 kV
- Tensión operación continua ..... >152 kV
- Intensidad nominal de descarga ..... 10 kA

Parque de 132 kV

Se relaciona a continuación el aparellaje de la instalación, con el nivel de aislamiento definido anteriormente (GIS) en el parque de 132 kV.

Equipos con aislamiento en Sf6

- Interruptores automático:
  - Tensión más elevada ..... 145 kV
  - Intensidad límite térmica ..... 40 kA
  - Frecuencia nominal ..... 50 Hz
  - Tecnología cámara de corte SF6
- Transformadores de intensidad:
  - Tensión más elevada ..... 145 kV
  - Intensidad límite térmica ..... 31,5 kA.

Las relaciones de transformación, potencias y clases de precisión se adaptarán a lo preceptuado en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (Real Decreto 1110/2007) y al sistema de protección y medida.

- Transformadores de tensión
  - Tensión más elevada ..... 145 kV

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Factor de tensión nominal en servicio continúo 1,2

Las relaciones de transformación, potencias y clases de precisión se adaptarán a lo preceptuado en el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico (Real Decreto 1110/2007) y al sistema de protección y medida.

- Seccionadores:

Tripolar, con cuchilla de puesta a tierra, de mando motorizado, y de las siguientes características:

- Tensión más elevada .....145 kV
- Intensidad límite térmica.....31,5 kA.

2.4 RED DE TIERRAS

2.4.1 Red de tierras inferiores

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

Se conectarán a la red de tierras de la subestación todas las partes metálicas no sometidas a tensión normalmente, pero que pudieran estarlo como consecuencia de averías, sobretensiones por descargas atmosféricas o tensiones inductivas, como la estructura metálica, las bases del aparellaje y los neutros de transformadores de medida, etc.

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

Para la comprobación de las condiciones de seguridad de la red de tierras se consideran las intensidades de cortocircuito previstas en el horizonte 2020 (ver el apartado 2.1.2). En el desarrollo final de la instalación, la malla de tierra se dimensiona para soportar las intensidades de cortocircuito de corta duración de diseño.

En el Anexo de Cálculos se han reflejado los datos y cálculos de la malla a instalar. Este sistema de puesta a tierra aparece reflejado en el Documento nº3 Planos del presente Proyecto.

2.4.2 Red de tierras superiores

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

2.5 ESTRUCTURAS METÁLICAS

Las estructuras metálicas y soportes del aparellaje complementario de la nueva posición se han diseñado con perfiles de acero. Todas las estructuras y soportes serán galvanizados en caliente como protección contra la corrosión.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Para el anclaje de estas estructuras, se dispondrán cimentaciones adecuadas a los esfuerzos que han de soportar, construidas a base de hormigón y en las que quedarán embebidos los pernos de anclaje correspondientes.

2.6 SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN

2.6.1 Sistemas de control

El sistema de control de la instalación está formado por una unidad central, puesto de operación duplicado y unidades locales distribuidas. La unidad central es la encargada de comunicarse con el despacho eléctrico.

2.6.2 Sistemas de protecciones

Conforme a lo requerido en los "Criterios generales de protección del Sistema Eléctrico Peninsular" se ha previsto la instalación de los siguientes sistemas de protección:

- Embarrados:

Se ha previsto la instalación de relés equipado con dos sistemas de protección independientes con las siguientes funciones:

  - 87B-1: protección primaria para ambas barras (B1 y B2). Se definen dos zonas de protección independientes, una por barra.
  - 87B-2: protección secundaria para ambas barras (B1 y B2). Se definen dos zonas de protección independientes, una por barra.

- Sistema de protección de interruptor:

Se ha previsto un relé de protección equipado con las siguientes funciones:

  - Discordancia de polos (2).
  - Comprobación de sincronismo y acoplamiento de redes (25-25AR).
  - Protección por mínima tensión (27).
  - Oscilografía.
  - Fallo de interruptor (50S-62).
  - Vigilancia de los circuitos de disparo (3).

- Posiciones de línea:

En cada posición se ha previsto un bastidor de relés equipado con dos sistemas de protección independientes con las siguientes funciones:

  - Protección de principio diferencial (87).
  - Sobreintensidad direccional de neutro (67N), para la detección de faltas altamente resistivas.
  - Reenganche (79).
  - Localizador de faltas y oscilografía.
  - Protección de distancia (21) como respaldo.
  - Protección contra sobretensiones (59).

- Posición de reactancia:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Se ha previsto un bastidor de relés equipado con dos sistemas de protección independientes con las siguientes funciones:

- Protección de principio diferencial (87).
- Sobreintensidad temporizada, de fase y de neutro (51-51N), que protegen la característica térmica admisible frente a sobreintensidades.
- Oscilografía.

Por otro lado, las reactancias incluyen sus propias protecciones contra cortocircuitos y defectos internos: relés Buchholz, válvulas de sobrepresión, imágenes térmicas, temperatura del aceite e indicador del nivel de aceite.

- Posición de transformador:

Se ha previsto un bastidor de relés equipado con dos sistemas de protección independientes con las siguientes funciones:

- Protección de principio diferencial (87).
- Sobreintensidad temporizada, de fase y de neutro (51-51N), que protegen la característica térmica admisible frente a sobreintensidades.
- Oscilografía.

Por otro lado, las reactancias incluyen sus propias protecciones contra cortocircuitos y defectos internos: relés Buchholz, válvulas de sobrepresión, imágenes térmicas, temperatura del aceite e indicador del nivel de aceite.

2.7 SERVICIOS AUXILIARES

Los servicios auxiliares de la subestación se dividen en Servicios Auxiliares de Corriente Alterna (ca) y Servicios Auxiliares de Corriente Continua (cc). Las tensiones nominales serán 400/230 V, 50 Hz de c.a. y 125 V y 48 V de c.c.

Servicios Auxiliares de Corriente Alterna.

Se contemplan las siguientes posibles fuentes de alimentación de c.a. a la ampliación de la subestación:

- Alimentación desde el terciario del transformador de potencia (si lo/s hay, indicando los niveles de tensión).
- Alimentación desde un trafo de tensión desde la red de transporte.
- Alimentación desde una línea de M.T. y/o centro de transformación MT/BT.
- Grupo electrógeno.
- Apoyo monofásico 220/127 (ADIF, si es una SE para ADIF).

Las fuentes de alimentación que se equipen, alimentarán un Cuadro Principal de Corriente Alterna que dispone de dos barras unidas por un interruptor de acoplamiento. La conmutación de las fuentes de alimentación principales es automática y se realiza en el Cuadro Principal de Corriente Alterna mediante un autómata programable.

Las condiciones de explotación de la instalación dependerán del tipo de fuente de alimentación que se tenga.

Servicios Auxiliares de Corriente Continua.

Desde el Cuadro Principal de Corriente Alterna se alimenta a los equipos rectificador-batería que constituyen las fuentes autónomas que dan seguridad funcional a la Subestación Eléctrica. Cada equipo rectificador-batería podrá alimentarse de manera conmutada desde ambas barras del Cuadro Principal de Corriente Alterna.

El Cuadro Principal de Corriente Continua de 125 Vcc, está formado por dos juegos de barras con acoplamiento. Cada uno de uno de estos juegos está alimentado, en condiciones normales, desde su correspondiente equipo rectificador-batería de 125 Vcc. Este cuadro da, entre otros, servicio a las alimentaciones necesarias de control y de maniobra.

El Cuadro Principal de Corriente Continua de 48 Vcc, estará formado por dos juegos de barras cada uno de ellos alimentado desde el correspondiente equipo rectificador-batería de 48Vcc. El diseño de este cuadro garantiza la alimentación permanente y la conmutación de las fuentes sin paso por cero, para aquellas salidas en las que esta condición es esencial.

2.8 SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES

Se ha previsto complementar la red de telecomunicaciones existente con los equipos precisos que permitan asegurar el correcto funcionamiento del telecontrol y del telemando, de los sistemas de protección y de las necesidades de telegestión remota de los equipos de la instalación.

Telecomunicaciones para funciones de protección

Para la comunicación que requiere las funciones de protecciones de línea se han previsto enlaces digitales y/o analógicos, facilitados por la red de equipos de transmisión SDH y PDH, que a su vez están soportados por la red de fibra óptica.

Las protecciones de distancia, interruptor y otras que requieran de la funcionalidad de teledisparo serán conectadas a teleprotecciones, equipadas con suficientes órdenes para satisfacer el servicio requerido.

Red de fibra óptica en la subestación

Se ha previsto una red de fibra óptica, en configuración de doble estrella con cables de fibra multimodo, desde el armario de fibra multimodo, hasta las dependencias, interiores o exteriores del edificio, que requieren servicios de comunicación de protecciones, servicios de telecontrol, telegestión y sincronización horaria, dando con ello servicio a las nuevas posiciones.

Telegestión de protecciones, sistemas de telecontrol y equipos de comunicaciones.

Todos los equipos de protecciones, telecontrol y comunicaciones asociados a la posición de este proyecto, van a ser telegestionados, por medio de su conexión a la red de servicios IP de la red de transporte de RED ELÉCTRICA. Esta red se distribuye por la subestación soportada por la red de fibra multimodo.

Red de Telefonía

La red de telefonía corporativa de RED ELÉCTRICA se ha previsto que sea extendida y desplegada en esta subestación por medio del uso de equipos y terminales preparados para el establecimiento de comunicaciones de voz. Esta soportada por el resto de redes desplegadas en la subestación y permite el acceso a las funcionalidades de comunicación vocal normalizadas en RED ELÉCTRICA.

2.9 OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN

2.9.1 Movimiento de tierras

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.9.2 Drenajes

En la plataforma se han previsto los tubos drenantes necesarios para evacuar las aguas en un tiempo razonable, de forma que no se produzca acumulación de agua en la instalación y se consiga la máxima difusión posible de las aguas de lluvia realizada la ampliación de la subestación.

La recogida de las aguas residuales se ha previsto con depósito estanco de poliéster reforzado con fibra de vidrio capaz de retener por un periodo determinado de tiempo las aguas servidas domésticas y equipado con tapa de aspiración y vaciado.

Los trabajos a acometer requieren la conexión a la red de pluviales existentes.

2.9.3 Cimentaciones, viales y canales de cables

Se han previsto las cimentaciones, canales de cables y viales necesarios conforme al plano incluido en el Documento nº3 Planos del presente proyecto.

Las nuevas cimentaciones a realizar serán las correspondientes al nuevo aparellaje a instalar.

Se ampliará la red de canales. Los canales de cables serán prefabricados, del tipo: A en acceso al aparellaje y B en principales de posición.

2.9.4 Accesos

Se mantiene el acceso existente a la instalación.

2.9.5 Edificios y casetas

- Edificio de mando y control

No será necesaria la construcción de nuevos edificios de mando y control. Se utilizarán los existentes en la subestación.

- Casetas de relés

No será necesaria la construcción de nuevas casetas de relés.

2.9.6 Cerramiento

Se mantendrá el cerramiento existente que dispone la subestación.

2.10 INSTALACIONES DE ALUMBRADO Y FUERZA

2.10.1 Alumbrado

Calles y posiciones

De acuerdo con la normalización, el alumbrado normal de calles se realizará con proyectores orientables, montados a menos de 3 m de altura. Serán de haz semi-extensivo, para que con el apuntamiento adecuado se pueden obtener 50 lux en cualquier zona del parque de intemperie.

Viales

Alumbrado con luminarias montadas sobre báculos de 3 m de altura, para un nivel de iluminación de 5 lux.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Se dispondrá, asimismo, de alumbrado de emergencia constituido por grupos autónomos colocados en las columnas de alumbrado, en el caso de viales perimetrales y sobre la misma estructura que el alumbrado normal o tomas de corriente en el parque de intemperie. El sistema de emergencia será telemandado desde el edificio de control y los equipos tendrán una autonomía de una hora.

Se dispondrá de fotocélula para el encendido del alumbrado exterior.

Edificio y casetas

Los niveles de iluminación en las distintas áreas serán de 500 lux en salas de control y de comunicaciones, y de 300 lux en sala de servicios auxiliares, taller y casetas de relés.

Los alumbrados de emergencia del edificio y casetas, estarán situados en las zonas de tránsito y en las salidas. Su encendido será automático en caso de fallo del alumbrado normal, si así estuviese seleccionado, con autonomía de una 1 hora.

2.10.2 Fuerza

Se instalarán tomas de fuerza combinados de 3P+T (32 A) y 2P+T (16 A) en cuadros de intemperie anclados a pilares próximos a los viales, de forma que cubran el parque considerando cada conjunto con un radio de cobertura de 25 m.

2.11 SISTEMA CONTRAINCENDIOS Y ANTIINTRUSISMO

Sistema Contraincendios

Se dispondrá de detectores de incendios en todos los edificios y casetas de la Subestación. Serán del tipo analógicos ópticos, excepto en el almacén y campana exterior que serán termo-velocimétricos.

También se dispondrán de los correspondientes extintores en el edificio tanto de CO2 como de polvo, así como carros extintores de 50 kg de polvo para el parque.

Sistema Anti-intrusismo

El sistema anti-intrusismo estará compuesto por contactos magnéticos, detectores volumétricos de doble tecnología y sirena exterior.

Se adecuará una central para controlar el sistema de incendios e intrusión, encargado de activar y transmitir las alarmas generadas.

Se dispondrá de cámaras de seguridad en el parque ubicadas según indicaciones del departamento de seguridad de RED ELÉCTRICA.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 3. NORMATIVA APLICADA

El presente Proyecto ha sido redactado básicamente conforme el Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23 y a la norma UNE-EN 62271-1:2009 Aparamenta de alta tensión (de la derivada de la Directiva CENELEC).

En el Documento 2: Pliego de Condiciones Técnicas se especifican en detalle las normas y reglamentos específicos aplicados para la redacción y ejecución del presente proyecto.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 4. PLAZO DE EJECUCIÓN Y FECHA PREVISTA DE PUESTA EN SERVICIO

Se estima en 8 meses el tiempo necesario para la ejecución de las obras que se detallan en el presente Proyecto de Ejecución.

ACTIVIDAD	DIAS		MES																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AMPLIACIÓN SE SANTA PONSA 220 kV / 132 Kv	**600**																					
Definición	60																					
Tramitaciones	60																					
Aprovisionamientos	395																					
Construcción	150																					
Trabajos Previos	120																					
Implantación	60																					
Recepción de materiales	30																					
Obra Civil	180																					
Movimiento de tierras	120																					
Cimentaciones y canales	60																					
Edificios	90																					
Montaje Electromecánico AT	60																					
Montaje aparamenta	15																					
Conexiones aparamenta	15																					
Pruebas en vacio aparamenta	30																					
Montaje Protección, Control, Telecomunicaciones	30																					
Montaje armarios y bastidores	15																					
Tendido y conexionado de cable de control	15																					
Montaje infraestructura de telecomunicaciones	15																					
Pruebas de control, protección y telecomunicaciones	15																					
Instalaciones Auxiliares	30																					
Montaje instalación alumbrado y fuerza	15																					
Montaje instalación seguridad física	15																					
Puesta en Servicio y cierre	30																					

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

ANEXO 1.1

CÁLCULOS
PARQUE 132kV

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

1 OBJETO 4

2 SUBESTACIÓN $132kV$ 5

2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS 5

2.1.1 Hipótesis de diseño. 5

2.1.2 Condiciones de la instalación 6

2.1.3 Normativa aplicable 7

2.1.4 Características de los materiales / equipos a instalar 7

2.1.5 Cálculo mecánico del embarrado PRINCIPAL. 8

2.1.5.1 Cálculo Corriente de cortocircuito 8

2.1.5.2 Tensión en el tubo 9

2.1.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte 13

2.1.5.4 Flecha en el tubo 14

2.1.5.5 Elongación del embarrado 14

2.1.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito 15

2.1.5.7 Intensidad nominal de las barras 15

2.1.6 Cálculo mecánico del embarrado SECUNDARIO 16

2.1.6.1 Corriente de cortocircuito 16

2.1.6.2 Tensión en el tubo 16

2.1.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte 20

2.1.6.4 Flecha en el tubo 21

2.1.6.5 Elongación del embarrado 21

2.1.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito 21

2.1.6.7 Intensidad nominal de las barras 22

2.2 CÁLCULOS DE EFECTO CORONA. 23

2.2.1 Cálculo de la tensión disruptiva. 23

2.3 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE EMBARRADOS TENDIDOS 24

2.3.1 Hipótesis de diseño 24

2.3.2 Normativa aplicable 25

2.3.3 Desplazamiento del vano con viento 25

2.3.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito 27

2.3.5 Aproximación de conductores 29

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado:11729 Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUKNEA

2.3.6 Distancia entre fases en cortocircuito 30
2.3.7 Distancias mínimas a adoptar 30
2.3.8 Efectos sobre conductores en haz 31
2.4 RED DE TIERRAS INFERIORES 32
2.5 RED DE TIERRAS SUPERIORES 37
2.6 CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS APLICABLES A LA LINEA DE $132\ kV$ DE INTERCONEXION ENTRE PARQUES 39
2.6.1 Características eléctricas. 39
2.6.2 Datos térmicos de funcionamiento. 40
2.6.3 Sistema de puesta a tierra de las pantallas metálicas. 40
2.6.4 Cable de potencia. 40
2.6.5 Sistemas de puesta a tierra de las pantallas metálicas 41
2.6.5.1 Intensidad de corriente admisible en régimen permanente. 41
2.6.5.2 Cálculo de la capacidad de transporte de la conexión 43
2.6.5.3 Pérdidas eléctricas nominales 45
2.6.5.4 Intensidad de corriente admisible en cortocircuito 46

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº colegiado: 11229. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

1 OBJETO

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

Este documento incluye la justificación de los siguientes elementos:

- Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados rígidos.
- Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados tendidos.
- Determinación de efecto corona.
- Red de tierras inferiores.
- Red de tierras superiores.
- Cálculos eléctricos de la línea de 132 [kV] de interconexión entre parque y transformador de distribución.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2 SUBESTACIÓN $\mathbf{132[kV]}$

2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS

2.1.1 Hipótesis de diseño.

La corriente de cortocircuito trifásica prevista en el horizonte 2020 es de 9,37$[kA]$. Para permitir evoluciones futuras del sistema eléctrico sin impacto en la nueva subestación, se adoptan los siguientes valores de diseño:

Icc simétrica (Ik'') [kA]	31,5
R/X (sistema) [Ω/m]	0,07
Duración del cortocircuito (Tk) [seg]	0,5

Conductor rígido.

Se van a realizar interconexiones con dos tipos de tubos:

Tubo en embarrado principal	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	150
Diámetro interior (d) [mm]	134

Tubo en embarrado secundario	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	100
Diámetro interior (d) [mm]	88

Condiciones del vano.

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

Vano A (Barras principales)	
Longitud de vano [m]	13,0
Distancia entre fases [m]	3,0
Anclajes	Fijo - Elástico
Vano B (Conexión entre aisladores soporte)	
Longitud de vano [m]	7

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Distancia entre fases [m]	3
Anclajes	Fijo - Elástico

2.1.2 Condiciones de la instalación

La altura a la que se encuentra la subestación sobre el nivel del mar demarca la zona en la que se encuentra según la norma “ITC-LAT 2013”, a partir de esto se realizan las consideraciones dependientes a la climatología que indican las normas “ITC-LAT 2013” y “EN 50341-1-2012”

- Sobrecarga debida al Hielo: para la consideración de este parámetro se utilizará la siguiente expresión que es proporcionada por la norma:

$$Sobrecarga\ debida\ al\ Hielo = P_1 \cdot \sqrt{d_{exterior}}\ \left[{}^{kg}/_{m}\right]$$

Donde:

P_1: Parámetro que varía entre (0, 0,18 y 0,36) dependiendo de la altitud de la subestación.

$d_{exterior}$: Diámetro exterior del tubo.

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Coeficiente de norma (P1)	0,000
Sobrecarga debida al Hielo Vano A [kg/m]	0,000
Sobrecarga debida al Hielo Vano B [kg/m]	0,000

- Presión de viento: para la consideración de este parámetro se deben llevar a cabo la determinación de la densidad del aire a la altura correspondiente y la velocidad máxima del viento que se tendrá como parámetro, y las expresiones correspondientes son:

$$P_{viento} = \frac{1}{2}\rho\, V_h^2\ \left[{}^{N}/_{m^2}\right]$$

Donde:

ρ: Densidad del aire a la altura determinada, se define por medio de la siguiente expresión:

$$\rho = \rho_{aire}\frac{288}{T'}e^{-1{,}2\cdot10^{-4}\cdot H}\ \left[{}^{kg}/_{m^3}\right]$$

T': Diferencia de temperatura ambiente a la temperatura en servicio.

H: Altura a la que se encuentra la subestación.

V_h: Velocidad de viento máxima dada por la norma por el nivel de tensión, $V_h = 140\,{}^{Km}/_{h}$

Con lo cual tendremos que:

Densidad del aire calculada (ρ) [kg/m3]	1,143
Presión del viento (N/m2)	864,065

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ DOMINEAU

2.1.3 Normativa aplicable

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 337/2014 de 9 de mayo y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.
- Norma UNE EN 60865-1:2013, Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- Norma UNE-EN-60909-0:2016 Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 0: Cálculo de corrientes.
- Norma DIN 43670.

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

2.1.4 Características de los materiales / equipos a instalar

Conductor rígido	
Tubo en embarrado principal	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	150
Diámetro interior (d) [mm]	134
Espesor de la pared (e) [mm]	8
Peso propio unitario (Ppt) [kg/m]	9,64
Sección (A) [mm2]	3569
Carga de rotura del material (a_R) [N/mm2]	195
Momento de inercia (J) [cm4]	902
Momento resistente (W) [cm3]	120
Módulo de elasticidad (Young) (E) [N/mm2]	70000
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160
Coeficiente de dilatación lineal (s) [1/ºK]	0,000023
Intensidad máxima [A]	3250
Densidad de corriente en cortocircuito del tubo [A/mm2]	116
Tubo en embarrado secundario	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	100

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Diámetro interior (d) [mm]	88
Espesor de la pared (e) [mm]	6
Peso propio unitario (Ppt) [kg/m]	4,78
Sección (A) [mm2]	1772
Carga de rotura del material (a_R) [N/mm2]	195
Momento de inercia (J) [cm4]	197
Momento resistente (W) [cm3]	39
Módulo de elasticidad (Young) (E) [N/mm2]	70000
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160
Coeficiente de dilatación lineal (s) [1/K]	0,000023
Intensidad máxima [A]	2040
Densidad de corriente en cortocircuito del tubo [A/mm2]	116

Características de los aisladores soporte

En los tramos del vano A y vano B correspondientes a las barras principales y secundarias respectivamente, se instalan aisladores de las siguientes características mecánicas:

Características de los aisladores soporte	
Aisladores (Vano A, principal)	
Carga de rotura a flexión [N]	10000
Carga de rotura a torsión [N]	4000
Altura del aislador [mm]	2300
Altura de la pieza soporte [mm]	170
Aisladores (Vano B, secundario)	
Carga de rotura a flexión [N]	6000
Carga de rotura a torsión [N]	3000
Altura del aislador [mm]	2300
Altura de la pieza soporte [mm]	140

2.1.5 Cálculo mecánico del embarrado PRINCIPAL.

2.1.5.1 Cálculo Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico ($I_k^{"}$) a efectos de diseño es de 31,5 [kA] en el parque de 132 [kV].

La intensidad de cresta, (Según la norma “UNE-EN 60909-0-2012”) tiene un valor de:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$I_P = \kappa \sqrt{2}\, I_k^{''}\ [kA]$$

Donde:

κ: Factor de la intensidad pico definido por la siguiente expresión:

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98\, e^{-3\,(R/X)}$$

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

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Intensidad de Cresta (kA)	**80,826**
Factor k	1,814

2.1.5.2 Tensión en el tubo

Esfuerzo por viento F_V:

$$F_V = P_{viento} \cdot d_{exterior}\ [N/m]$$

Esfuerzo por peso propio F_{pp}:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g\ [N/m]$$

Donde la gravedad está definida como $g = 9{,}81\ m/s^2$ y P_{pt} es el peso propio unitario de conductor rígido.

Esfuerzo por peso del cable amortiguador F_{pa}:

$$F_{pa} = \frac{4}{3}(Peso\ del\ cable\ amortiguador) \cdot g\ [N/m]$$

Donde el peso del cable amortiguador viene dado para los cuatro tercios de cable.

Esfuerzo por peso Total F_p:

$$F_p = F_{pp} + F_{pa}\ [N/m]$$

Esfuerzos por hielo F_h:

$$F_h = P_1 \cdot g \cdot \sqrt{d_{exterior}}\ [N/m]$$

Donde:

P_1 : Parámetro que varía entre (0, 0,18 y 0,36) dependiendo de la altitud de la subestación.

$d_{exterior}$: Diámetro exterior del tubo.

Esfuerzos por cortocircuito F_s:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión dada por la norma “UNE-EN 60865-1-2013”:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$F_s = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{\mu_0}{a \cdot \pi}(I_p)^2 \quad [N/m]$$

Donde:

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío $\left(4\pi \cdot 10^{-7}\left[N/A^2\right]\right)$.

a: Distancia media entre fases.

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

V_σ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico.

V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche.

La frecuencia de vibración de un tubo está definida como:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2}\sqrt{\frac{E \cdot I}{m}} \quad [Hz]$$

Donde:

I : Inercia de la sección del tubo.

m: Masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador.

E: Módulo de Young del material.

l: Longitud del vano.

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

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema $\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$ establece los valores de V_σ y V_r de la siguiente forma:

En estas condiciones se presentan las siguientes expresiones:

$$V_\sigma = 0{,}756 + 4{,}49 \cdot e^{-1{,}68 \cdot X} + 0{,}54 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

$$V_r = 1 - 0{,}615 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

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

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \left(\frac{F_s \cdot l^2}{8 \cdot W}\right) \left[N/mm^2\right]$$

Donde:

β: Coeficiente dependiente del tipo y número de soportes, ver Figura1.

W : Módulo resistente de la sección del tubo.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$\sigma_i = \frac{1}{8} \cdot \frac{P \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$$

Donde:

l: Longitud del vano.

W: Módulo resistente de la sección.

P: Carga repartida que produce el esfuerzo.

Por lo tanto se tendrá:

Por viento: $\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$

Por peso propio: $\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$

Por hielo: $\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_h \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$

La tensión máxima tendrá un valor de:

$$\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + \left(\sigma_p + \sigma_h\right)^2} \quad \left[N/mm^2\right]$$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia está expresado como:

$$Coeficiente\ de\ Seguridad = \frac{R_{po2}}{\sigma_{to}}$$

Como resultado a las anteriores definiciones se tendrá el siguiente resultado:

Esfuerzos por viento (Fv) [N/m]	129,610
Esfuerzos por peso propio (Fpp) [N/m]	94,568
Esfuerzo por el peso del Cable amortiguador (Fpa) [N/m]	34,871
Esfuerzo por peso total (Fp) [N/m]	129,440
Esfuerzo por Hielo (Fh) [N/m]	0,000
Esfuerzo por cortocircuito (Fs) [N/m]	377,175
Frecuencia de vibración de un tubo (Fc) [Hz]	2,378
Factor de efecto dinámico (Vσ)	0,255
Factor de reenganche (Vϒ)	1,814
Tensión de trabajo en el tubo DINÁMICO (σm) [N/mm2]	30,670
Tensión de trabajo de viento (σv) [N/mm2]	22,817
Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	53,487

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Tensión de trabajo de peso propio (σp) [N/mm2]	22,787
Tensión de trabajo por hielo (σh) [N/mm2]	0,000
Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	58,139
Coeficiente de seguridad	**2,752**

En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma “UNE-EN 60865-1-2013” establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumplen las siguientes condiciones:

1. $\sigma_{to} \leq q \cdot R_{po2}$

Donde:

R_{po2}: Límite de fluencia mínimo del material $\left[{}^{N}/_{mm^2}\right]$

q: Factor de resistencia del conductor, se calcula de la siguiente forma según la norma:

$$q = 1{,}7\ \frac{1-\left(1-\frac{2t}{d_{exterior}}\right)^3}{1-\left(1-\frac{2t}{d_{exterior}}\right)^4}$$

$$t = d_{exterior} - d_{interior}$$

Con lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	58,14
Factor de resistencia del conductor (q)	1,414
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) * Factor de resistencia del conductor (q)	226,218

Cumple la condición 1.

2. $\sigma_v + \sigma_m \leq R_{po2}$

Se tienen los siguientes resultados:

Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	53,487
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160,000

Cumple la condición 2.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.1.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según la norma “UNE-EN 60865-1-2013”.

Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Así,

Viento sobre el tubo (F_v , Calculada anteriormente), Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = F_s \cdot V_\sigma \cdot V_r \ \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos se expresará de la siguiente forma:

$$F_t = 2 \cdot l \cdot \alpha \cdot (F_{da} + F_v) \ \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

Donde α está definida por el tipo de viga y de soporte, como se presenta en la Figura1.

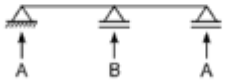
Tipo de viga y de soporte			Factor α	Factor β*	Factor γ
Vigas de un solo vano	A y B: soportes simples		A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: soporte empotrado B: soporte simple		A: 0,625 B: 0,375	$\frac{8}{11}=0,73$	2,45
	A y B: soportes empotrados		A: 0,5 B: 0,5	$\frac{8}{16}=0,5$	3,56
Vigas continua con soportes simples equidistantes	Dos vanos		A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11}=0,73$	2,45
	Tres o más vanos		A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11}=0,73$	3,56
* Se incluyen los efectos de plasticidad.					

Figura 1. Factores α, β y ϒ para diferentes disposiciones de apoyos de embarrados.

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 170 $[mm]$ por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto se realiza el cálculo del esfuerzo en el punto de garantía (F'_t):

$$F'_t = F_t \cdot \frac{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador) + 170 \cdot (Cantidad\ de\ piezas)}{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador)} \ [N]$$

El aislador debe cumplir con las condiciones que en las peores condiciones presenten un coeficiente de seguridad frente a la carga de rotura de 1,15, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\frac{Carga\ de\ rotura\ de\ flexión\ del\ Aislador}{F'_t}$$

Se tienen los siguientes resultados:

Esfuerzos por viento en soporte central (Fv) [N]	129,610

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Esfuerzos por cortocircuito en soporte central (Fda) [N]	174,222
Factor α	0,500
Esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos (Ft) [N]	3949,813
Esfuerzo total en la punta del aislador (F't) [N]	4241,756
Carga de rotura flexión aislador	2,358

2.1.5.4 Flecha en el tubo

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

$$f = \propto_f \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot J} \cdot 100 \quad [cm]$$

Donde:

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

l: Longitud del vano $[m]$

E: Módulo de elasticidad del material $[N/mm2]$

J: Momento de inercia de la sección $[cm^4]$

$\propto_f$: Factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

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

Fecha en el tubo [cm]	8,933371317

2.1.5.5 Elongación del embarrado

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

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Donde:

l_0: Longitud inicial del tubo $[m]$.

α : Coeficiente de dilatación lineal del tubo, donde $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}\ [1/K]$.

$\Delta\theta$: Incremento de temperatura entre la de montaje (35ºC) y la de servicio (80ºC).

Tendiendo como resultado:

Elongación del Embarrado (ΔL) [mm]	95,127

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.1.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

La intensidad térmica en cortocircuito (I_{th}) viene dada según la norma "UNE-EN 60865-1-2013" mediante la siguiente expresión:

$$I_{th} = I_k^{"}\sqrt{m+n}$$

Donde:

m: Coeficiente térmico de disipación, está determinado por la siguiente expresión:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1)}\left[e^{(4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1))} - 1\right]$$

n: Coeficiente térmico de disipación, que para las configuraciones que REE utiliza será 1.

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ_c = 116 $\left[{}^{A}/_{mm^2}\right]$ de (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica se define por medio de la expresión ($S \cdot \rho_c$), por lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Coeficiente (m)	1,95E-04
Coeficiente (n)	1,000
Capacidad térmica del tubo [kA]	414,004
Intensidad térmica en corte circuito (Ith) [kA]	31,503

Se puede apreciar que la capacidad térmica del tubo es muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

2.1.5.7 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido (I_{tubo}), está dada según el fabricante con 30 ℃ de temperatura ambiente y 65 ℃ de temperatura de trabajo del tubo.

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

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- K_1 = 0,96 - Por la aleación elegida.
- K_2 = 1,34, Para temperatura final de 80 ℃.
- K_3 = 0,75, Por ser tubería.
- K_4 = 1, El factor K_4 solo se aplica si no hay bifurcación en una longitud de al menos 2 [m].
- K_5 = 0,98, Para instalación a menos de 1.000 [$m.s.n.m$].

Según la citada norma la intensidad máxima será:

$$I_{max} = I_{tubo} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALO JOUANNEAU

Y tendremos los siguientes resultados:

Imax [A]	3072,888
Potencia [MVA]	702,557

Por lo que tenemos una Capacidad superior a la necesaria.

2.1.6 Cálculo mecánico del embarrado SECUNDARIO

2.1.6.1 Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico ($I_k^{"}$) a efectos de diseño es de 31,5 [kA] en el parque de 132 [kV].

La intensidad de cresta, (Según la UNE-EN 60909-0-2012) vale:

$$I_P = \kappa \sqrt{2}\, I_k^{"}\ [kA]$$

Donde:

κ: Factor de la intensidad pico definido por la siguiente expresión:

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98\, e^{-3\,(R/X)}$$

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

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Intensidad de Cresta (kA)	**80,826**
Factor k	1,814

2.1.6.2 Tensión en el tubo

Esfuerzo por viento F_V:

$$F_V = P_{viento} \cdot d_{exterior}\ \left[N/m\right]$$

Esfuerzo por peso propio F_{pp}:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g\ \left[N/m\right]$$

Donde la gravedad está definida como $g = 9{,}81\ m/s^2$ y P_{pt} es el peso propio unitario de conductor rígido.

Esfuerzo por peso del cable amortiguador F_{pa}:

$$F_{pa} = \frac{4}{3}(Peso\ del\ cable\ amortiguador) \cdot g\ \left[N/m\right]$$

Donde el peso del cable amortiguador viene dado para los cuatro tercios de cable.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Esfuerzo por peso Total F_p:

$$F_p = F_{pp} + F_{pa} \quad [N/m]$$

Esfuerzos por hielo F_h:

$$F_h = P_1 \cdot g \cdot \sqrt{d_{exterior}} \quad [N/m]$$

Donde:

P_1 : Parámetro que varía entre (0, 0,18 y 0,36) dependiendo de la altitud de la subestación.

$d_{exterior}$: Diámetro exterior del tubo.

Esfuerzos por cortocircuito F_s:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión dada por la norma “UNE-EN 60865-1-2013”:

$$F_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu_0}{a \cdot \pi} (I_p)^2 \quad [N/m]$$

Donde:

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío $\left(4\pi \cdot 10^{-7} \left[N/A^2\right]\right)$.

a: Distancia media entre fases.

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

V_σ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico.

V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche.

La frecuencia de vibración de un tubo está definida como:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}} \quad [Hz]$$

Donde:

I : Inercia de la sección del tubo.

m: Masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador.

E: Módulo de Young del material.

l: Longitud del vano.

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

Sustituyendo y operando:

$$f_c = 5{,}442 \ [Hz]$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema $\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$, establece los valores de V_σ y V_r.

En estas condiciones se presentan las siguientes expresiones:

$$V_\sigma = 0{,}756 + 4{,}49 \cdot e^{-1{,}68 \cdot X} + 0{,}54 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

$$V_r = 1 - 0{,}615 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

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

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \left(\frac{F_s \cdot l^2}{8 \cdot W}\right) \quad \left[N/_{mm^2}\right]$$

Donde:

β: Coeficiente dependiente del tipo y número de soportes, ver Figura1.

W : Módulo resistente de la sección del tubo.

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

$$\sigma_i = \frac{1}{8} \cdot \frac{P \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$$

Donde:

l: Longitud del vano.

W: Módulo resistente de la sección.

P: Carga repartida que produce el esfuerzo.

Por lo tanto se tendrá:

Por viento: $\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$

Por peso propio: $\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$

Por hielo: $\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_h \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$

La tensión máxima tendrá un valor de:

$$\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + \left(\sigma_p + \sigma_h\right)^2} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia está expresado como:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$Coeficiente\ de\ Seguridad = \frac{R_{po2}}{\sigma_{to}}$$

Como resultado a las anteriores definiciones se tendrá el siguiente resultado:

Esfuerzos por viento (Fv) [N/m]	86,407
Esfuerzos por peso propio (Fpp) [N/m]	46,892
Esfuerzo por el peso del Cable amortiguador [N/m]	17,436
Esfuerzo por peso total (Fp) [N/m]	64,327
Esfuerzo por Hielo (Fh) [N/m]	0,000
Fuerza por cortocircuito (Fs) [N/m]	377,175
Frecuencia de vibración de un tubo (Fc) [Hz]	6,312
Factor de efecto dinámico (Vσ)	0,484
Factor de reenganche (V$\mathfrak{r}$)	1,553
Tensión de trabajo en el tubo DINÁMICO (σm) [N/mm2]	38,360
Tensión de trabajo de viento (σv) [N/mm2]	11,701
Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	50,060
Tensión de trabajo de peso propio (σp) [N/mm2]	8,711
Tensión de trabajo por hielo (σh) [N/mm2]	0,000
Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	50,813
Coeficiente de seguridad	**3,149**

En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma “UNE-EN 60865-1-2013” establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumplen las siguientes condiciones:

1. $\sigma_{to} \leq q \cdot R_{po2}$

Donde:

q: Factor de resistencia del conductor, se calcula de la siguiente forma según la norma:

$$q = 1{,}7\ \frac{1 - \left(1 - \frac{2t}{d_{exterior}}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2t}{d_{exterior}}\right)^4}$$

$$t = d_{exterior} - d_{interior}$$

Con lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	50,813
Factor de resistencia del conductor (q)	1,431
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) * Factor de resistencia del conductor (q)	228,997

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Cumple la condición 1.

2. $\sigma_v + \sigma_m \leq R_{po2}$

Se tienen los siguientes resultados:

Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	50,060
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160,000

Cumple la condición 2.

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

2.1.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según la norma "UNE-EN 60865-1-2013".

Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Así,

Viento sobre el tubo (F_v , Calculada anteriormente), Esfuerzo en cortocircuito que según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = F_s \cdot V_\sigma \cdot V_r \ \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos se expresará de la siguiente forma:

$$F_t = 2 \cdot l \cdot \alpha \cdot (F_{da} + F_v) \quad \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

Donde α está definida por el tipo de viga y de soporte, como se presenta en la Figura1.

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 170 $[mm]$ por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto se realiza el cálculo del esfuerzo en el punto de garantía (F'_t):

$$F'_t = F_t \cdot \frac{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador) + 170 \cdot (Cantidad\ de\ piezas)}{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador)} \quad [N]$$

El aislador debe cumplir con las condiciones que en las peores condiciones presenten un coeficiente de seguridad frente a la carga de rotura de 1,15, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\frac{Carga\ de\ rotura\ de\ flexión\ del\ Aislador}{F'_t}$$

Se tienen los siguientes resultados:

Esfuerzos por viento en soporte central (Fv) [N]	86,407
Esfuerzos por cortocircuito en soporte central (Fda) [N]	283,270
Factor α	0,500
Esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos (Ft) [N]	2402,900

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11229. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Esfuerzo total en la punta del aislador (F't) [N]	2580,506
Carga de rotura flexión aislador	2,325

2.1.6.4 Flecha en el tubo

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

$$f = \propto_f \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot J} \cdot 100 \quad [cm]$$

Donde:

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

l: Longitud del vano $[m]$

E: Módulo de elasticidad del material $[N/mm2]$

J: Momento de inercia de la sección $[cm^4]$

$\propto_f$: Factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

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

Fecha en el tubo [cm]	3,110461599

2.1.6.5 Elongación del embarrado

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

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Donde:

l_0: Longitud inicial del tubo $[m]$.

α: Coeficiente de dilatación lineal del tubo, donde $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}\ [1/K]$.

$\Delta\theta$: Incremento de temperatura entre la de montaje (35ºC) y la de servicio (80ºC).

Elongación del Embarrado (ΔL) [mm]	47,563

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

2.1.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

La intensidad térmica en cortocircuito (I_{th}) viene dada según la norma “UNE-EN 60865-1-2013” mediante la siguiente expresión:

$$I_{th} = I_k^{"}\sqrt{m+n}$$

Donde:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

m: Coeficiente térmico de disipación, está determinado por la siguiente expresión:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1)} \left[e^{(4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1))} - 1 \right]$$

n: Coeficiente térmico de disipación, que para las configuraciones que REE utiliza será 1.

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ_c = 116 $\left[{}^{A}/_{mm^2} \right]$ de (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica se define por medio de la expresión $(S \cdot \rho_c)$, por lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Coeficiente (m)	1,95E-04
Coeficiente (n)	1,000
Capacidad térmica del tubo [kA]	205,552
Intensidad térmica en corte circuito (Ith) [kA]	31,503

Se puede apreciar que la capacidad térmica del tubo es muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

2.1.6.7 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido (I_{tubo}), está dada según el fabricante con 30 ℃ de temperatura ambiente y 65 ℃ de temperatura de trabajo del tubo.

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

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

K_1 = 0,96 - Por la aleación elegida.

K_2 = 1,34, Para temperatura final de 80 ℃.

K_3 = 0,75, Por ser tubería.

K_4 = 1, El factor K_4 solo se aplica si no hay bifurcación en una longitud de al menos 2 $[m]$.

K_5 = 0,98, Para instalación a menos de 1.000 $[m.s.n.m]$.

Según la citada norma la intensidad máxima será:

$$I_{max} = I_{tubo} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Y tendremos los siguientes resultados:

Imax [A]	1928,828
Potencia [MVA]	440,989

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11726. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Tenemos una Capacidad superior a la necesaria.

2.2 CÁLCULOS DE EFECTO CORONA.

2.2.1 Cálculo de la tensión disruptiva.

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

$$U_c = \rho \cdot m_0 \cdot \frac{E_o}{\sqrt{2}} \cdot R \cdot ln\left(\frac{GMD}{R}\right)$$

Donde:

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

R: Radio exterior del tubo en $[cm]$; para tubo de 150 $[mm]$ toma un valor de 7,5 y para tubo de 100 toma un valor de 5 .

GMD: Distancia media geométrica entre conductores en $[cm]$. Dado que se encuentran situados en un mismo plano y partiendo de que estén equidistantes entre si X $[cm]$:

$$GMD = \sqrt[3]{X \cdot X \cdot 2 \cdot X} = \sqrt[3]{2} \cdot X$$

$$GMD = 1{,}26 \cdot X \ [cm]$$

δ : Densidad del aire. Según la norma “EN 50341-1-2012” La densidad del aire se representa a través de la siguiente expresión:

$$\rho = \rho_0 \frac{288}{T_c} e^{(-1{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot H)}$$

Donde H es la altura, T_c es el incremento de la temperatura desde el montaje hasta la puesta en servicio, ρ_0 es la densidad del aire estándar con valor 1,225 $\left[{}^{kg}/_{m^3}\right]$.

E_0: Valor eficaz de campo eléctrico crítico para la aparición del efecto corona. Para conductores paralelos el valor máximo de campo viene dado por:

$$E_0 = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot E_1 \cdot \left(1 + \frac{C_1}{\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0} + R}}\right)$$

Donde:

E_1: Campo eléctrico disruptivo del aire $\left(E_1 = 30 \left[{}^{kV}/_{cm}\right]\right)$

C_1: Constante dimensional empírica $\left(C_1 = 0{,}301 \left[\sqrt{cm}\right]\right)$

Atendiendo a las anteriores definiciones se tienen los siguientes resultados:

Efecto Corona VANO A	
Factor de corrección de la densidad del aire	0,933
Coeficiente de rugosidad del conductor (mo)	1,000
RMG (r) [cm]	7,500
DMG [cm]	377,976

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Campo Eléctrico crítico (Eo) [kV/cm]	31,169
Tensión crítica disruptiva (Uc) [kV]	604,410
Efecto Corona VANO B	
Factor de corrección de la densidad del aire	0,933
Coeficiente de rugosidad del conductor (mo)	1,000
RMG (r) [cm]	5,000
DMG [cm]	377,976
Campo Eléctrico crítico (Eo) [kV/cm]	31,884
Tensión crítica disruptiva (Uc) [kV]	454,828

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

Tensión crítica disruptiva Embarrado A (Uc) [kV]	483,528
Tensión crítica disruptiva Embarrado B (Uc) [kV]	363,863

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

Como se ve los valores obtenidos están muy alejados de la tensión eficaz entre fase y tierra de los conductores (83,7 $[kV]$ para 145 $[kV]$) por lo que no es de esperar que el efecto corona se produzca.

2.3 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE EMBARRADOS TENDIDOS

2.3.1 Hipótesis de diseño

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

Longitud de vano (L) [m]	11
Flecha máxima (al 3%) [m]	0,33
Tipo de conductor	Simplex LAPWING
Cantidad de subconductores (n)	1
Diámetro del conductor (ø)/(d) [mm]	38,16
Sección del conductor (As) [mm2]	861,3
Peso propio del conductor (ms) [kg/m]	2,7
Módulo de elasticidad (E) [N/mm2]	70000
Distancia entre fases (a) [m]	3
Longitud media de cadenas [m]	2

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Separación entre conductores de la misma fase (as) (mm)	0
Rigidez de los soportes (S) [N/m]	75000
Tiempo de despeje de defecto (Tk1) [seg]	1
Intensidad de cortocircuito (Ik3) [kA]	32
Relación R/X del sistema	0
Tensión máxima a 50°C [kg]	1050
Fuerza de tensión máxima en el cable a 50°C (Fst) [N]	10300,50
Radio medio geométrico (GMR) [mm]	19,080
Distancia media geométrica (GMD) (Ls) [m]	3,78

Se comprobará además, el desplazamiento máximo en cortocircuito y la pérdida de distancia que esto produce, de acuerdo con lo estipulado en la norma “UNE-EN 60865-1-2013”.

2.3.2 Normativa aplicable

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 337/2014 de 9 de mayo y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.
- Norma UNE EN 60865-1:2013, Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- Norma UNE-EN-60909-0:2016 Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 0: Cálculo de corrientes.
- Norma DIN 43670.

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

2.3.3 Desplazamiento del vano con viento

La presión sobre el conductor debida al efecto del viento, según RLAT para conductores de diámetro mayor a 16 $[mm]$ está dado por la siguiente ecuación:

$$P = 50\left(\frac{V_v}{120}\right)^2$$

Donde V_v es la velocidad máxima de viento, y nuestro diseño esta supuesto con una velocidad de viento máxima de 140$\left[{}^{km}/_{h}\right]$.

Para este caso, tendremos en cuenta la fuerza del viento (F_v) que se ejerce de forma directa sobre el diámetro de cada conductor, y tendremos:

$$F_v = P \cdot D_{conductor}$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUBINEAU

Donde $D_{conductor}$ es el diámetro del conductor.

Ahora se procederá a realizar el cálculo de la distancia mínima entre conductores, el cual se realizará por medio del desplazamiento máximo del conductor (d_{max}) y del ángulo de oscilación (θ), estos están dados por:

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{F_v}{Peso\ del\ conductor}\right)$$

$$d_{max} = f_{max}\, sen(\theta)$$

En estas condiciones, dada la escasa probabilidad de simultaneidad de viento y sobretensión, la distancia entre los conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuito entre fases, teniendo presente los efectos de oscilaciones de los conductores debidas al viento y al desprendimiento de la nieve acumulada entre ellos.

Con este objeto, la separación mínima entre conductores de fase se determinará según la norma “ITC LAT_07_OCT13” por la formula siguiente:

$$D_{min} = K\sqrt{F + L} + K' D_{PP}$$

Donde:

K: Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

K': Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea y ángulo de oscilación.

F: Flecha máxima.

L: Longitud de la cadena de suspensión (si se posee).

D_{PP}: Distancia mínima aérea especificada para prevenir una descarga disruptiva entre conductores durante sobretensiones de frente lento o rápido.

Por medio de las anteriores definiciones se tendrá:

Presión del viento sobre el conductor (Pv) [kg/m2]	68,056
Fuerzas del viento sobre los conductores (Fv) [kg/m]	2,597
Ángulo de oscilación de desplazamiento (Θ) [Grados]	44,249
Coeficiente K	0,650
Coeficiente Dpp	1,400
Desplazamiento del conductor (dmax) [m]	0,230
Distancia mínima entre conductores (Dmin) [m]	1,563

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.3.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito

Dimensiones y parámetros característicos.

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

$$F' = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot 0{,}75 \cdot \frac{I_{k3}^2}{a} \cdot \frac{l_c}{l}$$

Donde:

I_{k3}: Corriente simétrica de cortocircuito trifásico.

l_c: Longitud del vano sin cadenas.

l: Longitud total del vano.

a: Separación entre fases.

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío $\left(4\,\pi * 10^{-7}\left[{}^{N}/_{A^2}\right]\right)$.

La proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito tendrá un valor de:

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

Donde:

n: Número de conductores por fase.

m_s: Peso de uno de los conductores.

g: Aceleración de la gravedad $\left(9{,}81\left[{}^{m}/_{s^2}\right]\right)$

La dirección resultante de la fuerza sobre el conductor será:

$$\delta_1 = arctg\,(r)$$

La flecha estática en el conductor tendido tendrá un valor de:

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

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

Para esta flecha, el periodo de oscilación tendrá el siguiente valor:

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

El período resultante en caso de cortocircuito valdrá:

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

Donde:

σ_{fin}: tiene un valor de $5 \cdot 10^7 \left[{}^{N}/_{m^2}\right]$ (menor valor de la tensión de mecánica del conductor cuanto E llega a ser constante)

A_s: Sección de un conductor.

n: Número de conductores por haz.

El factor de tensión mecánica del conductor se define como:

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

Donde N es la Norma de rigidez del sistema mecánico compuesto, que se define por la siguiente expresión:

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

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

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

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

$$\delta_{max} = \begin{cases} 1{,}25\, arcos\, \chi & si \quad 0{,}766 \leq \chi \leq 1 \\ 10° + arcos\, \chi & si \quad -0{,}985 \leq \chi \leq 0{,}766 \\ 180° & si \quad \chi \leq -0{,}985 \end{cases}$$

Con

$$\chi = \begin{cases} 1 - r\, sen\, \delta_{end} & si \quad 0 \leq \delta_k \leq 90° \\ 1 - r & si \quad \delta_k > 90° \end{cases}$$

Por lo tanto se tendrán los siguientes datos:

Carga electromagnética sobre conductores principales (F') [N/m]	36,082
Relación entre la fuerza electromagnética y la de gravedad sobre el conductor (r)	1,380
Dirección de la fuerza resultante sobre el conductor (ζ1) [grados]	54,064
Flecha estática equivalente del conductor (bc) [m]	0,038
Periodo de oscilación del conductor (T) [segundos]	0,352
Periodo de oscilación del conductor en cortocircuito (Tres) [segundos]	0,269
σ fin [N/m2]	5,00E+07
Módulo de Young real (Eeff) [10^10 N/m2]	3,90

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 17729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Norma de rigidez (N) [1/N]	1,24E-06
Factor de tensión mecánica del conductor principal (ξ)	0,003
Ángulo en relación a su posición régimen permanente (∆end) [grados]	108,128
Coeficiente (X)	-0,380
Ángulo de oscilación calculado (∆max) [grados]	122,310

Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito

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

$$F_{t,d} = F_{st}(1 + \psi \cdot \varphi)$$

Donde:

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

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

$$\varphi = \begin{cases} 3\left(\sqrt{1+r^2}-1\right) & si \quad T_{k1} \geq T_{res}/4 \\ 3(r\,sen\delta_{end} + \cos\delta_{end} - 1) & si \quad T_{k1} < T_{res}/4 \end{cases}$$

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

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

2.3.5 Aproximación de conductores

El valor del desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito:

$$b_h = \begin{cases} C_f \cdot C_d \cdot b_c sen\delta_1 & si \quad \delta_{max} \geq \delta_1 \\ C_f \cdot C_d \cdot b_c sen\delta_{max} & si \quad \delta_{max} < \delta_1 \end{cases}$$

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

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

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

La deformación elástica viene dada por:

$$\varepsilon_{ela} = \left(F_{t,d} - F_{st}\right) \cdot N$$

Y la deformación térmica:

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

Y así, tendremos los siguientes resultados:

Parámetro de carga (Φ)	2,112
Fuerza de tracción (Ft,d) [N]	10517,404
Valor de Ψ	0,010
Coeficiente de Expansión elástica (Eela)	2,69E-04
Coeficiente térmico del cable (Cth) [m4/A2s]	2,70E-19
Coeficiente de Expansión térmica (Eth)	2,43E-05
Incremento de la flecha causado por alargamiento elástico y térmico (Cd)	1,037
Incremento de la flecha dinámica del conductor por el cambio de forma de curva (Cf)	1,108
Flecha dinámica resultante (Fed) [m]	0,044
Fuerza de tracción por caída después del cortocircuito (Fs,t)[N]	12445,668
Desplazamiento horizontal del vano (bh) [m]	0,036

2.3.6 Distancia entre fases en cortocircuito

Distancia entre conductores de diferente fase en cortocircuito:

$$D = a - 2b_h$$

Distancia entre fases en cortocircuito (a min) [m]	2,929

Por lo tanto se cumplen las distancias mínimas entre fases en cortocircuito adoptadas entre fases.

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

2.3.7 Distancias mínimas a adoptar

En base a lo anteriormente expuesto y teniendo en cuenta lo que al respecto se indica en la ITC-RAT 12 e UNE-EN 60071 se proponen las siguientes distancias mínimas que deberán ser respetadas en la presente subestación:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

DISTANCIAS FASE TIERRA……2,10 [m]

DISTANCIAS FASE-FASE……2,10 [m]

2.3.8 Efectos sobre conductores en haz

Se específica en la norma “UNE-EN 60865-1 de 2013” que para realizar el cálculo de la fuerza de tracción se deben realizar una serie de pasos, los cuales realizaremos a continuación para dicho cálculo:

- Se verificará si existe entrechoque efectivo entre los conductores, para que exista dicho entrechoque se debe cumplir una de las siguientes condiciones:

$$\frac{a_s}{d} \leq 2 \;\; y \;\; l_s \geq 50\, a_s$$

$$\frac{a_s}{d} \leq 2{,}5 \;\; y \;\; l_s \geq 70\, a_s$$

  Donde (a_s) es la distancia entre conductores de la misma fase, (d) es el diámetro de los conductores y (l_s) es la distancia media geométrica entre fases.

- Si no existe entrechoque efectivo se debe proceder a calcular si los conductores chocan entre sí o si no se chocan, para ello se deben realizar el cálculo del parámetro de choque.

  Primero se hará el cálculo del factor V_1, V_2 y V_3, por medio de estos valores vamos a calcular la fuerza en los conductores de haz de la corriente de cortocircuito (F_v), los factores de deformación que caracterizan la contracción del haz ($E_{st}\ y\ E_{pi}$) y por último el parámetro de entrechoque (j), que se calculan según indica la norma.

  A partir de las fórmulas anteriores y con los resultados obtenidos, nos vamos a remitir a la condición de choque que nos plantea la norma:

  “$j \geq 1$ Los subconductores entrechocan, $j < 1$ los subconductores reducen su distancia pero no entrechocan”

- Luego de realizar el paso anterior, se procederá al cálculo de la fuerza de tracción en caso de entrechoque, $F_{pi,d}$, para poder realizar este cálculo se debe obtener el valor del factor V_e y V_4 como lo pide la norma.

A continuación se muestran los resultados a los cálculos anteriores:

Fuerza de tracción en haces (Fpi,d) [N]	**11569,144**
Condición de entrechoque efectivo	CUMPLE
Factor V1 del conductor	No Aplica
Factor V2 del conductor	No Aplica
Factor V3 del conductor	No Aplica
Factor V4 del conductor	No Aplica
Fuerza de la corriente de cortocircuito (Fv) [N]	No Aplica
Factor de deformación Estático (Est)	No Aplica
Factor de deformación Dinámico (Epi)	No Aplica
Parámetro de configuración de entrechoque (j)	No Aplica
Factor Ve del conductor	No Aplica

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11813. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Factor de seguridad	**6,48**

Donde se cumple que la fuerza de tracción de los conductores en haz sobre los aisladores es menor que la carga de rotura del aislador.

2.4 RED DE TIERRAS INFERIORES

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

La red de tierras a realizar en la zona de ampliación se conectará con la red de tierras del resto de la subestación de 132[kV]. Se estima que la red de tierras existente presenta la misma retícula que la empleada en la zona de la ampliación para realizar el cálculo de la malla en su conjunto.

- Valor de la resistividad del terreno

Se considera como valor de la resistividad del terreno, a efectos de cálculo será de 200 [$\Omega \cdot m$].

- Tensiones de paso y contacto máximas admisibles

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

Tiempo de despeje de la falta (t) [seg]	0,5
Intensidad de la falta monofásica a tierra [kA]	10,37
Resistividad de la capa superficial (grava) (ρ) [Ω m]	3.000
Coeficiente reductor (Cs)	0,676688453
Resistividad superficial aparente (ρ_as) [Ω m]	2.030
Tensión aplicada admisible (Uca) [V]	204
Tensión aplicada admisible (Upa) [V]	2.040
Espesor de capa de gravilla (hs) [m]	0,1
Resistencia equivalente al calzado (Ra1) [Ω]	2000

Según la "ITC-RAT 13", para tiempos de duración del defecto de 0,5 [s] las tensiones de paso y de contacto admisibles aplicadas serán:

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

$$U_{pa} = 10 * U_{ca} = 2040\ [V]$$

Según el ITC-RAT 13, las tensiones de paso y contacto máximas admisibles (considerando todas las resistencias) son:

- Tensión de paso: $U_p = 10 * U_{ca}\left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{1000}\right]\ [V]$
- Tensión de contacto: $U_c = U_{ca}\left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1{,}5 \cdot \rho_s}{1000}\right]\ [V]$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Según la norma “IEEE-80-2013” dichos valores pueden ser calculados para una persona de 70 kg de peso promedio por medio de las siguientes expresiones:

- Tensión de paso: $E_{paso} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}} \quad [V]$
- Tensión de contacto: $E_{contacto} = (1000 + 1{,}5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}} \quad [V]$
- Siendo C_s el factor de reducción siguiente: $C_s = 1 - \left(\frac{0{,}09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \cdot h_s + 0{,}09} \right)$

Donde:

ρ: Resistividad del terreno $[\Omega \cdot m]$

ρ_s: Resistividad de la gravilla $[\Omega \cdot m]$

h_s: Espesor capa de gravilla $[m]$

Con lo que se tendrán los siguientes resultados:

Tensión de paso (Vp) [V]	35.048
Tensión de contacto (Vp) [V]	1.029
Tensión de paso (E_paso) [V]	1516,193018
Tensión de contacto (E_contacto) [V]	502,0848343

- Resistencia de puesta a tierra

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

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

Donde:

ρ: Resistividad del terreno $[\Omega \cdot m]$

L: Longitud total de conductor enterrado $[m]$

h: Profundidad de enterramiento del conductor $[m]$

A: Superficie ocupada por la malla $[m^2]$

Por lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Resistividad del terreno (ρ) [Ω m]	200
Longitud total del conductor enterrado (L) [m]	12.000
Profundidad de enterramiento del conductor (h) [m]	0,6
Superficie ocupada por la malla (A) [m2]	9.000
Resistencia de la red de tierras [Ω]	**0,95**

- Intensidad de defecto a tierra

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

El valor tomado de la intensidad monofásica de cortocircuito para la subestación según la norma “IEEE Std 80-2013/Cor1-2015. Capítulo 15” está dada por las siguientes expresiones:

$$I_g = \frac{Z_{equ}}{(Z_{equ} + R_g)} X$$

Donde:

I_g: Intensidad disipada por la malla $[kA]$

R_g: Resistencia de la malla $[\Omega]$

Z_{equ}: Impedancia equivalente de todos los hilos de guarda $[\Omega]$, está dada por la siguiente expresión:

$$Z_{equ} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{L1}} + \frac{1}{Z_{L2}} + \cdots + \frac{1}{Z_{Ln}}}$$

X: Variable que depende de la suma de las diferencias de cada una de las aportaciones de intensidad que se dan a la I_{cc} , y se define con la siguiente expresión:

$$X = \sum_{i=1}^{n} (I_{Li} - I_{Li} \cdot P_{Ln})$$

I_{Ln}: Intensidad de cortocircuito aportada por la Línea n, donde n toma los valores de cada una de las lineas$[kA]$

P_{Ln}: Factor de reducción por inducción de la Línea n, donde n toma los valores de cada una de las lineas.

Z_{Ln}: Impedancia en cadena de hilo de guarda de la Línea n, donde n toma los valores de cada una de las lineas $[\Omega]$

Con lo cual tabulando tendremos:

Resistencia de la red de tierras [Ω]	0,95
Impedancia equivalente de todos los hilos de guarda [Ω]	1,02
Variable X [kA]	8,57
Intensidad disipada por la malla (Ig) [kA]	**4,45**

- Evaluación de tensiones de paso y contacto

Los datos iniciales utilizados para el cálculo son:

Resistividad del terreno (ρ) [Ω m]	200
Espaciado medio entre conductores (D) [m]	8
Profundidad del conductor enterrado (h) [m]	0,6
Diámetro del conductor (d) [m]	0,0142
Longitud del conductor enterrado (L) [m]	12000

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

Intensidad disipada por la malla (Ig) [kA]	4,45

La norma “IEEE-80-2013” propone desarrollar las siguientes expresiones para el cálculo de la tensión de contacto de verificación:

$$E_{contacto} = \rho K_m K_i \frac{I_g}{L} \quad [V]$$

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

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

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

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

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

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0{,}7\ A}{L_x \cdot L_y}}$$

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

Donde:

L_c: Longitud del conductor de la (no incluye las picas) $[m]$

L_p: Longitud del perímetro de la malla $[m]$

L_x: Longitud máxima de la malla en la dirección x $[m]$

L_y: Longitud máxima de la malla en la dirección y $[m]$

D_m: Distancia máxima entre dos puntos en la malla $[m]$

L: Longitud efectiva de la malla para la tensión de paso $[m]$

Y las expresiones que permiten obtener la tensión de paso son:

$$E_{paso} = \rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot \frac{I_g}{L} \quad [V]$$

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Teniendo como resultado:

Parámetro Kh	1,264911064
Parámetro Ki	9,778290179
Parámetro Kii	0,855511841
Parámetro n	61,71817689
Parámetro na	63,15789474
Parámetro nb	1,000693722
Parámetro nc	1,049459464
Parámetro nd	0,930504762
Longitud del conductor de la malla (Lc) [m]	12000
Longitud del perímetro de la malla (Lp) [m]	380
Longitud máxima de la malla en la dirección x (Lx) [m]	131
Longitud máxima de la malla en la dirección y (Ly) [m]	74
Distancia máxima entre dos puntos lejanos de la malla (Dm) [m]	140
Parámetro Km	0,587957575
Parámetro Ks	0,342058952
Tensión de paso de verificación (E_paso) [V]	**331**
Tensión de contacto de verificación (E_contacto) [V]	**427**

Los valores obtenidos son menores que los valores límite tanto de la norma “IEEE-80-2000” como de la “ITC-RAT13”

- Análisis de Conductor

La sección del conductor que constituye la malla de tierra debe ser tal que soporte la mitad de la intensidad (porque en el diseño de la malla se establece que en cada punto de puesta a tierra llegan al menos dos conductores de la malla) sin superar la temperatura máxima de 300 [$°C$] y con una duración de 1 segundo. Esto supone unas densidades de corriente máximas admisibles, según la norma “ITC-RAT-13” las densidades de corriente máximas para los conductores serán:

» 192 A/mm^2 para el cobre.

» 72 A/mm^2 para el acero.

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

$$A = I \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \propto_r \cdot \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_\alpha}\right)}}$$

Donde:

I: Mitad de la intensidad de falta a tierra [kA]

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

t_c: Tiempo duración de la falla $[s]$

T_m: Temperatura máxima que pueden alcanzar el conductor y las uniones $[^oC]$

T_a: Temperatura ambiente $[^oC]$

$TCAP$: Capacidad Térmica del conductor $\left[{}^{J}/_{cm^3\,.\,^oC}\right]$ (Ver tabla 1 de "IEEE-80-2013")

α_r: Coeficiente térmico de resistividad a 20 $[^oC]$ $\left[{}^{1}/_{^oC}\right]$ (Ver tabla 1 de "IEEE-80-2013")

ρ_r: Resistencia del conductor a 20 ^oC $[\mu\Omega \cdot cm]$ (Ver tabla 1 de "IEEE-80-2013")

Ko: Inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0 $[^oC]$. (Ver tabla 1 de "IEEE-80-2013")

A: Sección mínima del conductor $[mm^2]$

Obteniendo los siguientes resultados:

Intensidad de falla a tierra en RMS (I) [kA]	10,47
Tiempo de duración de la falla (tc) [seg]	1
Temperatura máxima que puede alcanzar el conductor y las uniones (Tm) [C]	200
Temperatura ambiente (Ta) [C]	40
Capacidad térmica del conductor (TCAP) [J/cm3*C]	3,4
Coeficiente térmico de la resistividad a 20 C (αr) [1/C]	0,00381
Inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0 C (K0)	242
Sección mínima del conductor (A) [mm2]	**69,75**

La sección mínima necesaria es mucho menor que los 120 $[mm^2]$ del cable de Cobre que se va a utilizar, por lo que no habría problemas. Se utiliza este cable por ser el normalizado de Red Eléctrica.

A la vista de los resultados obtenidos los valores de las tensiones de paso y contacto están por debajo de los permitidos por el "ITC-RAT 13" y del "IEEE-80-2013", por lo que el diseño de la malla sería válido.

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

2.5 RED DE TIERRAS SUPERIORES

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

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

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANEAU

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

Según la norma “UNE-EN 62305-1 de 2011” la zona de captura se establece a partir del radio crítico de cebado (r) y que viene dado por la expresión:

$$r = 10 \cdot I^{0,65}$$

Donde:

$I[kA]$: Valor de la cresta de la corriente, está dada por la siguiente expresión:

$$I = 1{,}1\frac{U \cdot n}{Z}$$

U $[kV]$: Tensión soportada a impulsos tipo rayo, $U = 650$ $[kV]$

n: Número de líneas conectadas a la subestación, $n = 2$

$Z[\Omega]$: Impedancia característica de las líneas, $Z = 400$ $[\Omega]$ (valor típico)

Sustituyendo y aplicando estos valores se obtiene:

Valor de la cresta de la corriente (kA)	**2,548**
Radio crítico de cebado (r)	**15,223**

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

Por otro lado, la subestación y su aparamenta asociada queda protegida frente a las descargas atmosféricas mediante el cable de guarda.

A continuación se presentan las Figuras 2, 3 y 4 con vistas de secciones de la subestación en las cuales se puede apreciar el radio crítico aplicado.

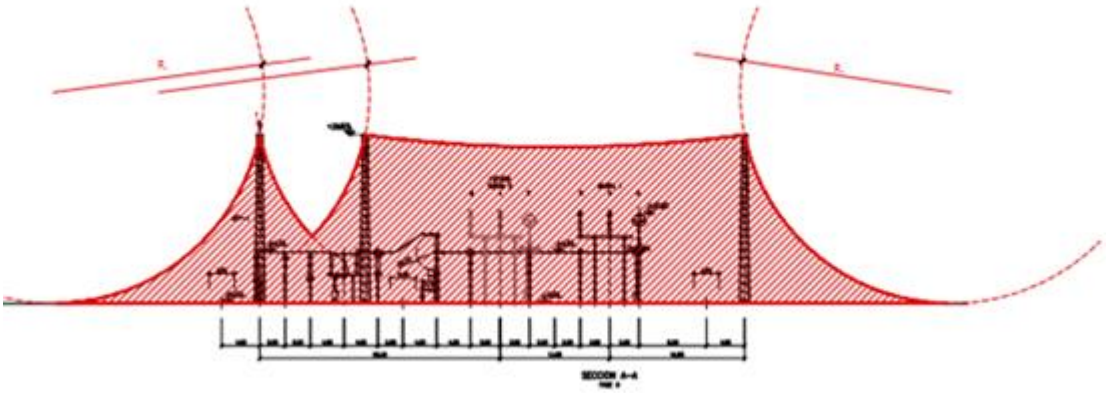


Figura 2. Vista sección A-A de la subestación.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

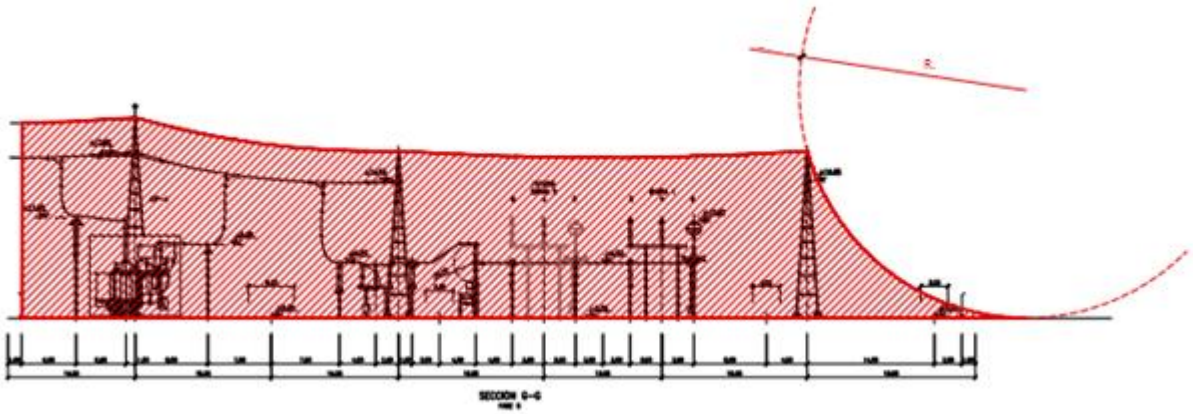


Figura 3. Vista sección G-G de la subestación.

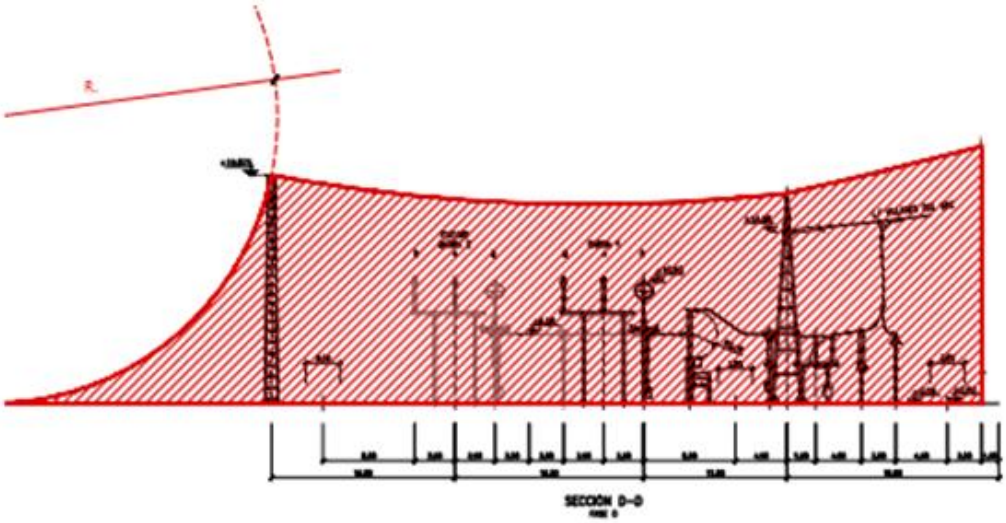


Figura 4. Vista sección D-O de la subestación.

Según la norma los cálculos obtenidos dan en la subestación una Zona de Protección contra Rayos (ZPR) de nivel 2, la cual supera las expectativas para la subestación.

2.6 CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS APLICABLES A LA LINEA DE $\mathbf{132}$ $[\boldsymbol{kV}]$ DE INTERCONEXION ENTRE PARQUES

2.6.1 Características eléctricas.

Las características eléctricas de ambas líneas son iguales:

Tensión más elevada para el material (kV)	245
Categoría de red	A
Tensión soportada a impulso tipo rayo (kV)	1050
Tensión soportada a frecuencia industrial (30min) (kV)	318
Capacidad de transporte (MVA)	764,000

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Factor de carga	1,00
Impedancia característica de las líneas (Ohms)	400

2.6.2 Datos térmicos de funcionamiento.

El circuito térmico es el de interconexión de la línea entre la subestación 132 $[kV]$ y el transformador del parque de 66 $[kV]$, y estará compuesto por una terna de cables que irán instalados en el interior de una zanja.

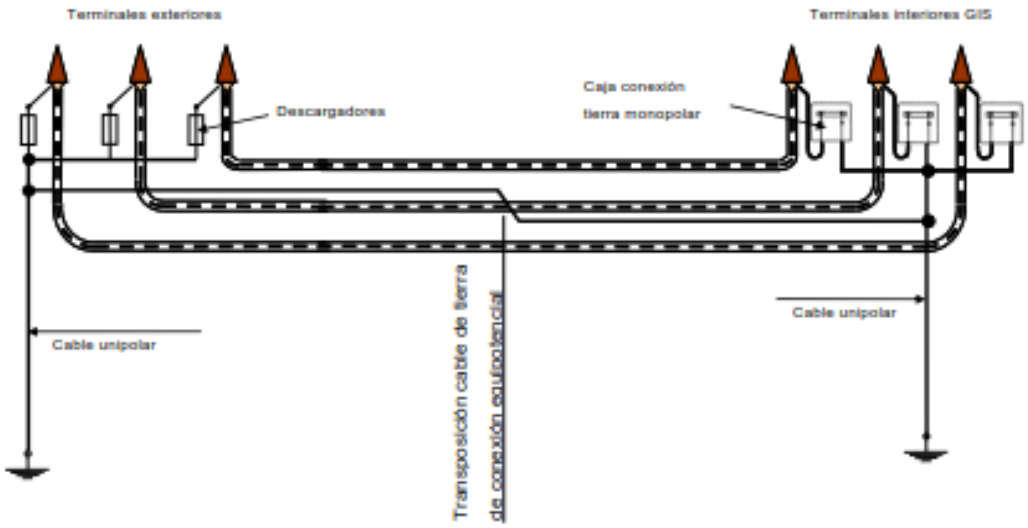
Las dimensiones como el trazado en planta de dicha zanja se muestran en los planos.

Las condiciones de instalación y ambientales consideradas son: temperatura del aire 40ºC.

2.6.3 Sistema de puesta a tierra de las pantallas metálicas.

Debido a la longitud de las conexiones, los enlaces se realizarán mediante una sola pieza de cable por cada fase. Con objeto de minimizar las pérdidas por circulación de corrientes en las pantallas metálicas, se realizará con conexionado tipo Single – Point, es decir, unido rígidamente a tierra en un extremo y mediante descargador en el otro.

Se dispondrá un cable de cobre a lo largo del canal al aire bajo losas de hormigón.



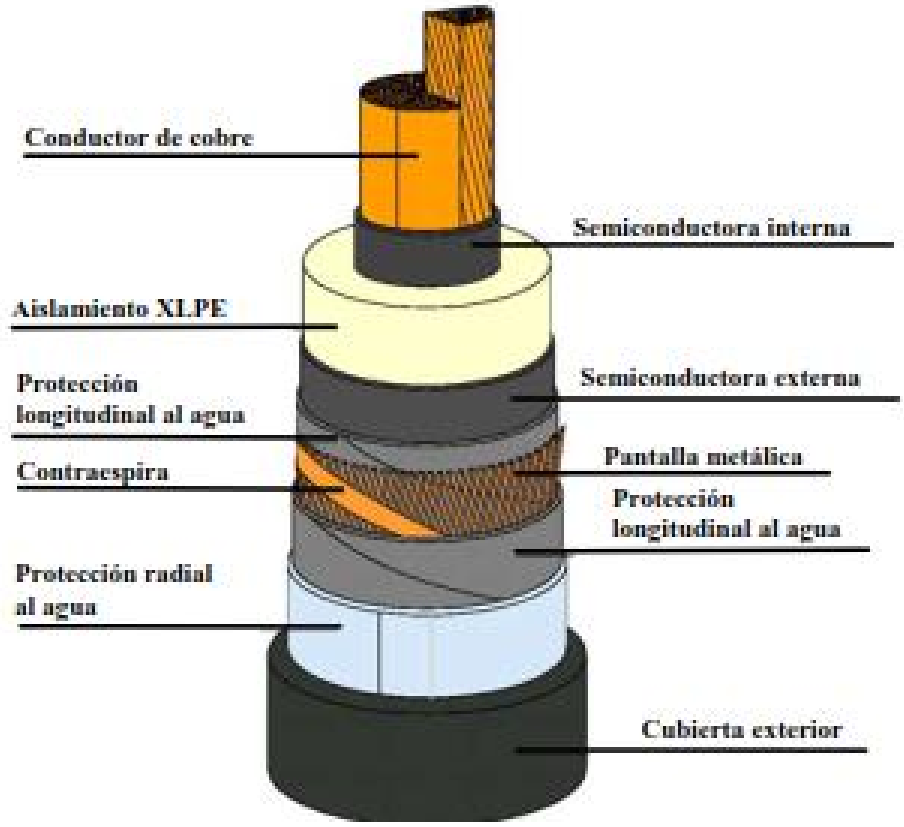
2.6.4 Cable de potencia.

La composición general del cable aislado para el enlace de 132 $[kV]$, será la que se muestra a continuación:

- Conductor: sección circular de cobre de cuerda segmentada tipo Miliken de 1.200 $[mm^2]$
- Semiconductora interna: capa extrusionada de material semiconductor.
- Aislamiento: polietileno reticulado (XLPE) super clean.
- Semiconductora externa: capa extrusionada de material semiconductor.
- Protección longitudinal al agua: cinta hinchable de estanqueidad colocada antes de la pantalla.
- Pantalla: corona de alambres de cobre arrollados helicoidalmente.
- Contraespira: fleje de cobre que garantice la sujeción de la pantalla frente a los esfuerzos electrodinámicos.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220515. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Protección longitudinal al agua: cinta hinchable de estanqueidad colocada después de pantalla.
- Protección radial al agua: lámina de aluminio termosoldada adherida a la cubierta.
- Cubierta exterior: polietileno negro tipo Z1(AS) con una capa exterior semiconductora.



Tanto la pantalla de hilos de cobre como la contraespira de cobre podrán omitirse en el caso de que la protección radial al agua de aluminio termosoldado realice las funciones de pantalla metálica. En este caso la sección de la pantalla será de 375 $[mm^2]$.

El cable y todos los accesorios utilizados deberán cumplir los ensayos y pruebas indicados en la norma "IEC 62067, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 $[kV]$ (U_m = 170 $[kV]$) up to 500 $[kV]$ (U_m = 550 $[kV]$) – Test methods and requirements". Los ensayos sobre instalación acabada se realizarán con una fuente resonante de frecuencia.

2.6.5 Sistemas de puesta a tierra de las pantallas metálicas

2.6.5.1 Intensidad de corriente admisible en régimen permanente.

El cálculo para la determinación de la intensidad que va a circular en régimen permanente por la línea viene determinado por la norma "UNE 21144-1 de 2012", este cálculo consiste en la hacer el análisis de transferencia de calor en servicio, de forma que las pérdidas de potencia activa generadas en el cable se disipen al entorno sin que el aislamiento alcance una temperatura excesiva para deteriorar sus características eléctricas, mecánicas o químicas del cable.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 3750492S. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.6.5.1.1 Cálculo de la intensidad máxima admisible en servicio.

La intensidad máxima admisible en servicio permanente es la que produce calentamiento en el conductor hasta su máxima temperatura admisible, lo cual limita la intensidad que transita por él.

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d\,[0{,}5\,T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{R\,T_1 + n\,R(1+\lambda_1)\,T_2 + n\,R\,(1+\lambda_1+\lambda_2)\,(T_3+T_4)}\right]^{0,5}$$

Donde:

I: Intensidad de la corriente máxima que circula en el conductor $[A]$

$\Delta\theta$: Incremento de temperatura del conductor respecto a la temperatura ambiente $[K]$

R: Resistencia del conductor en corriente alterna, a temperatura máxima de servicio $[\Omega/m]$

W_d: Pérdidas dieléctricas del aislamiento que rodea al conductor $\left[{}^{W}/_{m}\right]$

T_1: Resistencia térmica entre el conductor y la envolvente $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

T_2: Resistencia térmica entre el relleno envolvente y la armadura $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

T_3: Resistencia térmica del revestimiento exterior del cable $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

T_4: Resistencia térmica entre la superficie del cable y el ambiente $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

n: Número de conductores aislados en servicio en el cable.

λ_1: Relación de las pérdidas en la cubierta metálica o pantalla con respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de dicho cable.

λ_2: perdidas en la armadura respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de ese cable.

Para la realización de este cálculo se debe tener en cuenta que existe pérdidas de potencia eléctrica que genera calor en el cable, se debe determinar las resistencias térmicas que intervienen según las condiciones de instalación y que al ser una disposición que se encuentra en intemperie se verá afectada por la radiación solar, así como lo indica la norma.

2.6.5.1.2 Resistencia del conductor en corriente alterna

La resistencia del conductor está dada por la siguiente expresión:

$$R = R'\left(1 + Y_s + Y_p\right)\,[\Omega/m]$$

Donde:

R': Resistencia del conductor con corriente continua en la máxima temperatura de servicio $[\Omega/m]$

Y_s: Factor pelicular.

Y_p: Factor de efecto proximidad.

La resistencia de la pantalla de corriente alterna se calculará igual que para el conductor, pero con el valor de d_c correspondiente a la pantalla.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JIMÉNEZ

2.6.5.1.3 Perdidas dieléctricas

Las pérdidas dieléctricas están dadas por la siguiente expresión:

$$W_d = \mathrm{w} \cdot \mathrm{C} \cdot U_0^2 \cdot \tan\delta \ \left[{}^{W}/_{m}\right]$$

Donde:

w: Componente angular.

C: Capacidad por unidad de longitud $\left[{}^{F}/_{m}\right]$

ε: Permitividad relativa del material aislante.

D_i: Diámetro exterior del aislamiento (Excluyendo la pantalla) [mm]

d_{c1}: Diámetro del conductor incluyendo la pantalla [mm]

U_0: Tensión con relación a tierra $[V]$

$\tan\delta$: Factor de pérdidas del aislamiento a la frecuencia y temperatura de servicio.

2.6.5.1.4 Factor de pérdidas en la pantalla

Las pérdidas en la pantalla (λ_1), se deben a las corrientes de circulación (λ_1') y las corrientes de Foucault (λ_1'') tal como se expresa en la norma, son calculadas de la siguiente forma:

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$$

Para nuestro caso son cables unipolares dispuestos en tresbolillo con las pantallas en cortocircuito, y debido a que es un conductor de gran sección y de construcción segmentada no se puede despreciar el valor de las corrientes de Foucault (λ_1''), dado lo anterior la norma dispone las siguientes expresiones para su cálculo de las corrientes de circulación (λ_1') :

$$\lambda_1' = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2}$$

Donde:

R_s: Resistencia de la pantalla metálica en corriente alterna a temperatura máxima de servicio $\left[{}^{\Omega}/_{m}\right]$

θ_{sc}: Temperatura máxima de servicio de la pantalla del cable o cubierta metálica.

R_{so}: Resistencia de la cubierta metálica del cable o pantalla a 20ºC $\left[{}^{\Omega}/_{m}\right]$

X: Reactancia de la pantalla metálica $\left[{}^{\Omega}/_{m}\right]$

s: Distancia entre ejes de conductores $[mm]$

d: Diámetro medio de la pantalla metálica $[mm]$

Ahora para el cálculo de las corrientes de Foucault (λ_1''), se deben utilizar las siguientes definiciones:

$$\lambda_1'' = \frac{R_s}{R}\left[g_s\,\lambda_0\,(1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1\,t_s)^4}{12 \cdot 10^{12}}\right]$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s}\right)^{1{,}74}(\beta_1 \cdot D_s \cdot 10^{-3} - 1{,}6)$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi w}{10^7\ \rho_s}}$$

Donde:

ρ_s: Resistividad eléctrica del material que constituye la cubierta metálica a la temperatura de servicio $[\Omega/m]$

D_s: Diámetro exterior del envolvente del cable $[mm]$

t_s: Espesor de la cubierta metálica $[mm]$

Las fórmulas para el cálculo de λ_0, Δ_1 y Δ_2 se siguen las expresiones utilizadas en la norma.

Tenga en cuenta que para esta disposición se tendrá un $\lambda_2 = 0$.

2.6.5.1.5 Resistencias térmicas interiores

Para el cálculo de la resistencia térmica entre el conductor y el envolvente (T_1) se tendrá la siguiente expresión:

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2\ t_1}{d_c}\right) \left[K\ m/W\right]$$

Donde:

ρ_T: Resistencia térmica correspondiente al aislamiento.

t_1: Espesor del aislamiento entre conductor y envolvente considerando las pantallas semiconductoras $[mm]$

La resistencia térmica entre cubierta y la armadura (T_2) será nula ya que es un cable sin armadura, y la resistencia térmica del revestimiento o de la cubierta exterior (T_3) se define con la siguiente expresión:

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2\ t_3}{D'_a}\right) \left[K\ m/W\right]$$

Donde:

t_3: Espesor de la cubierta o revestimiento $[mm]$.

D'_a: Diámetro exterior de la pantalla que se encuentra bajo $[mm]$.

2.6.5.1.6 Resistencia térmica exterior

CABLES INSTALADOS EN TUBULAR HORMIGONADA

Para la realización del cálculo de la resistencia térmica del medio circundante a un cable instalado en tubular hormigonada se deben realizar tres secciones de cálculo: resistencia térmica del intervalo de aire entre la superficie del cable y la superficie interior del conducto (T'_4), resistencia térmica del material que constituye el tubo o conducto (T''_4) y la resistencia térmica entre la superficie exterior del conducto y medio ambiente (T'''_4).

$$T_4 = T'_4 + T''_4 + T'''_4$$

Primero procederemos al cálculo de la resistencia térmica del intervalo de aire entre la superficie del cable y la superficie interior del conducto (T'_4), la cual viene dada por la siguiente expresión:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JEANNEAU

$$T_4' = \frac{U}{1 + 0{,}1 \cdot (V + Y\,\theta_m) \cdot D_e}$$

Donde:

U: Constante que depende de la instalación tipo de REE, $U = 5{,}2$

V: Constante que depende de la instalación tipo de REE, $V = 1{,}1$

Y: Constante que depende de la instalación tipo de REE, $Y = 0{,}011$

D_e: Diámetro exterior del cable $[mm]$

θ_m: Temperatura media del medio que se encuentra entre el cable y el tubo.

Ahora procederemos a realizar el cálculo de la resistencia térmica del material que constituye el tubo o conducto (T_4''), la cual se encuentra definida por la siguiente expresión:

$$T_4'' = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(\frac{D_0}{D_d}\right)$$

Donde:

D_0: Diámetro exterior del conducto $[mm]$

D_d: Diámetro interior del conducto $[mm]$

ρ_T: Resistencia térmica correspondiente al aislamiento.

Finalmente se calcula la resistencia térmica entre la superficie exterior del conducto y medio ambiente (T_4'''), por lo cual seguiremos la siguiente expresión:

$$T_4''' = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(\left(u + \sqrt{u^2 - 1}\right) \cdot \left(\left(\frac{d'_{p1}}{d_{p1}}\right) \cdot \left(\frac{d'_{p2}}{d_{p2}}\right) \cdots \left(\frac{d'_{pk}}{d_{pk}}\right) \cdots \left(\frac{d'_{pq}}{d_{pq}}\right)\right)\right)$$

Donde:

ρ_T: Resistencia térmica correspondiente al aislamiento, $\rho_T = 3{,}5\ [{}^{K\,m}/_{W}]$

u: Constante que se representa con la siguiente expresión:

$$u = \frac{2L}{D_e}$$

D_e: Diámetro exterior de la tubular $[mm]$

L: Distancia de la superficie del suelo al eje del cable $[mm]$

2.6.5.2 Cálculo de la capacidad de transporte de la conexión

La capacidad de transporte de la interconexión viene dada por la expresión:

$$S = \sqrt{3} \cdot 132 \cdot I_{max}$$

2.6.5.3 Pérdidas eléctricas nominales

Están constituidas por las pérdidas dieléctricas (W_d) que fueron calculadas anteriormente y pérdidas óhmicas, por lo cual se concentran en la siguiente expresión:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$P_t = 3 \cdot (R \cdot I^2 \cdot (1 + \lambda_1) + W_d)$$

Con lo cual se tendrá hasta aquí:

Intensidad Máxima Admisible (I) [A]	**593,859**
Capacidad de transporte de la conexión [MVA]	**135,774**
Pérdidas eléctricas nominales [W/m]	**37,153**

Pérdidas dieléctricas por unidad de longitud (Wd) [W/m]	0,347
Capacidad del cable (C) [F/m]	7,92E-11
Resistencia del conductor bajo los efectos de corriente alterna (R) [Ω/m]	3,41E-05
λ1	1,09E-03
λ'1	1,09E-03
λ''1	6,14E-05
λ2	0,000
Resistividad térmica entre conductor y el envolvente (T1) [K m /W]	0,308
Resistividad térmica entre el relleno del aislamiento y la armadura (T2) [K m /W]	0,000
Resistividad térmica del revestimiento exterior del cable (T3) [K m /W]	5,20E-02
Resistencia térmica externa del cable al aire libre (T4) [K m /W]	2,622

2.6.5.4 Intensidad de corriente admisible en cortocircuito

Los cálculos vienen determinados por las Normas IEC 60949 (UNE 21192) “Cálculo de la intensidad de corriente de cortocircuito, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático” y la IEC 61443 (UNE 211003) “Límites de temperatura de cortocircuito”.

Por definición tenemos que la intensidad de cortocircuito adiabático es proporcional con la intensidad de cortocircuito, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$I_{AD} = \frac{I_{CC}}{\varepsilon}$$

A partir de la anterior expresión se puede definir la I_{CC} de la siguiente forma:

$$I_{CC} = K \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}$$

Donde:

K: Constante dependiente del material del componente conductor $\left[A \cdot \sqrt{s}/_{mm^2}\right]$

S: Sección correspondiente $[mm^2]$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

t: Duración del cortocircuito $[s]$

θ_f: Temperatura final [℃]

θ_i: Temperatura inicial [℃]

β: Inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura del componente conductor (K)

Tanto el conductor del cable como la pantalla metálica del mismo serán aptos para la intensidad de corriente de defecto del sistema de 31,5 $[kA]$ durante 0,5 $[s]$. Las temperaturas inicial y final para el caso del conductor serán de 90℃ y 250℃ respectivamente y para la pantalla metálica serán de 80℃ y 250℃ respectivamente.

Para calcular la intensidad de corriente admisible por el conductor en cortocircuito para conductores de pantalla no contiguos, se tiene en cuenta el factor de corrección no adiabático (ε)

Sustituyendo los valores anteriores, resulta para el conductor:

Intensidad de corriente admisible en Corto Circuito del conductor [kA]	**253,589**
Inversa del coeficiente de variación de resistencia K (β)	234,500

Para calcular la intensidad de corriente admisible por la pantalla en cortocircuito, se debe recalcular el factor de corrección no adiabático, y se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$\varepsilon = 1 + 0{,}61 \cdot M \cdot \sqrt{t} - 0{,}069 \cdot \left(M \cdot \sqrt{t}\right)^2 + 0{,}0043 \cdot \left(M \cdot \sqrt{t}\right)^3$$

Donde:

M: Factor que se calcula basado en las características térmicas de los materiales metálicos.

Sustituyendo los valores anteriores, resulta para la pantalla:

Intensidad de corriente admisible en Corto Circuito de la pantalla [kA]	**29,955**
Factor ξ para la pantalla	1,041
Factor M	0,095

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

ANEXO 1.2

CÁLCULOS
PARQUE 220kV

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

1 OBJETO 4

2 SUBESTACIÓN $220kV$ 5

2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS 5

2.1.1 Hipótesis de diseño. 5

2.1.2 Condiciones de la instalación 6

2.1.3 Normativa aplicable 7

2.1.4 Características de los materiales / equipos a instalar 7

2.1.5 Cálculo mecánico del embarrado PRINCIPAL. 8

2.1.5.1 Cálculo Corriente de cortocircuito 8

2.1.5.2 Tensión en el tubo 9

2.1.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte 13

2.1.5.4 Flecha en el tubo 14

2.1.5.5 Elongación del embarrado 14

2.1.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito 15

2.1.5.7 Intensidad nominal de las barras 15

2.1.6 Cálculo mecánico del embarrado SECUNDARIO 16

2.1.6.1 Corriente de cortocircuito 16

2.1.6.2 Tensión en el tubo 16

2.1.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte 20

2.1.6.4 Flecha en el tubo 21

2.1.6.5 Elongación del embarrado 21

2.1.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito 22

2.1.6.7 Intensidad nominal de las barras 22

2.2 CÁLCULOS DE EFECTO CORONA. 23

2.2.1 Cálculo de la tensión disruptiva. 23

2.3 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE EMBARRADOS TENDIDOS 24

2.3.1 Hipótesis de diseño 24

2.3.2 Normativa aplicable 25

2.3.3 Desplazamiento del vano con viento 26

2.3.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito 27

2.3.5 Aproximación de conductores 29

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado:11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUKNEA

2.3.6 Distancia entre fases en cortocircuito 30
2.3.7 Distancias mínimas a adoptar 31
2.3.8 Efectos sobre conductores en haz 31
2.4 RED DE TIERRAS INFERIORES 32
2.5 RED DE TIERRAS SUPERIORES 38
2.6 CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS APLICABLES A LA LINEA DE $\mathbf{220}\ \boldsymbol{kV}$ DE INTERCONEXION ENTRE PARQUES 40
2.6.1 Características eléctricas. 40
2.6.2 Datos térmicos de funcionamiento. 40
2.6.3 Sistema de puesta a tierra de las pantallas metálicas. 40
2.6.4 Cable de potencia. 41
2.6.5 Sistemas de puesta a tierra de las pantallas metálicas 42
2.6.5.1 Intensidad de corriente admisible en régimen permanente. 42
2.6.5.2 Cálculo de la capacidad de transporte de la conexión 46
2.6.5.3 Pérdidas eléctricas nominales 46
2.6.5.4 Intensidad de corriente admisible en cortocircuito 47

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11629. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

1 OBJETO

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

Este documento incluye la justificación de los siguientes elementos:

- Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados rígidos.
- Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados tendidos.
- Determinación de efecto corona.
- Red de tierras inferiores.
- Red de tierras superiores.
- Cálculos eléctricos de la línea de 220 $[kV]$ de interconexión entre parque y transformador de distribución.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2 SUBESTACIÓN $\mathbf{220[kV]}$

2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS

2.1.1 Hipótesis de diseño.

La corriente de cortocircuito trifásica prevista en el horizonte 2020 es de 9,37$[kA]$. Para permitir evoluciones futuras del sistema eléctrico sin impacto en la nueva subestación, se adoptan los siguientes valores de diseño:

Icc simétrica (Ik'') [kA]	50
R/X (sistema) [Ω/m]	0,07
Duración del cortocircuito (Tk) [seg]	0,5

Conductor rígido.

Se van a realizar interconexiones con dos tipos de tubos:

Tubo en embarrado principal	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	150
Diámetro interior (d) [mm]	134

Tubo en embarrado secundario	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	100
Diámetro interior (d) [mm]	88

Condiciones del vano.

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

Vano A (Barras principales)	
Longitud de vano [m]	13,5
Distancia entre fases [m]	3,5
Anclajes	Fijo - Elástico
Vano B (Conexión entre aisladores soporte)	
Longitud de vano [m]	7

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Distancia entre fases [m]	4
Anclajes	Fijo - Elástico

2.1.2 Condiciones de la instalación

La altura a la que se encuentra la subestación sobre el nivel del mar demarca la zona en la que se encuentra según la norma “ITC-LAT 2013”, a partir de esto se realizan las consideraciones dependientes a la climatología que indican las normas “ITC-LAT 2013” y “EN 50341-1-2012”

- Sobrecarga debida al Hielo: para la consideración de este parámetro se utilizará la siguiente expresión que es proporcionada por la norma:

$$Sobrecarga\ debida\ al\ Hielo = P_1 \cdot \sqrt{d_{exterior}}\ \left[{}^{kg}/_{m}\right]$$

Donde:

P_1: Parámetro que varía entre (0, 0,18 y 0,36) dependiendo de la altitud de la subestación.

$d_{exterior}$: Diámetro exterior del tubo.

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Coeficiente de norma (P1)	0,000
Sobrecarga debida al Hielo Vano A [kg/m]	0,000
Sobrecarga debida al Hielo Vano B [kg/m]	0,000

- Presión de viento: para la consideración de este parámetro se deben llevar a cabo la determinación de la densidad del aire a la altura correspondiente y la velocidad máxima del viento que se tendrá como parámetro, y las expresiones correspondientes son:

$$P_{viento} = \frac{1}{2}\rho\, V_h^2\ \left[{}^{N}/_{m^2}\right]$$

Donde:

ρ: Densidad del aire a la altura determinada, se define por medio de la siguiente expresión:

$$\rho = \rho_{aire}\frac{288}{T'}e^{-1{,}2\cdot10^{-4}\cdot H}\ \left[{}^{kg}/_{m^3}\right]$$

T': Diferencia de temperatura ambiente a la temperatura en servicio.

H: Altura a la que se encuentra la subestación.

V_h: Velocidad de viento máxima dada por la norma por el nivel de tensión, $V_h = 140\,{}^{Km}/_{h}$

Con lo cual tendremos que:

Densidad del aire calculada (ρ) [kg/m3]	1,117
Presión del viento (N/m2)	844,283

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ DOMINEAU

2.1.3 Normativa aplicable

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 337/2014 de 9 de mayo y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.
- Norma UNE EN 60865-1:2013, Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- Norma UNE-EN-60909-0:2016 Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 0: Cálculo de corrientes.
- Norma DIN 43670.

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

2.1.4 Características de los materiales / equipos a instalar

Conductor rígido	
Tubo en embarrado principal	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	150
Diámetro interior (d) [mm]	134
Espesor de la pared (e) [mm]	8
Peso propio unitario (Ppt) [kg/m]	9,64
Sección (A) [mm2]	3569
Carga de rotura del material (a_R) [N/mm2]	195
Momento de inercia (J) [cm4]	902
Momento resistente (W) [cm3]	120
Módulo de elasticidad (Young) (E) [N/mm2]	70000
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160
Coeficiente de dilatación lineal (s) [1/ºK]	0,000023
Intensidad máxima [A]	3250
Densidad de corriente en cortocircuito del tubo [A/mm2]	116
Tubo en embarrado secundario	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	100

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Diámetro interior (d) [mm]	88
Espesor de la pared (e) [mm]	6
Peso propio unitario (Ppt) [kg/m]	4,78
Sección (A) [mm2]	1772
Carga de rotura del material (a_R) [N/mm2]	195
Momento de inercia (J) [cm4]	197
Momento resistente (W) [cm3]	39
Módulo de elasticidad (Young) (E) [N/mm2]	70000
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160
Coeficiente de dilatación lineal (s) [1/K]	0,000023
Intensidad máxima [A]	2040
Densidad de corriente en cortocircuito del tubo [A/mm2]	116

Características de los aisladores soporte

En los tramos del vano A y vano B correspondientes a las barras principales y secundarias respectivamente, se instalan aisladores de las siguientes características mecánicas:

Características de los aisladores soporte	
Aisladores (Vano A, principal)	
Carga de rotura a flexión [N]	10000
Carga de rotura a torsión [N]	4000
Altura del aislador [mm]	2300
Altura de la pieza soporte [mm]	170
Aisladores (Vano B, secundario)	
Carga de rotura a flexión [N]	6000
Carga de rotura a torsión [N]	3000
Altura del aislador [mm]	2300
Altura de la pieza soporte [mm]	140

2.1.5 Cálculo mecánico del embarrado PRINCIPAL.

2.1.5.1 Cálculo Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico ($I_k^{"}$) a efectos de diseño es de 50 [kA] en el parque de 220 [kV].

La intensidad de cresta, (Según la norma “UNE-EN 60909-0-2012”) tiene un valor de:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$I_P = \kappa \sqrt{2}\, I_k^{''}\ [kA]$$

Donde:

κ: Factor de la intensidad pico definido por la siguiente expresión:

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98\, e^{-3\,(R/X)}$$

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

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Intensidad de Cresta (kA)	**102,636**
Factor k	1,814

2.1.5.2 Tensión en el tubo

Esfuerzo por viento F_V:

$$F_V = P_{viento} \cdot d_{exterior}\ [N/m]$$

Esfuerzo por peso propio F_{pp}:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g\ [N/m]$$

Donde la gravedad está definida como $g = 9{,}81\ m/s^2$ y P_{pt} es el peso propio unitario de conductor rígido.

Esfuerzo por peso del cable amortiguador F_{pa}:

$$F_{pa} = \frac{4}{3}(Peso\ del\ cable\ amortiguador) \cdot g\ [N/m]$$

Donde el peso del cable amortiguador viene dado para los cuatro tercios de cable.

Esfuerzo por peso Total F_p:

$$F_p = F_{pp} + F_{pa}\ [N/m]$$

Esfuerzos por hielo F_h:

$$F_h = P_1 \cdot g \cdot \sqrt{d_{exterior}}\ [N/m]$$

Donde:

P_1 : Parámetro que varía entre (0, 0,18 y 0,36) dependiendo de la altitud de la subestación.

$d_{exterior}$: Diámetro exterior del tubo.

Esfuerzos por cortocircuito F_s:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión dada por la norma “UNE-EN 60865-1-2013”:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$F_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu_0}{a \cdot \pi} (I_p)^2 \quad [N/m]$$

Donde:

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío $\left(4\pi \cdot 10^{-7} \left[N/A^2\right]\right)$.

a: Distancia media entre fases.

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

V_σ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico.

V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche.

La frecuencia de vibración de un tubo está definida como:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}} \quad [Hz]$$

Donde:

I : Inercia de la sección del tubo.

m: Masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador.

E: Módulo de Young del material.

l: Longitud del vano.

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

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema $\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$ establece los valores de V_σ y V_r de la siguiente forma:

En estas condiciones se presentan las siguientes expresiones:

$$V_\sigma = 0{,}756 + 4{,}49 \cdot e^{-1{,}68 \cdot X} + 0{,}54 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

$$V_r = 1 - 0{,}615 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

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

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \left(\frac{F_s \cdot l^2}{8 \cdot W}\right) \left[N/mm^2\right]$$

Donde:

β: Coeficiente dependiente del tipo y número de soportes, ver Figura1.

W : Módulo resistente de la sección del tubo.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

$$\sigma_i = \frac{1}{8} \cdot \frac{P \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$$

Donde:

l: Longitud del vano.

W: Módulo resistente de la sección.

P: Carga repartida que produce el esfuerzo.

Por lo tanto se tendrá:

Por viento: $\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$

Por peso propio: $\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$

Por hielo: $\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_h \cdot l^2}{W} \quad \left[N/mm^2\right]$

La tensión máxima tendrá un valor de:

$$\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + \left(\sigma_p + \sigma_h\right)^2} \quad \left[N/mm^2\right]$$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia está expresado como:

$$Coeficiente\ de\ Seguridad = \frac{R_{po2}}{\sigma_{to}}$$

Como resultado a las anteriores definiciones se tendrá el siguiente resultado:

Esfuerzos por viento (Fv) [N/m]	126,643
Esfuerzos por peso propio (Fpp) [N/m]	94,568
Esfuerzo por el peso del Cable amortiguador (Fpa) [N/m]	20,928
Esfuerzo por peso total (Fp) [N/m]	115,496
Esfuerzo por Hielo (Fh) [N/m]	0,000
Esfuerzo por cortocircuito (Fs) [N/m]	521,309
Frecuencia de vibración de un tubo (Fc) [Hz]	2,205
Factor de efecto dinámico (Vσ)	0,237
Factor de reenganche (Vϒ)	1,834
Tensión de trabajo en el tubo DINÁMICO (σm) [N/mm2]	43,010
Tensión de trabajo de viento (σv) [N/mm2]	24,042

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	67,052
Tensión de trabajo de peso propio (σp) [N/mm2]	21,926
Tensión de trabajo por hielo (σh) [N/mm2]	0,000
Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	70,546
Coeficiente de seguridad	**2,268**

En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma "UNE-EN 60865-1-2013" establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumplen las siguientes condiciones:

1. $\sigma_{to} \leq q \cdot R_{po2}$

Donde:

R_{po2}: Límite de fluencia mínimo del material $\left[{}^{N}/_{mm^2}\right]$

q: Factor de resistencia del conductor, se calcula de la siguiente forma según la norma:

$$q = 1{,}7\ \frac{1-\left(1-\frac{2t}{d_{exterior}}\right)^3}{1-\left(1-\frac{2t}{d_{exterior}}\right)^4}$$

$$t = d_{exterior} - d_{interior}$$

Con lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	70,55
Factor de resistencia del conductor (q)	1,414
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) * Factor de resistencia del conductor (q)	226,218

Cumple la condición 1.

2. $\sigma_v + \sigma_m \leq R_{po2}$

Se tienen los siguientes resultados:

Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	67,052
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160,000

Cumple la condición 2.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.1.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según la norma “UNE-EN 60865-1-2013”.

Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Así,

Viento sobre el tubo (F_v , Calculada anteriormente), Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = F_s \cdot V_\sigma \cdot V_r \ \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos se expresará de la siguiente forma:

$$F_t = 2 \cdot l \cdot \alpha \cdot (F_{da} + F_v) \ \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

Donde α está definida por el tipo de viga y de soporte, como se presenta en la Figura1.

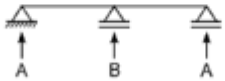
Tipo de viga y de soporte			Factor α	Factor β*	Factor γ
Vigas de un solo vano	A y B: soportes simples		A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: soporte empotrado B: soporte simple		A: 0,625 B: 0,375	$\frac{8}{11}=0,73$	2,45
	A y B: soportes empotrados		A: 0,5 B: 0,5	$\frac{8}{16}=0,5$	3,56
Vigas continua con soportes simples equidistantes	Dos vanos		A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11}=0,73$	2,45
	Tres o más vanos		A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11}=0,73$	3,56
* Se incluyen los efectos de plasticidad.					

Figura 1. Factores α, β y ϒ para diferentes disposiciones de apoyos de embarrados.

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 170 $[mm]$ por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto se realiza el cálculo del esfuerzo en el punto de garantía (F'_t):

$$F'_t = F_t \cdot \frac{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador) + 170 \cdot (Cantidad\ de\ piezas)}{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador)} \ [N]$$

El aislador debe cumplir con las condiciones que en las peores condiciones presenten un coeficiente de seguridad frente a la carga de rotura de 1,15, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\frac{Carga\ de\ rotura\ de\ flexión\ del\ Aislador}{F'_t}$$

Se tienen los siguientes resultados:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Esfuerzos por viento en soporte central (Fv) [N]	126,643
Esfuerzos por cortocircuito en soporte central (Fda) [N]	226,555
Factor α	0,500
Esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos (Ft) [N]	4768,160
Esfuerzo total en la punta del aislador (F't) [N]	5120,589
Carga de rotura flexión aislador	1,953

2.1.5.4 Flecha en el tubo

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

$$f = \propto_f \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot J} \cdot 100 \quad [cm]$$

Donde:

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

l: Longitud del vano $[m]$

E: Módulo de elasticidad del material $[N/mm2]$

J: Momento de inercia de la sección $[cm^4]$

$\propto_f$: Factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

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

Fecha en el tubo [cm]	12,07705087

2.1.5.5 Elongación del embarrado

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

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Donde:

l_0: Longitud inicial del tubo $[m]$.

α : Coeficiente de dilatación lineal del tubo, donde $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}\ [1/K]$.

$\Delta\theta$: Incremento de temperatura entre la de montaje (35ºC) y la de servicio (80ºC).

Tendiendo como resultado:

Elongación del Embarrado (ΔL) [mm]	98,786

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

2.1.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

La intensidad térmica en cortocircuito (I_{th}) viene dada según la norma "UNE-EN 60865-1-2013" mediante la siguiente expresión:

$$I_{th} = I_k^{"}\sqrt{m+n}$$

Donde:

m: Coeficiente térmico de disipación, está determinado por la siguiente expresión:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1)}\left[e^{(4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1))} - 1\right]$$

n: Coeficiente térmico de disipación, que para las configuraciones que REE utiliza será 1.

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ_c = 116 $\left[{}^{A}/_{mm^2}\right]$ de (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica se define por medio de la expresión ($S \cdot \rho_c$), por lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Coeficiente (m)	8,54E-04
Coeficiente (n)	1,000
Capacidad térmica del tubo [kA]	414,004
Intensidad térmica en corte circuito (Ith) [kA]	40,017

Se puede apreciar que la capacidad térmica del tubo es muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

2.1.5.7 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido (I_{tubo}), está dada según el fabricante con 30 ℃ de temperatura ambiente y 65 ℃ de temperatura de trabajo del tubo.

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

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

K_1 = 0,96 - Por la aleación elegida.

K_2 = 1,34, Para temperatura final de 80 ℃.

K_3 = 0,75, Por ser tubería.

K_4 = 1, El factor K_4 solo se aplica si no hay bifurcación en una longitud de al menos 2 [m].

K_5 = 0,98, Para instalación a menos de 1.000 [$m.s.n.m$].

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Según la citada norma la intensidad máxima será:

$$I_{max} = I_{tubo} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Y tendremos los siguientes resultados:

Imax [A]	3072,888
Potencia [MVA]	1170,928

Por lo que tenemos una Capacidad superior a la necesaria.

2.1.6 Cálculo mecánico del embarrado SECUNDARIO

2.1.6.1 Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico ($I_k^{"}$) a efectos de diseño es de 50 $[kA]$ en el parque de 220 $[kV]$.

La intensidad de cresta, (Según la UNE-EN 60909-0-2012) vale:

$$I_P = \kappa \sqrt{2}\, I_k^{"}\ [kA]$$

Donde:

κ: Factor de la intensidad pico definido por la siguiente expresión:

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98\, e^{-3\,(R/X)}$$

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

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Intensidad de Cresta (kA)	**102,636**
Factor k	1,814

2.1.6.2 Tensión en el tubo

Esfuerzo por viento F_V:

$$F_V = P_{viento} \cdot d_{exterior}\ [N/m]$$

Esfuerzo por peso propio F_{pp}:

$$F_{pp} = P_{pt} \cdot g\ [N/m]$$

Donde la gravedad está definida como $g = 9{,}81\ m/s^2$ y P_{pt} es el peso propio unitario de conductor rígido.

Esfuerzo por peso del cable amortiguador F_{pa}:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

$$F_{pa} = \frac{4}{3}(Peso\ del\ cable\ amortiguador) \cdot g \quad [N/m]$$

Donde el peso del cable amortiguador viene dado para los cuatro tercios de cable.

Esfuerzo por peso Total F_p:

$$F_p = F_{pp} + F_{pa} \quad [N/m]$$

Esfuerzos por hielo F_h:

$$F_h = P_1 \cdot g \cdot \sqrt{d_{exterior}} \quad [N/m]$$

Donde:

P_1 : Parámetro que varía entre (0, 0,18 y 0,36) dependiendo de la altitud de la subestación.

$d_{exterior}$: Diámetro exterior del tubo.

Esfuerzos por cortocircuito F_s:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión dada por la norma “UNE-EN 60865-1-2013”:

$$F_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\mu_0}{a \cdot \pi} (I_p)^2 \quad [N/m]$$

Donde:

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío $\left(4\pi \cdot 10^{-7} \left[N/A^2\right]\right)$.

a: Distancia media entre fases.

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

V_σ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico.

V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche.

La frecuencia de vibración de un tubo está definida como:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}} \quad [Hz]$$

Donde:

I : Inercia de la sección del tubo.

m: Masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador.

E: Módulo de Young del material.

l: Longitud del vano.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JIMÉNEZ

Sustituyendo y operando:

$$f_c = 5{,}442\ [Hz]$$

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema $\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$, establece los valores de V_σ y V_r.

En estas condiciones se presentan las siguientes expresiones:

$$V_\sigma = 0{,}756 + 4{,}49 \cdot e^{-1{,}68 \cdot X} + 0{,}54 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

$$V_r = 1 - 0{,}615 \cdot \log\left(\frac{f_c}{50\ Hz}\right)$$

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

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \left(\frac{F_s \cdot l^2}{8 \cdot W}\right) \quad \left[N/_{mm^2}\right]$$

Donde:

β: Coeficiente dependiente del tipo y número de soportes, ver Figura1.

W : Módulo resistente de la sección del tubo.

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

$$\sigma_i = \frac{1}{8} \cdot \frac{P \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$$

Donde:

l: Longitud del vano.

W: Módulo resistente de la sección.

P: Carga repartida que produce el esfuerzo.

Por lo tanto se tendrá:

Por viento: $\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$

Por peso propio: $\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$

Por hielo: $\sigma_h = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_h \cdot l^2}{W} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$

La tensión máxima tendrá un valor de:

$$\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} \quad \left[N/_{mm^2}\right]$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia está expresado como:

$$Coeficiente\ de\ Seguridad = \frac{R_{po2}}{\sigma_{to}}$$

Como resultado a las anteriores definiciones se tendrá el siguiente resultado:

Esfuerzos por viento (Fv) [N/m]	84,428
Esfuerzos por peso propio (Fpp) [N/m]	46,892
Esfuerzo por el peso del Cable amortiguador [N/m]	10,464
Esfuerzo por peso total (Fp) [N/m]	57,356
Esfuerzo por Hielo (Fh) [N/m]	0,000
Fuerza por cortocircuito (Fs) [N/m]	456,146
Frecuencia de vibración de un tubo (Fc) [Hz]	5,442
Factor de efecto dinámico (Vσ)	0,449
Factor de reenganche (Vϒ)	1,592
Tensión de trabajo en el tubo DINÁMICO (σm) [N/mm2]	51,209
Tensión de trabajo de viento (σv) [N/mm2]	13,260
Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	64,469
Tensión de trabajo de peso propio (σp) [N/mm2]	9,008
Tensión de trabajo por hielo (σh) [N/mm2]	0,000
Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	65,095
Coeficiente de seguridad	**2,458**

En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma “UNE-EN 60865-1-2013” establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumplen las siguientes condiciones:

1. $\sigma_{to} \leq q \cdot R_{po2}$

Donde:

q: Factor de resistencia del conductor, se calcula de la siguiente forma según la norma:

$$q = 1{,}7\ \frac{1 - \left(1 - \frac{2t}{d_{exterior}}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2t}{d_{exterior}}\right)^4}$$

$$t = d_{exterior} - d_{interior}$$

Con lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm2]	65,095
Factor de resistencia del conductor (q)	1,431

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) * Factor de resistencia del conductor (q)	228,997

Cumple la condición 1.

2. $\sigma_v + \sigma_m \leq R_{po2}$

Se tienen los siguientes resultados:

Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm2]	64,469
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160,000

Cumple la condición 2.

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

2.1.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según la norma “UNE-EN 60865-1-2013”.

Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Así,

Viento sobre el tubo (F_v , Calculada anteriormente), Esfuerzo en cortocircuito que según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = F_s \cdot V_\sigma \cdot V_r \ \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos se expresará de la siguiente forma:

$$F_t = 2 \cdot l \cdot \alpha \cdot (F_{da} + F_v) \quad \left[{}^{N}/_{m}\right]$$

Donde α está definida por el tipo de viga y de soporte, como se presenta en la Figura1.

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 170 $[mm]$ por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto se realiza el cálculo del esfuerzo en el punto de garantía (F'_t):

$$F'_t = F_t \cdot \frac{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador) + 170 \cdot (Cantidad\ de\ piezas)}{2.300 \cdot (Altura\ del\ Aislador)} \quad [N]$$

El aislador debe cumplir con las condiciones que en las peores condiciones presenten un coeficiente de seguridad frente a la carga de rotura de 1,15, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\frac{Carga\ de\ rotura\ de\ flexión\ del\ Aislador}{F'_t}$$

Se tienen los siguientes resultados:

Esfuerzos por viento en soporte central (Fv) [N]	84,428
Esfuerzos por cortocircuito en soporte central (Fda) [N]	326,066

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11529. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Factor α	0,500
Esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos (Ft) [N]	2873,459
Esfuerzo total en la punta del aislador (F't) [N]	3085,845
Carga de rotura flexión aislador	1,944

2.1.6.4 Flecha en el tubo

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

$$f = \propto_f \cdot \frac{P \cdot l^2}{E \cdot J} \cdot 100 \quad [cm]$$

Donde:

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

l: Longitud del vano $[m]$

E: Módulo de elasticidad del material $[N/mm2]$

J: Momento de inercia de la sección $[cm^4]$

$\propto_f$: Factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

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

Fecha en el tubo [cm]	4,645667706

2.1.6.5 Elongación del embarrado

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

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$$

Donde:

l_0: Longitud inicial del tubo $[m]$.

α: Coeficiente de dilatación lineal del tubo, donde $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}\ [1/K]$.

$\Delta\theta$: Incremento de temperatura entre la de montaje (35ºC) y la de servicio (80ºC).

Elongación del Embarrado (ΔL) [mm]	51,222

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.1.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito

La intensidad térmica en cortocircuito (I_{th}) viene dada según la norma "UNE-EN 60865-1-2013" mediante la siguiente expresión:

$$I_{th} = I_k^{"}\sqrt{m+n}$$

Donde:

m: Coeficiente térmico de disipación, está determinado por la siguiente expresión:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1)}\left[e^{(4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(k-1))} - 1\right]$$

n: Coeficiente térmico de disipación, que para las configuraciones que REE utiliza será 1.

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ_c = 116 $\left[{}^{A}/_{mm^2}\right]$ de (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica se define por medio de la expresión ($S \cdot \rho_c$), por lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Coeficiente (m)	8,54E-04
Coeficiente (n)	1,000
Capacidad térmica del tubo [kA]	205,552
Intensidad térmica en corte circuito (Ith) [kA]	40,017

Se puede apreciar que la capacidad térmica del tubo es muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

2.1.6.7 Intensidad nominal de las barras

La intensidad nominal teórica del tubo elegido (I_{tubo}), está dada según el fabricante con 30 ℃ de temperatura ambiente y 65 ℃ de temperatura de trabajo del tubo.

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

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

K_1 = 0,96 - Por la aleación elegida.

K_2 = 1,34, Para temperatura final de 80 ℃.

K_3 = 0,75, Por ser tubería.

K_4 = 1, El factor K_4 solo se aplica si no hay bifurcación en una longitud de al menos 2 [m].

K_5 = 0,98, Para instalación a menos de 1.000 [$m.s.n.m$].

Según la citada norma la intensidad máxima será:

$$I_{max} = I_{tubo} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALO JOUANNEAU

Y tendremos los siguientes resultados:

Imax [A]	1928,828
Potencia [MVA]	734,982

Tenemos una Capacidad superior a la necesaria.

2.2 CÁLCULOS DE EFECTO CORONA.

2.2.1 Cálculo de la tensión disruptiva.

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

$$U_c = \rho \cdot m_0 \cdot \frac{E_o}{\sqrt{2}} \cdot R \cdot ln\left(\frac{GMD}{R}\right)$$

Donde:

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

R: Radio exterior del tubo en $[cm]$; para tubo de 150 $[mm]$ toma un valor de 7,5 y para tubo de 100 toma un valor de 5 .

GMD: Distancia media geométrica entre conductores en $[cm]$. Dado que se encuentran situados en un mismo plano y partiendo de que estén equidistantes entre si X $[cm]$:

$$GMD = \sqrt[3]{X \cdot X \cdot 2 \cdot X} = \sqrt[3]{2} \cdot X$$

$$GMD = 1{,}26 \cdot X \ [cm]$$

δ : Densidad del aire. Según la norma “EN 50341-1-2012” La densidad del aire se representa a través de la siguiente expresión:

$$\rho = \rho_0 \frac{288}{T_c} e^{(-1{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot H)}$$

Donde H es la altura, T_c es el incremento de la temperatura desde el montaje hasta la puesta en servicio, ρ_0 es la densidad del aire estándar con valor 1,225 $\left[{kg}/{m^3}\right]$.

E_0: Valor eficaz de campo eléctrico crítico para la aparición del efecto corona. Para conductores paralelos el valor máximo de campo viene dado por:

$$E_0 = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot E_1 \cdot \left(1 + \frac{C_1}{\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0} + R}}\right)$$

Donde:

E_1: Campo eléctrico disruptivo del aire $\left(E_1 = 30 \left[{kV}/{cm}\right]\right)$

C_1: Constante dimensional empírica $\left(C_1 = 0{,}301 \left[\sqrt{cm}\right]\right)$

Atendiendo a las anteriores definiciones se tienen los siguientes resultados:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Efecto Corona VANO A	
Factor de corrección de la densidad del aire	0,911
Coeficiente de rugosidad del conductor (mo)	1,000
RMG (r) [cm]	7,500
DMG [cm]	440,972
Campo Eléctrico crítico (Eo) [kV/cm]	30,491
Tensión crítica disruptiva (Uc) [kV]	600,458
Efecto Corona VANO B	
Factor de corrección de la densidad del aire	0,911
Coeficiente de rugosidad del conductor (mo)	1,000
RMG (r) [cm]	5,000
DMG [cm]	503,968
Campo Eléctrico crítico (Eo) [kV/cm]	31,199
Tensión crítica disruptiva (Uc) [kV]	463,783

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

Tensión crítica disruptiva Embarrado A (Uc) [kV]	480,367
Tensión crítica disruptiva Embarrado B (Uc) [kV]	371,026

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

Como se ve los valores obtenidos están muy alejados de la tensión eficaz entre fase y tierra de los conductores (142 $[kV]$ para 245 $[kV]$) por lo que no es de esperar que el efecto corona se produzca.

2.3 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE EMBARRADOS TENDIDOS

2.3.1 Hipótesis de diseño

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

Longitud de vano (L) [m]	45

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Flecha máxima (al 3%) [m]	1,20
Tipo de conductor	Dúplex RAIL
Cantidad de subconductores (n)	2
Diámetro del conductor (ø)/(d) [mm]	29,61
Sección del conductor (As) [mm2]	516,8
Peso propio del conductor (ms) [kg/m]	1,6
Módulo de elasticidad (E) [N/mm2]	61000
Distancia entre fases (a) [m]	4
Longitud media de cadenas [m]	4
Separación entre conductores de la misma fase (as) (mm)	400
Rigidez de los soportes (S) [N/m]	75000
Tiempo de despeje de defecto (Tk1) [seg]	1
Intensidad de cortocircuito (Ik3) [kA]	40
Relación R/X del sistema	0
Tensión máxima a 50°C [kg]	676
Fuerza de tensión máxima en el cable a 50°C (Fst) [N]	6631,56
Radio medio geométrico (GMR) [mm]	76,955
Distancia media geométrica (GMD) (Ls) [m]	5,04

Se comprobará además, el desplazamiento máximo en cortocircuito y la pérdida de distancia que esto produce, de acuerdo con lo estipulado en la norma “UNE-EN 60865-1-2013”.

2.3.2 Normativa aplicable

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 337/2014 de 9 de mayo y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.
- Norma UNE EN 60865-1:2013, Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- Norma UNE-EN-60909-0:2016 Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 0: Cálculo de corrientes.
- Norma DIN 43670.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.3.3 Desplazamiento del vano con viento

La presión sobre el conductor debida al efecto del viento, según RLAT para conductores de diámetro mayor a 16 $[mm]$ está dado por la siguiente ecuación:

$$P = 50\left(\frac{V_v}{120}\right)^2$$

Donde V_v es la velocidad máxima de viento, y nuestro diseño esta supuesto con una velocidad de viento máxima de 140$\left[{}^{km}/_{h}\right]$.

Para este caso, tendremos en cuenta la fuerza del viento (F_v) que se ejerce de forma directa sobre el diámetro de cada conductor, y tendremos:

$$F_v = P \cdot D_{conductor}$$

Donde $D_{conductor}$ es el diámetro del conductor.

Ahora se procederá a realizar el cálculo de la distancia mínima entre conductores, el cual se realizará por medio del desplazamiento máximo del conductor (d_{max}) y del ángulo de oscilación (θ), estos están dados por:

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{F_v}{Peso\ del\ conductor}\right)$$

$$d_{max} = f_{max}\ sen(\theta)$$

En estas condiciones, dada la escasa probabilidad de simultaneidad de viento y sobretensión, la distancia entre los conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuito entre fases, teniendo presente los efectos de oscilaciones de los conductores debidas al viento y al desprendimiento de la nieve acumulada entre ellos.

Con este objeto, la separación mínima entre conductores de fase se determinará según la norma “ITC LAT_07_OCT13” por la formula siguiente:

$$D_{min} = K\sqrt{F + L} + K'D_{PP}$$

Donde:

K: Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

K': Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea y ángulo de oscilación.

F: Flecha máxima.

L: Longitud de la cadena de suspensión (si se posee).

D_{PP}: Distancia mínima aérea especificada para prevenir una descarga disruptiva entre conductores durante sobretensiones de frente lento o rápido.

Por medio de las anteriores definiciones se tendrá:

Presión del viento sobre el conductor (Pv) [kg/m2]	68,056
Fuerzas del viento sobre los conductores (Fv) [kg/m]	2,015

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Ángulo de oscilación de desplazamiento (Θ) [Grados]	51,551
Coeficiente K	0,650
Coeficiente Dpp	2,000
Desplazamiento del conductor (dmax) [m]	0,940
Distancia mínima entre conductores (Dmin) [m]	2,412

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

2.3.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito

Dimensiones y parámetros característicos.

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

$$F' = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot 0{,}75 \cdot \frac{I_{k3}^2}{a} \cdot \frac{l_c}{l}$$

Donde:

I_{k3}: Corriente simétrica de cortocircuito trifásico.

l_c: Longitud del vano sin cadenas.

l: Longitud total del vano.

a: Separación entre fases.

μ_0: Permeabilidad magnética del vacío $\left(4\,\pi * 10^{-7}\left[{}^{N}/_{A^2}\right]\right)$.

La proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito tendrá un valor de:

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

Donde:

n: Número de conductores por fase.

m_s: Peso de uno de los conductores.

g: Aceleración de la gravedad $\left(9{,}81\left[{}^{m}/_{s^2}\right]\right)$

La dirección resultante de la fuerza sobre el conductor será:

$$\delta_1 = arctg\,(r)$$

La flecha estática en el conductor tendido tendrá un valor de:

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

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

Para esta flecha, el periodo de oscilación tendrá el siguiente valor:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

El período resultante en caso de cortocircuito valdrá:

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

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

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

Donde:

σ_{fin}: tiene un valor de $5 \cdot 10^7 \left[{}^{N}/_{m^2}\right]$ (menor valor de la tensión de mecánica del conductor cuanto E llega a ser constante)

A_s: Sección de un conductor.

n: Número de conductores por haz.

El factor de tensión mecánica del conductor se define como:

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

Donde N es la Norma de rigidez del sistema mecánico compuesto, que se define por la siguiente expresión:

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

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

$$\delta_{end} = \begin{cases} \delta_1\left[1 - \cos\left(360\frac{T_{k1}}{T_{res}}\right)\right] & para \quad 0 \le \frac{T_{k1}}{T_{res}} \le 0{,}5 \\ 2\,\delta_1 & para \quad \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0{,}5 \end{cases}$$

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

$$\delta_{max} = \begin{cases} 1{,}25\,arcos\,\chi & si \quad 0{,}766 \le \chi \le 1 \\ 10° + arcos\,\chi & si \quad -0{,}985 \le \chi \le 0{,}766 \\ 180° & si \quad \chi \le -0{,}985 \end{cases}$$

Con

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

Por lo tanto se tendrán los siguientes datos:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Carga electromagnética sobre conductores principales (F') [N/m]	49,333
Relación entre la fuerza electromagnética y la de gravedad sobre el conductor (r)	1,572
Dirección de la fuerza resultante sobre el conductor (∫1) [grados]	57,530
Flecha estática equivalente del conductor (bc) [m]	1,198
Periodo de oscilación del conductor (T) [segundos]	1,964
Periodo de oscilación del conductor en cortocircuito (Tres) [segundos]	1,439
σ fin [N/m2]	5,00E+07
Módulo de Young real (Eeff) [10^10 N/m2]	2,68
Norma de rigidez (N) [1/N]	3,32E-07
Factor de tensión mecánica del conductor principal (ξ)	0,858
Ángulo en relación a su posición régimen permanente (∫end) [grados]	90,592
Coeficiente (X)	-0,572
Ángulo de oscilación calculado (∫max) [grados]	134,857

Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito

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

$$F_{t,d} = F_{st}(1 + \psi \cdot \varphi)$$

Donde:

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

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

$$\varphi = \begin{cases} 3\left(\sqrt{1 + r^2} - 1\right) & si \quad T_{k1} \geq T_{res}/4 \\ 3(r\ sen\delta_{end} + \cos\delta_{end} - 1) & si \quad T_{k1} < T_{res}/4 \end{cases}$$

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

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

2.3.5 Aproximación de conductores

El valor del desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito:

$$b_h = \begin{cases} C_f \cdot C_d \cdot b_c sen\delta_1 & si \quad \delta_{max} \geq \delta_1 \\ C_f \cdot C_d \cdot b_c sen\delta_{max} & si \quad \delta_{max} < \delta_1 \end{cases}$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANEAU

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

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

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

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

La deformación elástica viene dada por:

$$\varepsilon_{ela} = \left(F_{t,d} - F_{st}\right) \cdot N$$

Y la deformación térmica:

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

Y así, tendremos los siguientes resultados:

Parámetro de carga (Φ)	2,588
Fuerza de tracción (Ft,d) [N]	15089,501
Valor de Ψ	0,493
Coeficiente de Expansión elástica (Eela)	2,81E-03
Coeficiente térmico del cable (Cth) [m4/A2s]	2,70E-19
Coeficiente de Expansión térmica (Eth)	1,45E-04
Incremento de la flecha causado por alargamiento elástico y térmico (Cd)	1,000
Incremento de la flecha dinámica del conductor por el cambio de forma de curva (Cf)	1,127
Flecha dinámica resultante (Fed) [m]	1,351
Fuerza de tracción por caída después del cortocircuito (Fs,t)[N]	19721,873
Desplazamiento horizontal del vano (bh) [m]	1,140

2.3.6 Distancia entre fases en cortocircuito

Distancia entre conductores de diferente fase en cortocircuito:

$$D = a - 2b_h$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Distancia entre fases en cortocircuito (a min) [m]	1,720

Por lo tanto se cumplen las distancias mínimas entre fases en cortocircuito adoptadas entre fases.

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

2.3.7 Distancias mínimas a adoptar

En base a lo anteriormente expuesto y teniendo en cuenta lo que al respecto se indica en la ITC-RAT 12 e UNE-EN 60071 se proponen las siguientes distancias mínimas que deberán ser respetadas en la presente subestación:

DISTANCIAS FASE TIERRA……2,10 $[m]$

DISTANCIAS FASE-FASE……2,10 $[m]$

2.3.8 Efectos sobre conductores en haz

Se específica en la norma “UNE-EN 60865-1 de 2013” que para realizar el cálculo de la fuerza de tracción se deben realizar una serie de pasos, los cuales realizaremos a continuación para dicho cálculo:

- Se verificará si existe entrechoque efectivo entre los conductores, para que exista dicho entrechoque se debe cumplir una de las siguientes condiciones:

$$\frac{a_s}{d} \leq 2 \;\; y \;\; l_s \geq 50\, a_s$$

$$\frac{a_s}{d} \leq 2{,}5 \;\; y \;\; l_s \geq 70\, a_s$$

  Donde (a_s) es la distancia entre conductores de la misma fase, (d) es el diámetro de los conductores y (l_s) es la distancia media geométrica entre fases.

- Si no existe entrechoque efectivo se debe proceder a calcular si los conductores chocan entre sí o si no se chocan, para ello se deben realizar el cálculo del parámetro de choque.

  Primero se hará el cálculo del factor V_1, V_2 y V_3, por medio de estos valores vamos a calcular la fuerza en los conductores de haz de la corriente de cortocircuito (F_v), los factores de deformación que caracterizan la contracción del haz $(E_{st}\ y\ E_{pi})$ y por último el parámetro de entrechoque (j), que se calculan según indica la norma.

  A partir de las fórmulas anteriores y con los resultados obtenidos, nos vamos a remitir a la condición de choque que nos plantea la norma:

  “$j \geq 1$ Los subconductores entrechocan, $j < 1$ los subconductores reducen su distancia pero no entrechocan”

- Luego de realizar el paso anterior, se procederá al cálculo de la fuerza de tracción en caso de entrechoque $F_{pi,d}$, para poder realizar este cálculo se debe obtener el valor del factor V_e y V_4 como lo pide la norma.

A continuación se muestran los resultados a los cálculos anteriores:

Fuerza de tracción en haces (Fpi,d) [N]	**30017,504**

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Condición de entrechoque efectivo	NO APLICA
Factor V1 del conductor	2,722
Factor V2 del conductor	2,625
Factor V3 del conductor	0,232
Factor V4 del conductor	12,509
Fuerza de la corriente de cortocircuito (Fv) [N]	11384,492
Factor de deformación Estático (Est)	0,612
Factor de deformación Dinámico (Epi)	7,148
Parámetro de configuración de entrechoque (j)	2,106
Factor Ve del conductor	1,740
Factor de seguridad	**2,50**

Donde se cumple que la fuerza de tracción de los conductores en haz sobre los aisladores es menor que la carga de rotura del aislador.

2.4 RED DE TIERRAS INFERIORES

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

La red de tierras a realizar en la zona de ampliación se conectará con la red de tierras del resto de la subestación de 220[kV]. Se estima que la red de tierras existente presenta la misma retícula que la empleada en la zona de la ampliación para realizar el cálculo de la malla en su conjunto.

- Valor de la resistividad del terreno

Se considera como valor de la resistividad del terreno, a efectos de cálculo será de 200 [$\Omega \cdot m$].

- Tensiones de paso y contacto máximas admisibles

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

Tiempo de despeje de la falta (t) [seg]	0,5
Intensidad de la falta monofásica a tierra [kA]	12,95
Resistividad de la capa superficial (grava) (ρ) [Ω m]	3.000
Coeficiente reductor (Cs)	0,676688453
Resistividad superficial aparente (ρ_as) [Ω m]	2.030
Tensión aplicada admisible (Uca) [V]	204
Tensión aplicada admisible (Upa) [V]	2.040
Espesor de capa de gravilla (hs) [m]	0,1
Resistencia equivalente al calzado (Ra1) [Ω]	2000

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOHANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Según la "ITC-RAT 13", para tiempos de duración del defecto de 0,5 $[s]$ las tensiones de paso y de contacto admisibles aplicadas serán:

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

$$U_{pa} = 10 * U_{ca} = 2040\ [V]$$

Según el ITC-RAT 13, las tensiones de paso y contacto máximas admisibles (considerando todas las resistencias) son:

- Tensión de paso: $U_p = 10 * U_{ca}\left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{1000}\right]\ [V]$
- Tensión de contacto: $U_c = U_{ca}\left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1{,}5 \cdot \rho_s}{1000}\right]\ [V]$

Según la norma "IEEE-80-2013" dichos valores pueden ser calculados para una persona de 70 kg de peso promedio por medio de las siguientes expresiones:

- Tensión de paso: $E_{paso} = (1000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s)\ \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}}\ [V]$
- Tensión de contacto: $E_{contacto} = (1000 + 1{,}5 \cdot C_s \cdot \rho_s)\ \frac{0{,}116}{\sqrt{t_s}}\ [V]$
- Siendo C_s el factor de reducción siguiente: $C_s = 1 - \left(\frac{0{,}09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 \cdot h_s + 0{,}09}\right)$

  Donde:

  ρ: Resistividad del terreno $[\Omega \cdot m]$

  ρ_s: Resistividad de la gravilla $[\Omega \cdot m]$

  h_s: Espesor capa de gravilla $[m]$

Con lo que se tendrán los siguientes resultados:

Tensión de paso (Vp) [V]	35.048
Tensión de contacto (Vp) [V]	1.029
Tensión de paso (E_paso) [V]	1516,193018
Tensión de contacto (E_contacto) [V]	502,0848343

- Resistencia de puesta a tierra

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

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

Donde:

ρ: Resistividad del terreno $[\Omega \cdot m]$

L: Longitud total de conductor enterrado $[m]$

h: Profundidad de enterramiento del conductor $[m]$

A: Superficie ocupada por la malla $[m^2]$

Por lo cual se tendrán los siguientes resultados:

Resistividad del terreno (ρ) [Ω m]	200
Longitud total del conductor enterrado (L) [m]	12.000
Profundidad de enterramiento del conductor (h) [m]	0,6
Superficie ocupada por la malla (A) [m2]	9.000
Resistencia de la red de tierras [Ω]	**0,95**

- Intensidad de defecto a tierra

El valor tomado de la intensidad monofásica de cortocircuito para la subestación según la norma "IEEE Std 80-2013/Cor1-2015. Capítulo 15" está dada por las siguientes expresiones:

$$I_g = \frac{Z_{equ}}{(Z_{equ} + R_g)} X$$

Donde:

I_g: Intensidad disipada por la malla $[kA]$

R_g: Resistencia de la malla $[\Omega]$

Z_{equ}: Impedancia equivalente de todos los hilos de guarda $[\Omega]$, está dada por la siguiente expresión:

$$Z_{equ} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{L1}} + \frac{1}{Z_{L2}} + \cdots + \frac{1}{Z_{Ln}}}$$

X: Variable que depende de la suma de las diferencias de cada una de las aportaciones de intensidad que se dan a la I_{cc} , y se define con la siguiente expresión:

$$X = \sum_{i=1}^{n} (I_{Li} - I_{Li} \cdot P_{Ln})$$

I_{Ln}: Intensidad de cortocircuito aportada por la Línea n, donde n toma los valores de cada una de las lineas$[kA]$

P_{Ln}: Factor de reducción por inducción de la Línea n, donde n toma los valores de cada una de las lineas.

Z_{Ln}: Impedancia en cadena de hilo de guarda de la Línea n, donde n toma los valores de cada una de las lineas $[\Omega]$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Con lo cual tabulando tendremos:

Resistencia de la red de tierras [Ω]	0,95
Impedancia equivalente de todos los hilos de guarda [Ω]	1,02
Variable X [kA]	10,70
Intensidad disipada por la malla (Ig) [kA]	**5,56**

- Evaluación de tensiones de paso y contacto

Los datos iniciales utilizados para el cálculo son:

Resistividad del terreno (ρ) [Ω m]	200
Espaciado medio entre conductores (D) [m]	8
Profundidad del conductor enterrado (h) [m]	0,6
Diámetro del conductor (d) [m]	0,0142
Longitud del conductor enterrado (L) [m]	12000
Intensidad disipada por la malla (Ig) [kA]	5,56

La norma “IEEE-80-2013” propone desarrollar las siguientes expresiones para el cálculo de la tensión de contacto de verificación:

$$E_{contacto} = \rho K_m K_i \frac{I_g}{L} \quad [V]$$

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

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

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

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

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

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0{,}7\ A}{L_x \cdot L_y}}$$

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Donde:

L_c: Longitud del conductor de la (no incluye las picas) $[m]$

L_p: Longitud del perímetro de la malla $[m]$

L_x: Longitud máxima de la malla en la dirección x $[m]$

L_y: Longitud máxima de la malla en la dirección y $[m]$

D_m: Distancia máxima entre dos puntos en la malla $[m]$

L: Longitud efectiva de la malla para la tensión de paso $[m]$

Y las expresiones que permiten obtener la tensión de paso son:

$$E_{paso} = \rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot \frac{I_g}{L} \quad [V]$$

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

Teniendo como resultado:

Parámetro Kh	1,264911064
Parámetro Ki	9,778290179
Parámetro Kii	0,855511841
Parámetro n	61,71817689
Parámetro na	63,15789474
Parámetro nb	1,000693722
Parámetro nc	1,049459464
Parámetro nd	0,930504762
Longitud del conductor de la malla (Lc) [m]	12000
Longitud del perímetro de la malla (Lp) [m]	380
Longitud máxima de la malla en la dirección x (Lx) [m]	131
Longitud máxima de la malla en la dirección y (Ly) [m]	74
Distancia máxima entre dos puntos lejanos de la malla (Dm) [m]	140
Parámetro Km	0,587957575
Parámetro Ks	0,342058952
Tensión de paso de verificación (E_paso) [V]	**413**
Tensión de contacto de verificación (E_contacto) [V]	**533**

Los valores obtenidos son menores que los valores límite tanto de la norma “IEEE-80-2000” como de la “ITC-RAT13”

- Análisis de Conductor

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

La sección del conductor que constituye la malla de tierra debe ser tal que soporte la mitad de la intensidad (porque en el diseño de la malla se establece que en cada punto de puesta a tierra llegan al menos dos conductores de la malla) sin superar la temperatura máxima de 300 [$°C$] y con una duración de 1 segundo. Esto supone unas densidades de corriente máximas admisibles, según la norma “ITC-RAT-13” las densidades de corriente máximas para los conductores serán:

- 192 A/mm^2 para el cobre.
- 72 A/mm^2 para el acero.

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

$$A = I \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \propto_r \cdot \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_\alpha}\right)}}$$

Donde:

I: Mitad de la intensidad de falta a tierra [kA]

t_c: Tiempo duración de la falla [s]

T_m: Temperatura máxima que pueden alcanzar el conductor y las uniones [$°C$]

T_a: Temperatura ambiente [$°C$]

$TCAP$: Capacidad Térmica del conductor $\left[{}^{J}/_{cm^3 \cdot °C}\right]$ (Ver tabla 1 de “IEEE-80-2013”)

α_r: Coeficiente térmico de resistividad a 20 [$°C$] $\left[{}^{1}/_{°C}\right]$ (Ver tabla 1 de “IEEE-80-2013”)

ρ_r: Resistencia del conductor a 20 $°C$ [$\mu\Omega \cdot cm$] (Ver tabla 1 de “IEEE-80-2013”)

Ko: Inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0 [$°C$]. (Ver tabla 1 de “IEEE-80-2013”)

A: Sección mínima del conductor [mm^2]

Obteniendo los siguientes resultados:

Intensidad de falla a tierra en RMS (I) [kA]	10,47
Tiempo de duración de la falla (tc) [seg]	1
Temperatura máxima que puede alcanzar el conductor y las uniones (Tm) [C]	200
Temperatura ambiente (Ta) [C]	40
Capacidad térmica del conductor (TCAP) [J/cm3*C]	3,4
Coeficiente térmico de la resistividad a 20 C (αr) [1/C]	0,00381
Inversa del coeficiente térmico de resistividad a 0 C (K0)	242
Sección mínima del conductor (A) [mm2]	**69,75**

La sección mínima necesaria es mucho menor que los 120 [mm^2] del cable de Cobre que se va a utilizar, por lo que no habría problemas. Se utiliza este cable por ser el normalizado de Red Eléctrica.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

A la vista de los resultados obtenidos los valores de las tensiones de paso y contacto están por debajo de los permitidos por el “ITC-RAT 13” y del “IEEE-80-2013”, por lo que el diseño de la malla sería válido.

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

2.5 RED DE TIERRAS SUPERIORES

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

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

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

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

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

Según la norma “UNE-EN 62305-1 de 2011” la zona de captura se establece a partir del radio crítico de cebado (r) y que viene dado por la expresión:

$$r = 10 \cdot I^{0,65}$$

Donde:

$I[kA]$: Valor de la cresta de la corriente, está dada por la siguiente expresión:

$$I = 1{,}1\frac{U \cdot n}{Z}$$

U $[kV]$: Tensión soportada a impulsos tipo rayo, $U = 650$ $[kV]$

n: Número de líneas conectadas a la subestación, $n = 2$

$Z[\Omega]$: Impedancia característica de las líneas, $Z = 400$ $[\Omega]$ (valor típico)

Sustituyendo y aplicando estos valores se obtiene:

Valor de la cresta de la corriente (kA)	**2,888**
Radio crítico de cebado (r)	**19,922**

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

Por otro lado, la subestación y su aparamenta asociada queda protegida frente a las descargas atmosféricas mediante el cable de guarda.

A continuación se presentan las Figuras 2, 3 y 4 con vistas de secciones de la subestación en las cuales se puede apreciar el radio crítico aplicado.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 14299. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

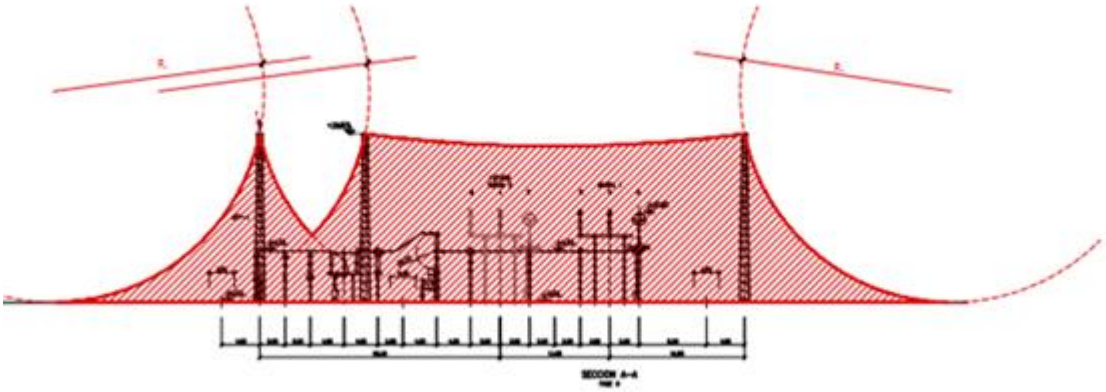


Figura 2. Vista sección A-A de la subestación.

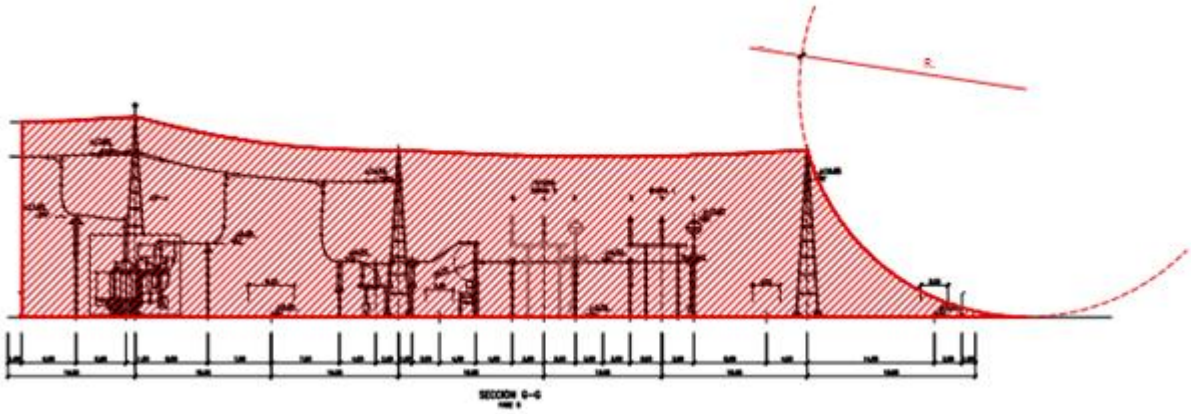


Figura 3. Vista sección G-G de la subestación.

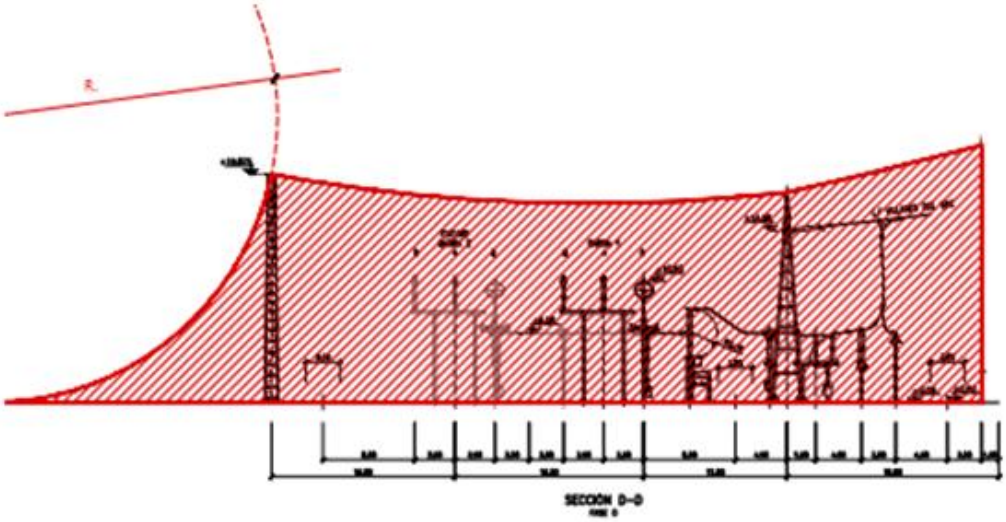


Figura 4. Vista sección D-O de la subestación.

Según la norma los cálculos obtenidos dan en la subestación una Zona de Protección contra Rayos (ZPR) de nivel 2, la cual supera las expectativas para la subestación.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.6 CARACTERÍSTICAS Y CÁLCULOS APLICABLES A LA LINEA DE $\boldsymbol{220}$ $[\boldsymbol{kV}]$ DE INTERCONEXION ENTRE PARQUES

2.6.1 Características eléctricas.

Las características eléctricas de ambas líneas son iguales:

Tensión más elevada para el material (kV)	245
Categoría de red	A
Tensión soportada a impulso tipo rayo (kV)	1050
Tensión soportada a frecuencia industrial (30min) (kV)	318
Capacidad de transporte (MVA)	764,000
Factor de carga	1,00
Impedancia característica de las líneas (Ohms)	400

2.6.2 Datos térmicos de funcionamiento.

El circuito térmico es el de interconexión de la línea entre la subestación 220 $[kV]$ y el transformador del parque de 66 $[kV]$, y estará compuesto por una terna de cables que irán instalados en el interior de una zanja.

Las dimensiones como el trazado en planta de dicha zanja se muestran en los planos.

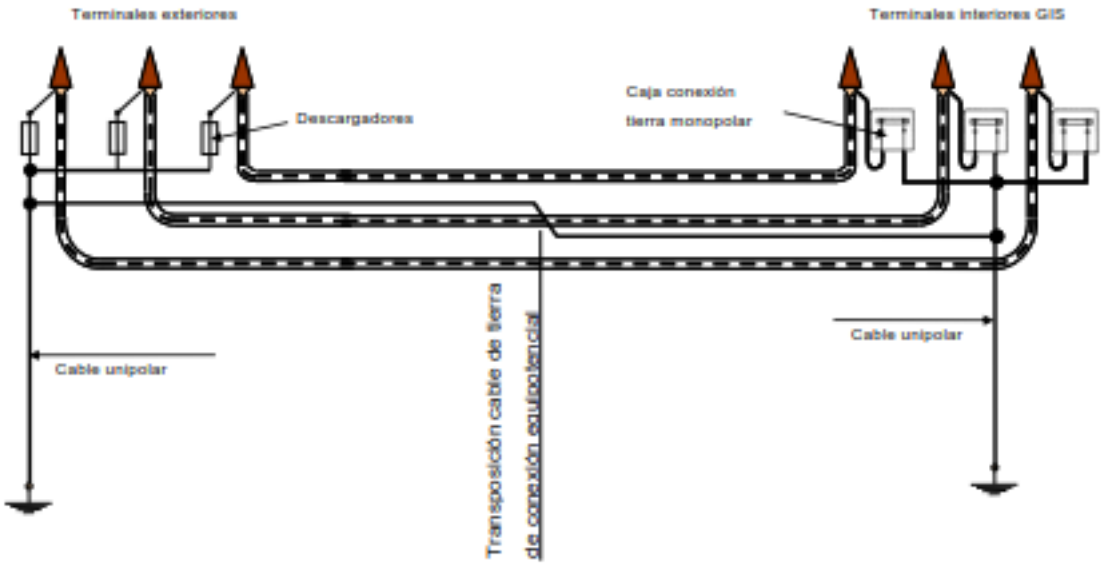
Las condiciones de instalación y ambientales consideradas son: temperatura del aire 40℃.

2.6.3 Sistema de puesta a tierra de las pantallas metálicas.

Debido a la longitud de las conexiones, los enlaces se realizarán mediante una sola pieza de cable por cada fase. Con objeto de minimizar las pérdidas por circulación de corrientes en las pantallas metálicas, se realizará con conexionado tipo Single – Point, es decir, unido rígidamente a tierra en un extremo y mediante descargador en el otro.

Se dispondrá un cable de cobre a lo largo del canal al aire bajo losas de hormigón.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

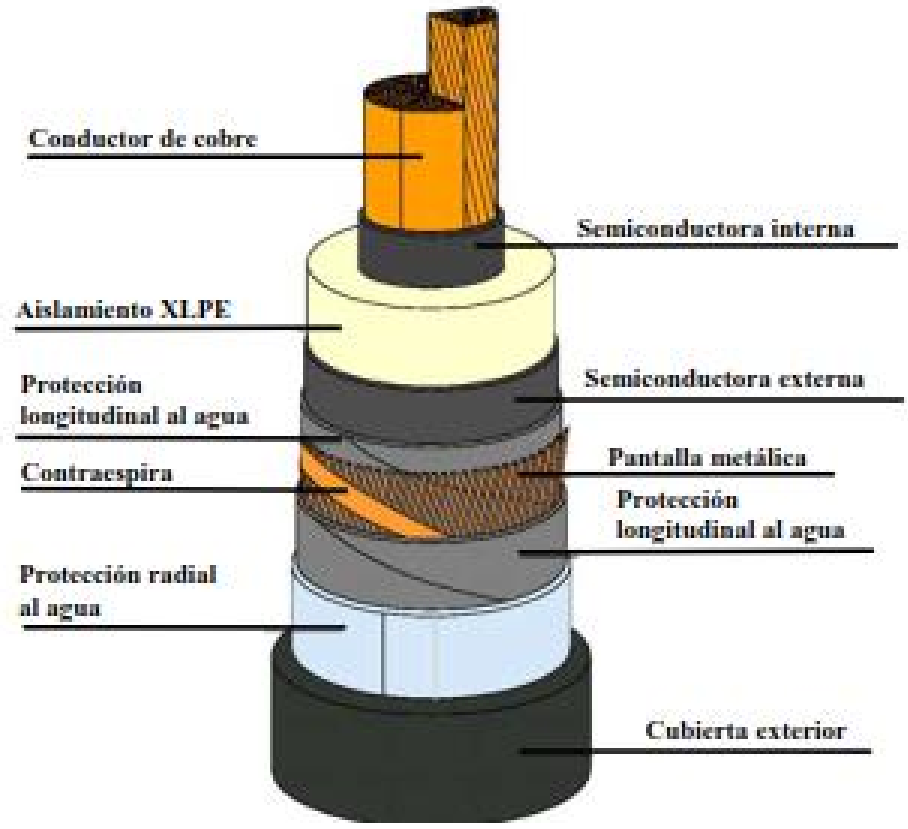


2.6.4 Cable de potencia.

La composición general del cable aislado para el enlace de 220 [kV], será la que se muestra a continuación:

- Conductor: sección circular de cobre de cuerda segmentada tipo Miliken de 1.200 [mm^2]
- Semiconductora interna: capa extrusionada de material semiconductor.
- Aislamiento: polietileno reticulado (XLPE) super clean.
- Semiconductora externa: capa extrusionada de material semiconductor.
- Protección longitudinal al agua: cinta hinchable de estanqueidad colocada antes de la pantalla.
- Pantalla: corona de alambres de cobre arrollados helicoidalmente.
- Contraespira: fleje de cobre que garantice la sujeción de la pantalla frente a los esfuerzos electrodinámicos.
- Protección longitudinal al agua: cinta hinchable de estanqueidad colocada después de pantalla.
- Protección radial al agua: lámina de aluminio termosoldada adherida a la cubierta.
- Cubierta exterior: polietileno negro tipo Z1(AS) con una capa exterior semiconductora.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANEAU



Tanto la pantalla de hilos de cobre como la contraespira de cobre podrán omitirse en el caso de que la protección radial al agua de aluminio termosoldado realice las funciones de pantalla metálica. En este caso la sección de la pantalla será de 375 [mm^2].

El cable y todos los accesorios utilizados deberán cumplir los ensayos y pruebas indicados en la norma "IEC 62067, Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 [kV] (U_m = 170 [kV]) up to 500 [kV] (U_m = 550 [kV]) – Test methods and requirements". Los ensayos sobre instalación acabada se realizarán con una fuente resonante de frecuencia.

2.6.5 Sistemas de puesta a tierra de las pantallas metálicas

2.6.5.1 Intensidad de corriente admisible en régimen permanente.

El cálculo para la determinación de la intensidad que va a circular en régimen permanente por la línea viene determinado por la norma "UNE 21144-1 de 2012", este cálculo consiste en la hacer el análisis de transferencia de calor en servicio, de forma que las pérdidas de potencia activa generadas en el cable se disipen al entorno sin que el aislamiento alcance una temperatura excesiva para deteriorar sus características eléctricas, mecánicas o químicas del cable.

2.6.5.1.1 Cálculo de la intensidad máxima admisible en servicio.

La intensidad máxima admisible en servicio permanente es la que produce calentamiento en el conductor hasta su máxima temperatura admisible, lo cual limita la intensidad que transita por él.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GOMEZ JOUANCAU

$$I = \left[\frac{\Delta\theta - W_d\,[0{,}5\,T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]}{R\,T_1 + n\,R(1+\lambda_1)\,T_2 + n\,R\,(1+\lambda_1+\lambda_2)\,(T_3+T_4)}\right]^{0{,}5}$$

Donde:

I: Intensidad de la corriente máxima que circula en el conductor $[A]$

$\Delta\theta$: Incremento de temperatura del conductor respecto a la temperatura ambiente $[K]$

R: Resistencia del conductor en corriente alterna, a temperatura máxima de servicio $[\Omega/m]$

W_d: Pérdidas dieléctricas del aislamiento que rodea al conductor $\left[{}^{W}/_{m}\right]$

T_1: Resistencia térmica entre el conductor y la envolvente $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

T_2: Resistencia térmica entre el relleno envolvente y la armadura $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

T_3: Resistencia térmica del revestimiento exterior del cable $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

T_4: Resistencia térmica entre la superficie del cable y el ambiente $\left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$

n: Número de conductores aislados en servicio en el cable.

λ_1: Relación de las pérdidas en la cubierta metálica o pantalla con respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de dicho cable.

λ_2: perdidas en la armadura respecto a las pérdidas totales en todos los conductores de ese cable.

Para la realización de este cálculo se debe tener en cuenta que existe pérdidas de potencia eléctrica que genera calor en el cable, se debe determinar las resistencias térmicas que intervienen según las condiciones de instalación y que al ser una disposición que se encuentra en intemperie se verá afectada por la radiación solar, así como lo indica la norma.

2.6.5.1.2 Resistencia del conductor en corriente alterna

La resistencia del conductor está dada por la siguiente expresión:

$$R = R'\left(1 + Y_s + Y_p\right)\,[\Omega/m]$$

Donde:

R': Resistencia del conductor con corriente continua en la máxima temperatura de servicio $[\Omega/m]$

Y_s: Factor pelicular.

Y_p: Factor de efecto proximidad.

La resistencia de la pantalla de corriente alterna se calculará igual que para el conductor, pero con el valor de d_c correspondiente a la pantalla.

2.6.5.1.3 Perdidas dieléctricas

Las pérdidas dieléctricas están dadas por la siguiente expresión:

$$W_d = \mathrm{w} \cdot \mathrm{C} \cdot U_0^2 \cdot \tan\delta\ \left[{}^{W}/_{m}\right]$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Donde:

w: Componente angular.

C: Capacidad por unidad de longitud $[F/m]$

ε: Permitividad relativa del material aislante.

D_i: Diámetro exterior del aislamiento (Excluyendo la pantalla) [mm]

d_{c1}: Diámetro del conductor incluyendo la pantalla [mm]

U_0: Tensión con relación a tierra $[V]$

tan δ: Factor de pérdidas del aislamiento a la frecuencia y temperatura de servicio.

2.6.5.1.4 Factor de pérdidas en la pantalla

Las pérdidas en la pantalla (λ_1), se deben a las corrientes de circulación (λ_1') y las corrientes de Foucault (λ_1'') tal como se expresa en la norma, son calculadas de la siguiente forma:

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1''$$

Para nuestro caso son cables unipolares dispuestos en tresbolillo con las pantallas en cortocircuito, y debido a que es un conductor de gran sección y de construcción segmentada no se puede despreciar el valor de las corrientes de Foucault (λ_1''), dado lo anterior la norma dispone las siguientes expresiones para su cálculo de las corrientes de circulación (λ_1') :

$$\lambda_1' = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2}$$

Donde:

R_s: Resistencia de la pantalla metálica en corriente alterna a temperatura máxima de servicio $[\Omega/m]$

θ_{sc}: Temperatura máxima de servicio de la pantalla del cable o cubierta metálica.

R_{so}: Resistencia de la cubierta metálica del cable o pantalla a 20ºC $[\Omega/m]$

X: Reactancia de la pantalla metálica $[\Omega/m]$

s: Distancia entre ejes de conductores $[mm]$

d: Diámetro medio de la pantalla metálica $[mm]$

Ahora para el cálculo de las corrientes de Foucault (λ_1''), se deben utilizar las siguientes definiciones:

$$\lambda_1'' = \frac{R_s}{R}\left[g_s\,\lambda_0\,(1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1\,t_s)^4}{12 \cdot 10^{12}}\right]$$

$$g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s}\right)^{1{,}74}(\beta_1 \cdot D_s \cdot 10^{-3} - 1{,}6)$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{4\pi w}{10^7\,\rho_s}}$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 21778. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Donde:

ρ_s: Resistividad eléctrica del material que constituye la cubierta metálica a la temperatura de servicio $[\Omega/m]$

D_s: Diámetro exterior del envolvente del cable $[mm]$

t_s: Espesor de la cubierta metálica $[mm]$

Las fórmulas para el cálculo de λ_0, Δ_1 y Δ_2 se siguen las expresiones utilizadas en la norma.

Tenga en cuenta que para esta disposición se tendrá un $\lambda_2 = 0$.

2.6.5.1.5 Resistencias térmicas interiores

Para el cálculo de la resistencia térmica entre el conductor y el envolvente (T_1) se tendrá la siguiente expresión:

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2\,t_1}{d_c}\right) \left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$$

Donde:

ρ_T: Resistencia térmica correspondiente al aislamiento.

t_1: Espesor del aislamiento entre conductor y envolvente considerando las pantallas semiconductoras $[mm]$

La resistencia térmica entre cubierta y la armadura (T_2) será nula ya que es un cable sin armadura, y la resistencia térmica del revestimiento o de la cubierta exterior (T_3) se define con la siguiente expresión:

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(1 + \frac{2\,t_3}{D'_a}\right) \left[{}^{K\,m}/_{W}\right]$$

Donde:

t_3: Espesor de la cubierta o revestimiento $[mm]$.

D'_a: Diámetro exterior de la pantalla que se encuentra bajo $[mm]$.

2.6.5.1.6 Resistencia térmica exterior

CABLES INSTALADOS EN TUBULAR HORMIGONADA

Para la realización del cálculo de la resistencia térmica del medio circundante a un cable instalado en tubular hormigonada se deben realizar tres secciones de cálculo: resistencia térmica del intervalo de aire entre la superficie del cable y la superficie interior del conducto (T'_4), resistencia térmica del material que constituye el tubo o conducto (T''_4) y la resistencia térmica entre la superficie exterior del conducto y medio ambiente (T'''_4).

$$T_4 = T'_4 + T''_4 + T'''_4$$

Primero procederemos al cálculo de la resistencia térmica del intervalo de aire entre la superficie del cable y la superficie interior del conducto (T'_4), la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$T'_4 = \frac{U}{1 + 0{,}1 \cdot (V + Y\,\theta_m) \cdot D_e}$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Donde:

U: Constante que depende de la instalación tipo de REE, U = 5,2

V: Constante que depende de la instalación tipo de REE, V = 1,1

Y: Constante que depende de la instalación tipo de REE, Y = 0,011

D_e: Diámetro exterior del cable $[mm]$

θ_m: Temperatura media del medio que se encuentra entre el cable y el tubo.

Ahora procederemos a realizar el cálculo de la resistencia térmica del material que constituye el tubo o conducto (T_4''), la cual se encuentra definida por la siguiente expresión:

$$T_4'' = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(\frac{D_0}{D_d}\right)$$

Donde:

D_0: Diámetro exterior del conducto $[mm]$

D_d: Diámetro interior del conducto $[mm]$

ρ_T: Resistencia térmica correspondiente al aislamiento.

Finalmente se calcula la resistencia térmica entre la superficie exterior del conducto y medio ambiente (T_4'''), por lo cual seguiremos la siguiente expresión:

$$T_4''' = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \ln\left(\left(u + \sqrt{u^2 - 1}\right) \cdot \left(\left(\frac{d'_{p1}}{d_{p1}}\right) \cdot \left(\frac{d'_{p2}}{d_{p2}}\right) \cdots \left(\frac{d'_{pk}}{d_{pk}}\right) \cdots \left(\frac{d'_{pq}}{d_{pq}}\right)\right)\right)$$

Donde:

ρ_T: Resistencia térmica correspondiente al aislamiento, ρ_T = 3,5 $\left[{}^{K\ m}/_{W}\right]$

u: Constante que se representa con la siguiente expresión:

$$u = \frac{2L}{D_e}$$

D_e: Diámetro exterior de la tubular $[mm]$

L: Distancia de la superficie del suelo al eje del cable $[mm]$

2.6.5.2 Cálculo de la capacidad de transporte de la conexión

La capacidad de transporte de la interconexión viene dada por la expresión:

$$S = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot I_{max}$$

2.6.5.3 Pérdidas eléctricas nominales

Están constituidas por las pérdidas dieléctricas (W_d) que fueron calculadas anteriormente y pérdidas óhmicas, por lo cual se concentran en la siguiente expresión:

$$P_t = 3 \cdot (R \cdot I^2 \cdot (1 + \lambda_1) + W_d)$$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Con lo cual se tendrá hasta aquí:

Intensidad Máxima Admisible (I) [A]	**851,173**
Capacidad de transporte de la conexión [MVA]	**324,340**
Pérdidas eléctricas nominales [W/m]	**38,011**

Pérdidas dieléctricas por unidad de longitud (Wd) [W/m]	0,636
Capacidad del cable (C) [F/m]	5,23E-11
Resistencia del conductor bajo los efectos de corriente alterna (R) [Ω/m]	1,66E-05
λ1	2,11E-03
λ'1	2,11E-03
λ''1	2,25E-04
λ2	0,000
Resistividad térmica entre conductor y el envolvente (T1) [K m /W]	0,312
Resistividad térmica entre el relleno del aislamiento y la armadura (T2) [K m /W]	0,000
Resistividad térmica del revestimiento exterior del cable (T3) [K m /W]	5,20E-02
Resistencia térmica externa del cable al aire libre (T4) [K m /W]	2,622

2.6.5.4 Intensidad de corriente admisible en cortocircuito

Los cálculos vienen determinados por las Normas IEC 60949 (UNE 21192) "Cálculo de la intensidad de corriente de cortocircuito, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático" y la IEC 61443 (UNE 211003) "Límites de temperatura de cortocircuito".

Por definición tenemos que la intensidad de cortocircuito adiabático es proporcional con la intensidad de cortocircuito, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$I_{AD} = \frac{I_{CC}}{\varepsilon}$$

A partir de la anterior expresión se puede definir la I_{CC} de la siguiente forma:

$$I_{CC} = K \cdot S \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}\right)}$$

Donde:

K: Constante dependiente del material del componente conductor $\left[A \cdot \sqrt{s}/_{mm^2}\right]$

S: Sección correspondiente $[mm^2]$

t: Duración del cortocircuito $[s]$

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

θ_f: Temperatura final [℃]

θ_i: Temperatura inicial [℃]

β: Inversa del coeficiente de variación de resistencia con la temperatura del componente conductor (K)

Tanto el conductor del cable como la pantalla metálica del mismo serán aptos para la intensidad de corriente de defecto del sistema de 31,5 [kA] durante 0,5 [s]. Las temperaturas inicial y final para el caso del conductor serán de 90℃ y 250℃ respectivamente y para la pantalla metálica serán de 80℃ y 250℃ respectivamente.

Para calcular la intensidad de corriente admisible por el conductor en cortocircuito para conductores de pantalla no contiguos, se tiene en cuenta el factor de corrección no adiabático (ε)

Sustituyendo los valores anteriores, resulta para el conductor:

Intensidad de corriente admisible en Corto Circuito del conductor [kA]	**421,579**
Inversa del coeficiente de variación de resistencia K (β)	234,500

Para calcular la intensidad de corriente admisible por la pantalla en cortocircuito, se debe recalcular el factor de corrección no adiabático, y se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$\varepsilon = 1 + 0{,}61 \cdot M \cdot \sqrt{t} - 0{,}069 \cdot \left(M \cdot \sqrt{t}\right)^2 + 0{,}0043 \cdot \left(M \cdot \sqrt{t}\right)^3$$

Donde:

M: Factor que se calcula basado en las características térmicas de los materiales metálicos.

Sustituyendo los valores anteriores, resulta para la pantalla:

Intensidad de corriente admisible en Corto Circuito de la pantalla [kA]	**105,387**
Factor ξ para la pantalla	1,056
Factor M	0,131

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 2

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

CAPÍTULO 1. OBJETO 3

CAPÍTULO 2. NORMATIVA APLICABLE 4

2.1 EQUIPAMIENTO Y MONTAJE 4

2.2 OBRA CIVIL 5

2.2.1 Estructuras 5

2.2.2 Varios 5

CAPÍTULO 3. GESTIÓN DE CALIDAD 7

CAPÍTULO 4. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL 8

CAPÍTULO 5. SEGURIDAD EN EL TRABAJO 9

CAPÍTULO 6. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN 10

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 1. OBJETO

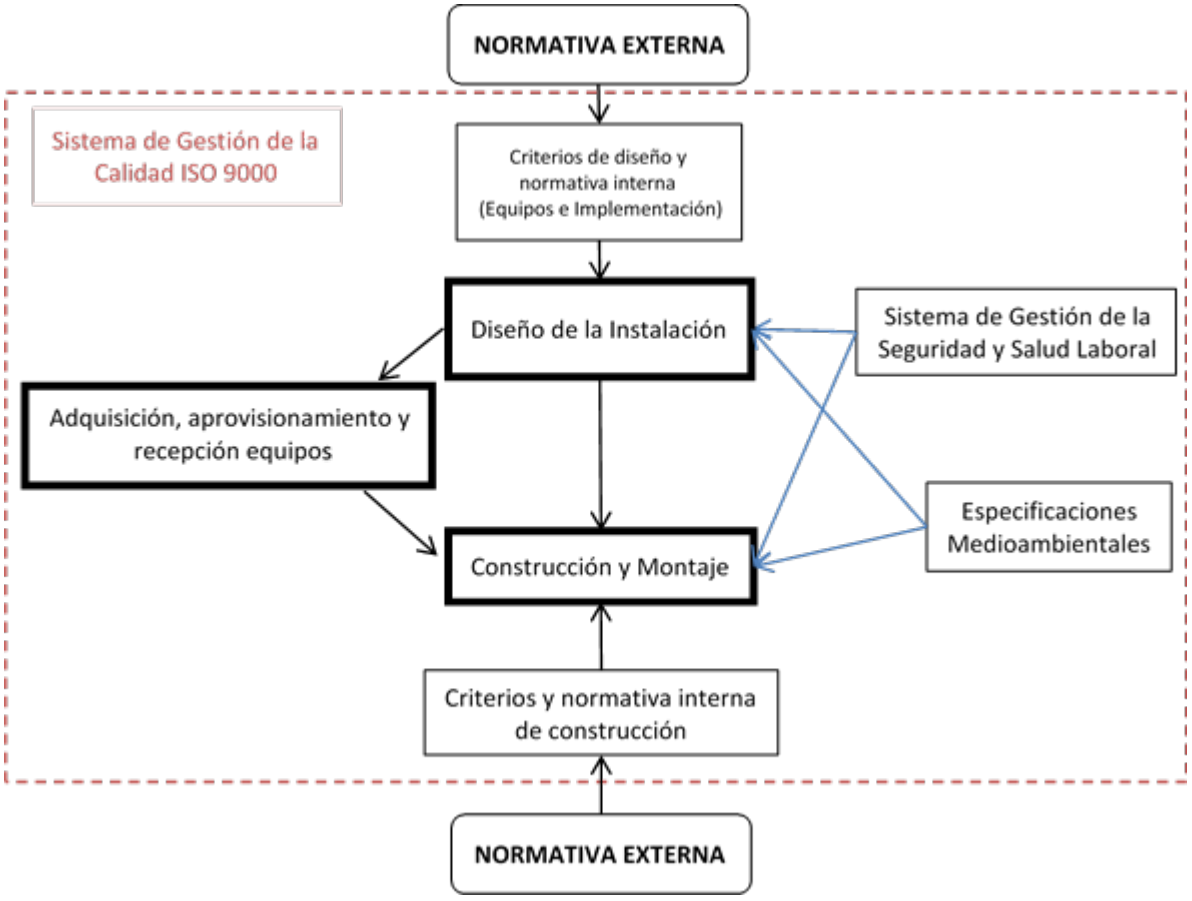
El objeto del presente Pliego de Condiciones es aportar la información necesaria para definir los materiales y equipos y su correcto montaje para lo que se han considerado los siguientes aspectos.

1º Normativa: Los equipos y su montaje será conforme a la normativa legal y de referencia.

2º Gestión de Calidad: El Plan de Calidad recoge las características técnicas de los equipos y su montaje. Además, la certificación ISO-9000 asegura la calidad de la instalación construida.

3º Gestión medioambiental: Con el objeto de minimizar los impactos que puedan acarrear la construcción y funcionamiento de la instalación.

4º Seguridad Laboral: Para asegurar que tanto el montaje como la explotación de los equipos de esta instalación cumplen con las medidas de seguridad requeridas.



Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 2. NORMATIVA APLICABLE

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

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

2.1 EQUIPAMIENTO Y MONTAJE

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

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT). Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología. BOE 18 de septiembre de 2002, e Instrucciones Técnicas Complementarias y sus modificaciones posteriores.
- Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.
- Ley 31/95 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 614/01 de 8 de junio sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D. 1215/97 de 18 de julio sobre Equipos de trabajo.
- R.D. 486/97 de 14 de abril sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de abril sobre Manipulación manual de cargas.
- R.D. 773/97 de 30 de mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ley 32/2006 de 18 de octubre Reguladora de la Subcontratación en el Sector de la Construcción.
- Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en instalaciones eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.
- R.D. 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.2 OBRA CIVIL

2.2.1 Estructuras

- Acciones en la edificación
  - Documento básico de seguridad estructural DB-SE-AE “Acciones en la Edificación” del Código técnico de la edificación. R.D. 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.
  - Norma de construcción sismo-resistente: parte general y edificación (NCSR-02). R.D. 997/2002, de 27 de septiembre, del Ministerio de Fomento. BOE 11 de octubre de 2002.
- Acero
  - Código Estructural, aprobado por el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio.
- Hormigón
  - Código Estructural, aprobado por el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio.
- Forjados
  - Código Estructural, aprobado por el Real Decreto 470/2021, de 29 de junio.
  - Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo.

2.2.2 Varios

- Normas tecnológicas de la edificación. Decreto del Ministerio de la Vivienda nº 3565/72, de 23 de diciembre. BOE del 15 de enero de 1973.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Instrucciones técnicas complementarias en subestaciones. Real Decreto nº 842/02 de 2 de agosto, en BOE 18 de septiembre de 2002.
- Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.
- Ley 31/95 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 614/01 de 8 de junio sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D. 1215/97 de 18 de julio sobre Equipos de trabajo.
- R.D. 486/97 de 14 de abril sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de abril sobre Manipulación manual de cargas.
- R.D. 773/97 de 30 de mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ley 32/2006 de 18 de octubre Reguladora de la Subcontratación en el Sector de la Construcción.
- Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en instalaciones eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 3. GESTIÓN DE CALIDAD

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

CAPÍTULO 4. GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

Las obras del proyecto se ejecutan garantizando el cumplimiento de la legislación y reglamentación aplicable. En el *Anexo 2.1 Especificaciones técnicas de carácter ambiental* de este documento se detallan los aspectos medioambientales que rigen la ejecución de este proyecto.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 5. SEGURIDAD EN EL TRABAJO

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 6. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

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

- Pruebas en vacío

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

- Pruebas en tensión

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

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

Madrid, Noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 2

ANEXO 1

REQUISITOS AMBIENTALES

ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

CAPÍTULO 1. ÁMBITO DE APLICACIÓN 3

CAPÍTULO 2. REQUISITOS AMBIENTALES 4

2.1 REQUISITOS DE CARÁCTER GENERAL 4

2.1.1 Condicionados de los organismos de la Administración 4
2.1.2 Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible 4
2.1.3 Cambios de aceites y grasas 4
2.1.4 Campamento de obra 4
2.1.5 Gestión de residuos 4
2.1.6 Incidentes con consecuencias ambientales 5

2.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LA OBRA CIVIL 5

2.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMENCÁNICO 5

2.3.1 Llenado de equipos con aceite 5
2.3.2 Llenado de equipos con SF_6 5

2.4 ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA 5

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE DEMOLICIÓN 7

3.1 ANTECEDENTES 7

3.1.1 Objeto 7
3.1.2 Situación y descripción general del proyecto 7
3.1.3 Descripción general de los trabajos 7

3.2 ESTIMACIÓN DE RESIDUOS A GENERAR 7

3.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE GENERACIÓN DE RESIDUOS 9

3.4 MEDIDAS DE SEPARACIÓN, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN OBRA 10

3.5 DESTINOS FINALES DE LOS RESIDUOS GENERADOS 13

3.6 VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE GESTIÓN 14

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Este documento tiene por objeto establecer los requisitos de carácter ambiental que se deben cumplir en los trabajos de obra civil y montaje electromecánico que se van a realizar en la ampliación de la subestación SANTA PONSA 220 kV para minimizar los posibles impactos ambientales que puede conllevar el desarrollo de los trabajos de construcción.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 2. REQUISITOS AMBIENTALES

2.1 REQUISITOS DE CARÁCTER GENERAL

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

2.1.1 Condicionados de los organismos de la Administración

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

2.1.2 Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible

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

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

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

2.1.3 Cambios de aceites y grasas

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

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

2.1.4 Campamento de obra

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

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

2.1.5 Gestión de residuos

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

- Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición. Incluido como anexo al presente documento.

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

2.1.6 Incidentes con consecuencias ambientales

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

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

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

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

2.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA LA OBRA CIVIL

Limpieza de cubas de hormigonado

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

2.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMENCÁNICO

2.3.1 Llenado de equipos con aceite

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

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

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

2.3.2 Llenado de equipos con SF_6

El llenado de equipos con SF_6 se llevará a cabo por personal especializado, evitándose así fugas de gas a la atmósfera. Las botellas de SF_6 (vacías y con SF_6 que no se ha utilizado en el llenado) serán retiradas por el proveedor para garantizar la adecuada gestión de las mismas.

2.4 ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

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

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE DEMOLICIÓN

3.1 ANTECEDENTES

3.1.1 Objeto

El presente *Estudio de residuos* se realiza para minimizar los impactos derivados de la generación de residuos en la construcción del presente proyecto, estableciendo las medidas y criterios a seguir para minimizar la generación de residuos, segregar y almacenar correctamente los residuos generados y proceder a la gestión más adecuada para cada uno de ellos. El *Estudio* se lleva a cabo en cumplimiento del R.D. 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la *Producción y gestión de los residuos de construcción y demolición* y se ha redactado según los criterios contemplados en el artículo 4 de dicho R.D.

3.1.2 Situación y descripción general del proyecto

La situación y descripción general del proyecto está reflejado en el capítulo 2 del documento 1: *Memoria* del presente Proyecto Técnico Administrativo.

3.1.3 Descripción general de los trabajos

Las actividades a llevar a cabo y que van a dar lugar a la generación de residuos van a ser las siguientes:

- Realización de acopios, campamento de obra e instalación de medios auxiliares.
- Movimiento de tierras: excavaciones (cimentaciones), movimientos y traslados de tierras.
- Obra civil: cimentaciones, hormigonados, drenajes etc.
- Montaje electromecánico: aparamenta eléctrica, servicios auxiliares etc.
- Limpieza de obra y restauración.
- Actividades auxiliares (oficina).

3.2 ESTIMACIÓN DE RESIDUOS A GENERAR

Durante los trabajos descritos se prevé generar los siguientes residuos, codificados de acuerdo a la Lista Europea de Residuos:

Tipo residuo	Código LER
RESIDUOS NO PELIGROSOS	
Excedentes de excavación	170504
Restos de hormigón	170101
Papel y cartón	150101 – 200101
Maderas	170201
Plásticos (envases y embalajes)	170203
Chatarras metálicas	170405/170407/170401/170402
Restos asimilables a urbanos	200301

Tipo residuo	Código LER
Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (si se segregan)	150102/150104/150105/150106
Residuos vegetales (podas y talas)	200201
RESIDUOS PELIGROSOS	
Trapos impregnados	150202*
Tierras contaminadas	170503*
Envases que han contenido sustancias peligrosas	150110*/150111*

Es necesario aclarar que, en el *Plan de gestión residuos* (que se elabora en una etapa de proyecto posterior al presente estudio por los contratistas responsables de acometer los trabajos, poseedores de los residuos) e incluso durante la propia obra se podrá identificar algún otro residuo. Asimismo la estimación de cantidades, que se incluye en la tabla siguiente, es aproximada, teniendo en cuenta la información de la que se dispone en la etapa en la cual se elabora el proyecto de ejecución. Las cantidades, por tanto, también deberán ser ajustadas en los correspondientes Planes de gestión de residuos.

Tipo de residuo	Código	Unidad	PARQUE 220 kV		TOTAL
			O.C.	MONTAJE	
Excedentes de excavación(*)	170101	m^3	1200	-	1200
Restos de hormigón	170101	m^3	10	5	15
Papel y cartón	200101	kg	50	100	150
Maderas	170201	kg	100	250	350
Plásticos (envases y embalajes)	170203	kg	180	200	380
Chatarras metálicas	170405 170407 170401 170402	kg	600	800	1400
Restos asimilables a urbanos	200301	kg	500	800	1300
Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (Si segregan)	150102 150104 150105 150106	kg	200	350	550
Trapos impregnados	150202*	kg	10	25	35
Tierras contaminadas	170503*	m^3	0	0	0
Envases que han contenido sustancias peligrosas	150110* 150111*	kg	50	100	150
Residuos vegetales (podas y talas)	200201	kg	20	0	20

(*) La cantidad estimada se corresponde con los excedentes de excavación que no está previsto reutilizar en la propia obra.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

3.3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE GENERACIÓN DE RESIDUOS

Trabajos de construcción:

Como norma general es importante separar aquellos productos sobrantes que pudieran ser reutilizables de modo que en ningún caso puedan enviarse a vertederos.

Además, es importante separar los residuos desde el origen, para evitar contaminaciones, facilitar su reciclado y evitar generar residuos derivados de la mezcla de otros.

Se exponen a continuación algunas buenas prácticas para evitar/minimizar la generación de algunos residuos:

- Cerámicas mortero y hormigón:
  - Reutilización, en la medida de lo posible en la propia obra: rellenos.
- Medios auxiliares (palets de madera), envases y embalajes:
  - Utilizar materiales cuyos envases/embalajes procedan de material reciclado.
  - No separar el embalaje hasta que no vayan a ser utilizados los materiales.
  - Guardar los embalajes que puedan ser reutilizados inmediatamente después de separarlos del producto. Gestionar la devolución al proveedor en el caso de ser este el procedimiento establecido (ej. Botellas de SF_6 vacías o medio llenas).
  - Los palets de madera se han de reutilizar cuantas veces sea posible.
- Residuos metálicos:
  - Separarlos y almacenarlos adecuadamente para facilitar su reciclado
- Aceites y grasas:
  - Realizar el mantenimiento de la maquinaria y cambios de aceites en talleres autorizados.
  - Si es imprescindible llevar a cabo alguna operación de cambio de aceites y grasas en la obra, utilizar los accesorios necesarios para evitar posibles vertidos al suelo (recipiente de recogida de aceite y superficie impermeable).
  - Controlar al máximo las operaciones de llenado de equipos con aceites para evitar que se produzca cualquier vertido.
- Tierras contaminadas

Establecer las medidas preventivas para evitar derrames de sustancias peligrosas:

- Disponer de bandeja metálica para almacenamiento de combustibles. Primar la utilización de boquillas anti-goteo si se utilizasen garrafas de repostaje.
- Resguardar de la lluvia las zonas de almacenamiento (mediante techado o uso de lona impermeable), para evitar que las bandejas se llenen de agua.
- Disponer de grupos electrógenos cuyo tanque de almacenamiento principal tenga doble pared y cuyas tuberías vayan encamisadas. Si no es así colocar en una bandeja estanca o losa de hormigón impermeabilizada y con bordillo.
- Controlar al máximo las operaciones de llenado de equipos con aceites para evitar que se produzca cualquier vertido. No realizar llenados de máquinas de potencia sin estar operativos los fosos de recogida de aceite. Colocar recipientes o material absorbente debajo de todos los empalmes de tubos utilizados durante la maniobra, para la recogida de posibles pérdidas.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Buenas prácticas en los trasiegos.

3.4 MEDIDAS DE SEPARACIÓN, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS EN OBRA

Los requisitos en cuanto a la segregación, almacenamiento, manejo y gestión de los residuos en obra están incluidos en las especificaciones ambientales, formando así parte de las prescripciones técnicas del proyecto.

Para que se pueda desarrollar una correcta segregación y almacenamiento de residuos en la obra, todo el personal implicado deberá estar adecuadamente formado sobre cómo separar y almacenar cualquier tipo de residuos que pueda derivarse de los trabajos.

- Segregación

Para una correcta valorización o eliminación se realizará una segregación previa de los residuos, separando aquellos que por su no peligrosidad (residuos urbanos y asimilables a urbanos) y por su cantidad puedan ser depositados en los contenedores específicos colocados por el correspondiente ayuntamiento, de los que deban ser llevados a vertedero controlado y de los que deban ser entregados a un gestor autorizado (residuos peligrosos). Para la segregación se utilizarán bolsas o contenedores, debidamente etiquetados, que impidan o dificulten la alteración de las características de cada tipo de residuo.

La segregación de residuos en obra ha de ser la máxima posible (como mínimo, en las fracciones que indica la normativa), para facilitar la reutilización de los materiales y que el tratamiento final sea el más adecuado según el tipo de residuo.

En ningún caso se mezclarán residuos peligrosos y no peligrosos.

Si en algún caso no resultara técnicamente viable la segregación en origen, el poseedor (contratista) podrá encomendar la separación de fracciones de los distintos residuos no peligrosos a un gestor de residuos externo a la obra, teniendo que presentar en este caso, la correspondiente documentación acreditativa conforme el gestor ha realizado los trabajos.

En el campamento de obra, se procurará además segregar los RSU en las distintas fracciones (envases y embalajes, papel, vidrio y resto).

- Almacenamiento:

Desde la generación de los residuos hasta su eliminación o valorización final, éstos serán almacenados de forma separada en el lugar de trabajo, según vaya a ser su gestión final, como se ha indicado en el punto anterior.

Para las zonas de almacenamiento se cumplirán los siguientes criterios:

- Habrá una separación clara entre la zona de Residuos Peligrosos y la de Residuos No Peligrosos.
- Serán seleccionadas, siempre que sea posible, de forma que no sean visibles desde carreteras o lugares de tránsito de personas pero con facilidad de acceso para poder proceder a la recogida de los mismos
- Estarán debidamente señalizadas mediante marcas en el suelo, carteles, etc. para que cualquier persona que trabaje en la obra sepa su ubicación.
- Los residuos peligrosos estos deben estar protegidos de la intemperie y con sistemas de retención de vertidos y derrames.

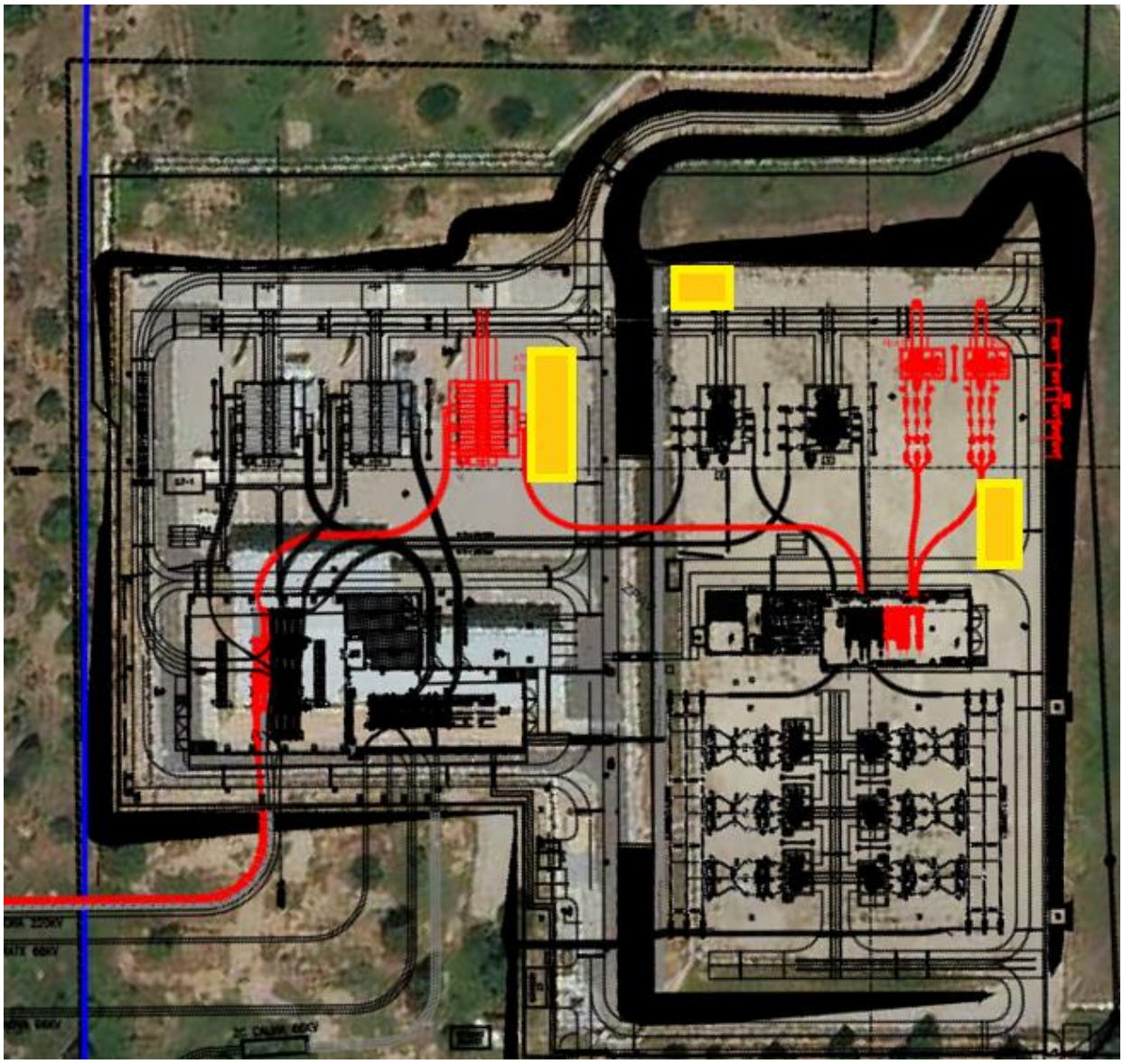
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- Los contenedores de residuos peligrosos estarán identificados según se indica en la legislación aplicable con etiquetas o carteles resistentes a las distintas condiciones meteorológicas, colocados en un lugar visible y que proporcionen la siguiente información: descripción del residuo, icono de riesgos, código del residuo, datos del productor y fecha de inicio de almacenamiento (la del primer depósito).
- Las zonas de almacenamiento de residuos peligrosos estarán protegidas de la lluvia y contarán con suelo impermeabilizado o bandejas de recogida de derrames accidentales.
- Los residuos que por sus características puedan ser arrastrados por el viento, como plásticos (embalajes, bolsas...), papeles (sacos de mortero...) etc. deberán ser almacenados en contenedores cerrados, a fin de evitar su diseminación por la zona de obra y el exterior del recinto.
- Se delimitará e identificará de forma clara una zona para la limpieza de las cubas de hormigonado para evitar vertidos de este tipo en las proximidades de la subestación. La zona será regenerada una vez finalizada la obra, llevándose los residuos a vertedero controlado y devolviéndola a su estado y forma inicial.
- Se evitará el almacenamiento de excedentes de excavación en cauces y sus zonas de policía.

Además de las zonas definidas, el campamento de obra deberá disponer de uno o más contenedores, con su correspondiente tapadera (para evitar la entrada del agua de lluvia) para los residuos sólidos urbanos (restos de comidas, envases de bebidas, etc.) que generen las personas que trabajan en la obra. Estos contenedores deberán estar claramente identificados, de forma que todo el personal de la obra sepa donde se almacena cada tipo de residuo.

En el croquis siguiente se muestran las zonas destinadas al almacenamiento de residuos. Estas zonas podrán ser redefinidas por el contratista que reflejará los cambios en el correspondiente Plan de residuos. Además, en dicho plan se incluirá la descripción de los distintos contenedores que se prevé utilizar para los distintos residuos.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU



Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

3.5 DESTINOS FINALES DE LOS RESIDUOS GENERADOS

La gestión de los residuos se realizará según lo establecido en la legislación específica vigente.

Siempre se favorecerá la reutilización y valoración de los residuos frente a la eliminación en vertedero controlado de los mismos.

- Residuos no peligrosos
  - RSU: Los residuos sólidos urbanos y asimilables (papel, cartón, vidrio, envases de plástico) separados en sus distintas fracciones serán llevados a un vertedero autorizado o recogidos por gestores autorizados. En el caso de no ser posible la recogida por gestor autorizado y de tratarse de pequeñas cantidades, se podrán depositar en los distintos contenedores que existan en el Ayuntamiento más próximo.
  - Excedentes de excavación, escombros, y excedentes de hormigón: como ya se ha comentado dependiendo de la Caracterización ambiental de los mismos, se tratará de reutilizar en la obra, si no es posible se gestionarán en el vertedero autorizado, adecuado a la naturaleza resultante de la Caracterización.
  - Chatarra: se entregará a gestor autorizado para que proceda al reciclado de las distintas fracciones.

- Residuos peligrosos

Los residuos peligrosos se gestionarán mediante gestor autorizado. Se dará preferencia a aquellos gestores que ofrezcan la posibilidad de valorización como destino final frente a la eliminación.

Antes del inicio de las obras los contratistas están obligados a programar la gestión de los residuos que prevé generar. En el *Plan de gestión de residuos de construcción* se reflejará la gestión prevista para cada tipo de residuo: planes para la reutilización de excedentes de excavación u hormigón, retirada a vertedero y gestiones a través de gestor autorizado (determinando los gestores autorizados), indicando el tratamiento final que se llevará a cabo en cada caso.

Como anexo a dicho plan el contratista deberá presentar la documentación legal necesaria para llevar a cabo las actividades de gestión de residuos:

- Acreditación como productor de residuos en la Comunidad Autónoma en la que se llevan a cabo los trabajos.
- Autorizaciones de los transportistas y gestores de residuos (las correspondientes según se trate de residuos peligrosos o no peligrosos).
- Autorizaciones de vertederos y depósitos.
- Contratos de tratamiento de los residuos que se prevé generar (residuos peligrosos).

Al final de los trabajos, el contratista proporcionará la documentación acreditativa de las gestiones de residuos realizadas:

- Documentos de identificación.
- Notificaciones de traslado.
- Albaranes de retirada o documentos de entrega de residuos no peligrosos.
- Permisos de vertido/reutilización de excedentes de excavación.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Para obras de corta duración (máximo 3 meses) se podrá realizar una entrega al finalizar la obra. En el caso de obras con mayor duración se entregará antes de final de mes las evidencias de las gestiones realizadas en el mes anterior.

3.6 VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE GESTIÓN

En la tabla siguiente se incluye una estimación de los costes de la gestión de los residuos. Se resalta que el coste es muy aproximado pues los precios están sometidos a bastante variación en función de los transportistas y gestores utilizados y las cantidades estimadas en este estado del proyecto también se irán ajustando con el desarrollo del mismo.

TIPO DE RESIDUO	CÓDIGO	UNIDAD	COSTE (EUROS)
Excedentes de excavación	170504	m^3	105000
Restos de hormigón	170101	m^3	370
Papel y cartón	150101 200101	kg	500
Maderas	170201	kg	1100
Plásticos (envases y embalajes)	170203	kg	700
Chatarras metálicas	170405 170407 170401 170402	kg	300
Restos asimilables a urbanos	200301	kg	70
Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (Si segregan)	150102 150104 150105 150106	kg	700
Trapos impregnados	150202*	kg	150
Tierras contaminadas	170503*	m^3	800
Envases que han contenido sustancias peligrosas	150110* 150111*	kg	50
Residuos vegetales (podas y talas)	200201	kg	500

Nota: los costes reflejados son costes estimados, dado que para su cálculo se han tomado precios de referencia. Los costes serán actualizados en el correspondiente plan de residuos, a entregar por el contratista.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 2

ANEXO 2

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

CAPÍTULO 1. OBJETO DE ESTE ESTUDIO 4

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA 5

2.1 SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA OBRA 5

2.2 PRESUPUESTO, PLAZO DE EJECUCIÓN Y MANO DE OBRA 7

2.3 CONTROL DE ACCESOS 8

2.4 TRABAJOS PREVIOS, INTERFERENCIAS Y SERVICIOS AFECTADOS 8

2.5 UNIDADES CONSTRUCTIVAS QUE COMPONEN LA OBRA 8

2.5.1 Movimiento de tierras 8

2.5.2 Obra civil 8

2.5.3 Montaje de estructuras y equipos 9

2.6 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS 9

2.6.1 Organización de la seguridad 11

2.6.2 Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra 11

2.6.3 Formación 12

2.6.4 Medicina preventiva 12

2.6.5 Medios de protección 12

2.7 LOCALES DE DESCANSO Y SERVICIOS HIGIÉNICOS 12

2.8 DISPOSICIONES DE EMERGENCIA 13

2.8.1 Vías de evacuación 13

2.8.2 Iluminación 13

2.8.3 Ventilación 13

2.8.4 Ambientes nocivos y factores atmosféricos 14

2.8.5 Detección y lucha contra incendios 14

2.8.6 Primeros auxilios 14

2.9 PLAN DE SEGURIDAD 14

CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES 15

3.1 NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN 15

3.2 NORMATIVA INTERNA DE RED ELÉCTRICA 15

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 4. PRESUPUESTO DE SEGURIDAD 16

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 1. OBJETO DE ESTE ESTUDIO

Este Estudio de Seguridad y Salud establece las medidas de Seguridad que deben adoptarse en los trabajos de obra civil y montaje electromecánico a realizar en la ampliación de la subestación SANTA PONSA 132/220 kV. Facilitando la aplicación que la Dirección Facultativa debe realizar de tales medidas, conforme establece el R.D. 1627/97 por el que se establecen disposiciones mínimas de Seguridad en las Obras de Construcción.

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

Este Estudio se incluye como anexo a todos los contratos firmados entre Red Eléctrica de España, S. A. (en adelante, RED ELÉCTRICA) y las empresas contratistas que intervengan en la obra.

La empresa contratista quedará obligada a elaborar un Plan de seguridad y salud en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen, en función de su propio sistema de ejecución de la obra, las previsiones contenidas en este Estudio.

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

2.1 SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La subestación de SANTA PONSA 220 kV está situada en el término municipal de Calvià, provincia de Islas Baleares, Islas Baleares.

La ubicación queda reflejada en el plano de situación geográfica del documento Planos del presente proyecto.

Atendiendo las características ambientales del emplazamiento seleccionado esta instalación se realiza con tecnología convencional con aislamiento en aire.

Las condiciones ambientales del emplazamiento son las siguientes:

- Altura media sobre el nivel del mar..... 57 m
- Temperaturas extremas..... + 40º C/-20º C
- Contaminación ambiental..... Bajo
- Nivel de niebla ..... Medio

Para el cálculo de la sobrecarga del viento, se ha considerado viento horizontal con velocidad de 140 km/h.

La instalación de las nuevas posiciones se realizará con la siguiente distribución:

Parque de 220 kV

Calle	Existente		Con la ampliación		
	Posición	Nº de interruptores	Posición	Nº de interruptores	Nº de interruptores nuevos
1	Transformador transporte ATP5	1	ATP5-1	1	0
1	Transformador transporte ATP5 (Central)	1	ATP5-0	1	0
1	Transformador transporte ATP5	1	TRP1-2	1	0
2	Transformador transporte TRP2 (Central)	1	TRP2-1	1	0
2	Transformador transporte TRP2 (Central)	1	TRP2-0	1	0
2	Transformador transporte ATP4	1	ATP4-2	1	0
3	ECS1	1	ECS1-1	1	0
3	ECS1 (Central)	1	ECS1-0	1	0
3	VUR1	1	VUR1-2	1	0

4	VUR2	1	VUR2-1	1	0
4	VUR2 (Central)	1	VUR2-0	1	0
4	ECS2	1	ECS2-2	1	0
5	Transformador transporte ATP3	**0**	ATP3-1	**1**	**1**
5	Transformador transporte ATP3 (Central)	**0**	ATP3-0	**1**	**1**
5	Compensador Síncrono 1	**0**	CSS1-2	**1**	**1**
6	Compensador Síncrono 2 (Futuro)	**0**	Reserva	**0**	**0**
6	Compensador Síncrono 2 Central (Futuro)	**0**	Rserva	**0**	**0**

Parque de 132 kV

Calle	Existente		Con la ampliación		
	Posición	Nº de interruptores	Posición	Nº de interruptores	Nº de interruptores nuevos
1	Transformador transporte ATP4	1	ATP4-1	1	0
1	Transformador transporte ATP4 (Central)	1	ATP4-0	1	0
1	TRN2	1	TRN2-2	1	0
2	TRN1	1	TRN1-1	1	0
2	TRN1 (Central)	1	TRN1-0	1	0
2	ATP5	1	ATP5-2	1	0
3	Reserva	0	Reserva	0	0
3	Transformador transporte ATP4 (Central)	**0**	ATP5-0	**1**	**1**
3	Transformador transporte ATP4	**0**	ATP5-2	**1**	**1**
4	RPT7	0	RPT7	1	1 (AIS)
4	RPT8	0	RPT8	1	1 (AIS)

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Para ello se procederá a realizar las siguientes actividades:

- Las cimentaciones de las estructuras metálicas de soporte de la aparamenta.
- Se construirán canales cables de reducida profundidad que unirán el parque con el edificio de control y las casetas de relés.
- Montaje de las estructuras metálicas de soportes de aparamenta.
- Montaje de la aparamenta correspondientes a las calles equipadas y a sus embarrados de conexión.
- Montaje de embarrados principales.
- Se modificarán los Sistemas de Control, Telecomunicaciones, Protección y Medida, instalando los BR's en sus casetas de relés.
- Se ampliaran los servicios de c.a y c.c. de Servicios Auxiliares,
- Será modificada la red de tierras así como a la instalación de fuerza y alumbrado.
- Instalación de la cuba de las reactancias y el transformador

La disposición física de los elementos del parque responde a lo normalizado por RED ELÉCTRICA para instalaciones de 220 kV, cuyas características principales son:

- Entre ejes de aparellaje ..... 4.000 mm
- Entre ejes de conductores tendidos ..... 4.000 mm
- Anchura de posiciones..... 13.500 mm
- Altura de embarrados de interconexión entre aparatos.... 6.000 mm
- Altura de embarrados altos ..... 10.500 mm
- Altura de embarrados tendidos altos ..... 14.950 mm

2.2 PRESUPUESTO, PLAZO DE EJECUCIÓN Y MANO DE OBRA

La obra adjudicada a contratistas se estima en los siguientes valores

Actividad contratada	Presupuesto (K€)	Jornadas - hombre Previstas	Plazo ejecución (meses)
Obra civil del parque	1.800	1000	3,0
Montaje de la estructura	415	1500	2,0
Montaje de la aparamenta	1180	700	2,0
Montaje en b.t.	200	300	1,0

Presupuesto adjudicado	3.395	Kilo €uros
Volumen mano de obra estimada	3500	Jornadas - hombre

Punta de trabajadores	25 Trabajadores

En virtud de estos valores y conforme a lo establecido en el art. 4 del R.D. 1627/1997 para *Obras de construcción o ingeniería civil*, donde se expone que hay obligatoriedad de elaborar un Estudio de Seguridad en los casos en que se superen alguna de las de las circunstancias siguientes:

- Cuando el presupuesto total adjudicado de obra supere 450 k€.
- Cuando el volumen de mano de obra supere 500 jornadas – hombre.
- Cuando la duración sea superior a 30 días y haya 20 o más trabajadores.

Se procede a elaborar este Estudio de Seguridad y Salud.

2.3 CONTROL DE ACCESOS

Dado que la situación de la subestación, está alejada de núcleos urbanos o zonas de paso, la presencia de personal ajeno a la obra es improbable. A pesar de ello, la parcela se encuentra vallada, por lo que no procede ninguna actuación en este campo.

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

2.4 TRABAJOS PREVIOS, INTERFERENCIAS Y SERVICIOS AFECTADOS

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

2.5 UNIDADES CONSTRUCTIVAS QUE COMPONEN LA OBRA

2.5.1 Movimiento de tierras

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

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

- Acopio

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

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

2.5.2 Obra civil

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Consiste en la realización de cimentaciones, canales de cables y drenajes.

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

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

- Cimentaciones de soportes

Las cimentaciones para las estructuras soportantes de la nueva aparamenta se realizarán en dados de hormigón armado.

- Canales de cables

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

2.5.3 Montaje de estructuras y equipos

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

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

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

- Trabajos de cableado y trabajos en baja tensión (b.t.)

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

El montaje de los equipos de control, protecciones, comunicaciones y medidas se realizará simultáneamente a los trabajos de cableado.

- Puesta en servicio

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

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

2.6 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

- La inadecuación de los puestos de trabajo a las características de los trabajadores especialmente sensibles a ciertos riesgos.

Por ello las empresas contratistas adjudicatarias de los trabajos deben disponer de una evaluación de riesgos genérica concerniente a sus trabajos.

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

2.6.1 Organización de la seguridad

- Coordinador en materia de seguridad y salud

Las tareas de obra civil y montaje electromecánico si bien estarán programadas en su mayor parte en periodos distintos, pueden que en algún momento interfieran entre sí, por lo que si así fuera sobre la base del Art. 3 del R.D. 1627, RED ELÉCTRICA en su calidad de promotor procederá a nombrar coordinador en materia de seguridad.

- Jefes de trabajo de las empresas contratistas

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

- Vigilante de seguridad de la empresa contratista

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

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

2.6.2 Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra

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

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

b) Dar las debidas instrucciones a los empleados.

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

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

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

g) La recogida de los materiales peligrosos utilizados.

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

i) La cooperación entre RED ELÉCTRICA y el contratista.

2.6.3 Formación

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

La empresa contratista garantizará que el personal de sus empresas subcontratadas será informado del contenido del Plan de seguridad.

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

2.6.4 Medicina preventiva

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

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

2.6.5 Medios de protección

Antes del inicio de los trabajos todo el material de seguridad estará disponible en la obra, tanto el de asignación personal como el de utilización colectiva.

Así mismo, todos los equipos de protección individual se ajustarán a lo indicado en el R.D. 773/1997 sobre *Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.*

2.7 LOCALES DE DESCANSO Y SERVICIOS HIGIÉNICOS

A tenor de lo establecido en el R.D. 486/1997 sobre *Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo* y particularmente en su Anexo V, el contratista dispondrá de los locales y servicios higiénicos necesarios

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

2.8 DISPOSICIONES DE EMERGENCIA

2.8.1 Vías de evacuación

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

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

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

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

2.8.2 Iluminación

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

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

- Instalaciones de suministro y reparto de energía

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

  El suministro eléctrico se tomará de la red existente

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

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

2.8.3 Ventilación

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

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

Los trabajos a realizar en este tipo de recintos deberán en todo momento tener vigilancia desde el exterior, con una comunicación continua entre los trabajadores que permanezcan en el interior y exterior del

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

recinto confinado. Tomándose todas las debidas precauciones para que se le pueda prestar auxilio eficaz e inmediato.

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

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

2.8.4 Ambientes nocivos y factores atmosféricos

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

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

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

2.8.5 Detección y lucha contra incendios

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

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

No existirán bocas de extinción de incendios al no disponer el recinto de acometida de aguas.

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

2.8.6 Primeros auxilios

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

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

El contratista expondrá, para conocimiento de todos sus trabajadores la dirección de los centros de asistencia más próximos.

2.9 PLAN DE SEGURIDAD

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

El Plan de Seguridad una vez aprobado debe ser el documento aplicable en obra, para lo cual debe permanecer en poder del jefe de trabajo y del coordinador de seguridad.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES

3.1 NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN

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

- Ley 31/95 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales
- Ley 54/03 de 12 de diciembre de Reforma del Marco Normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 1627/97 de 24 de octubre sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- R.D. 171/04 de 30 enero, por el que desarrolla el Art. 24 de la Ley 31/95, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.
- R.D. 614/2001 de 8 de junio sobre Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- R.D. 486/97 de 14 de abril sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de abril sobre Manipulación manual de cargas.
- R.D. 773/97 de 30 de mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- R.D. 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

3.2 NORMATIVA INTERNA DE RED ELÉCTRICA

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

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

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

CAPÍTULO 4. PRESUPUESTO DE SEGURIDAD

SE SANTA PONSA

Duración del trabajo: (meses) 8
Operarios previstos: 25

Material de asignación personal

Nº de orden	Concepto	Dotación anual por operario	Unidades equiv.	Precio Udad (€uros)	Coste total (€uros)
1	Casco de protección	2	33	5,11	169
2	Botas de seguridad	4	67	46,58	3.121
3	Botas de agua.	2	33	38,43	1.268
4	Guantes de trabajo.	36	600	4,38	2.628
5	Arnés de cintura o completo	0,5	8	146,12	1.169
6	Dispositivos anticaida y compl.	0,5	8	90,29	722
7	Trajes impermeables.	2	33	28,33	935
8	Gafas antiimpactos.	6	100	4,78	478
9	Pantalla de protección facial	2	33	9,44	312
10	Pantallas y gafas para soldadura	1	17	7,81	133
11	Mandiles, polaina, guantes soldadura	1	17	26,38	448
12	Ropa de trabajo	2	33	69,20	2.284
				Coste Parcial	**13.667**

Material de asignación colectiva

Nº de orden	Concepto	Dotación anual	Unidades equivalentes	Precio Udad (€uros)	Coste total (€uros)
1	Cuerda 100m Línea de Seguridad	4	3	107,94	324
2	Complementos uso Lín. Seg.	10	7	120,05	840
3	Malla perforada de delimitación	1.000	667	0,49	327
4	Cinta o cadena de delimitación	1000	667	0,04	27
5	Señales de obligación e informativas	60	40	3,01	120
6	Botiquín primeros auxilios	2	1	18,06	18
7	Tablero o camilla evac. accidentados	1	1	253,80	254
8	Extintores	4	3	30,80	92
				Coste Parcial	**2.002**

Formación + Medicina preventiva

Nº de orden	Concepto	Unidades	Precio Udad (€uros)	Coste total (€uros)
1	Charla informativa seg. y prim.auxilios	25	34,00	850
2	Reconocimientos médicos	25	30,50	763
			Coste Parcial	**1.613**

Total **17.282**

Asciende este Presupuesto de Seguridad a la cantidad de: DIECISIETE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 3

PLANOS

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

ÍNDICE DE PLANOS

	Nº DE PLANO
1. Situación y emplazamiento	P-PNSB1003-C
2. Esquema unifilar simplificado. Parque de 220 kV (Actual)	P-PNSA2001-D
3. Esquema unifilar simplificado. Parque de 220 kV (Futuro)	P-PNSA2001-E
4. Esquema unifilar simplificado. Parque de 132 kV (Actual)	P-PNSA3000-D
5. Esquema unifilar simplificado. Parque de 132 kV (Futuro)	P-PNSA3000-E
6. Implantación general (Actual)	P-PNSB10002-L
7. Implantación general (Futuro)	P-PNSB10002-M
8. Planta general (Actual)	P-PNSB20001_001-E
9. Planta general (Futuro)	P-PNSB20001_001-F
10. Secciones generales (Actual)	P-PNSB20002-D
11. Secciones generales (Futuro)	P-PNSB20002-E
12. Planta fundaciones y canales (Actual)	P-PNSC50001-R
13. Planta fundaciones y canales (Futuro)	P-PNSC50001-S
14. Planta general de red de tierras (Actual)	P-PNSF1000-E
15. Planta general de red de tierras (Futuro)	P-PNSF1000-F
16. Disposición de equipos en parque 132kV (Actual)	P-PNSJ2000-F
17. Disposición de equipos en parque 132kV (Futuro)	P-PNSJ2000-G
18. Disposición de equipos en parque 220kV (Actual)	P-PNSJ20001-H
19. Disposición de equipos en parque 220kV (Futuro)	P-PNSJ20001-I

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Madrid, Noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

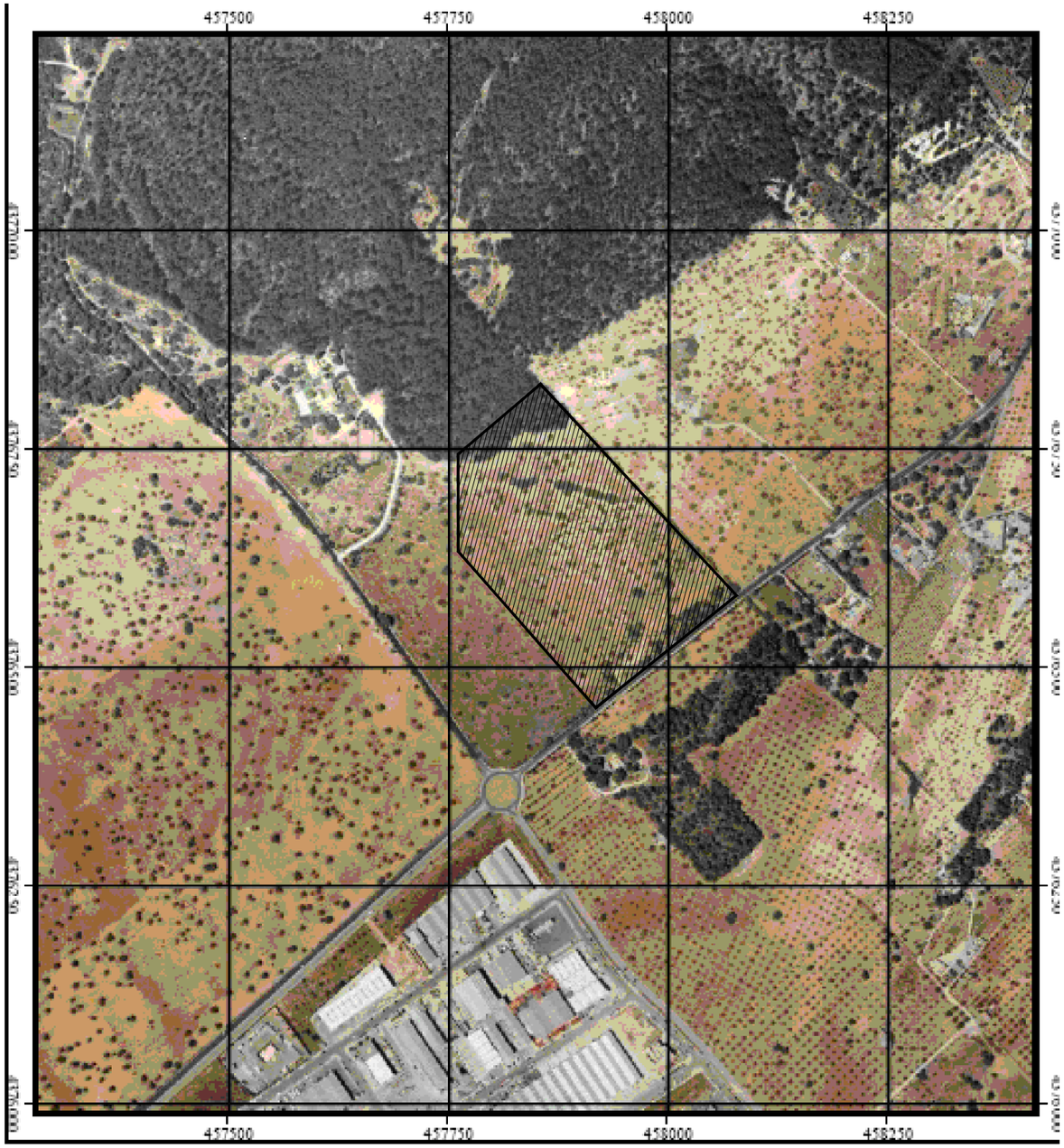


David González Jouanneau

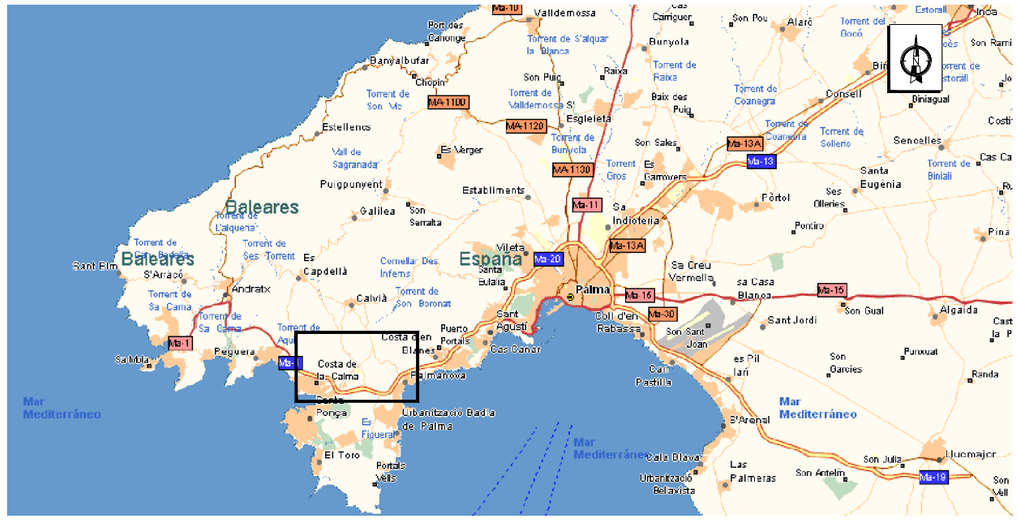
Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

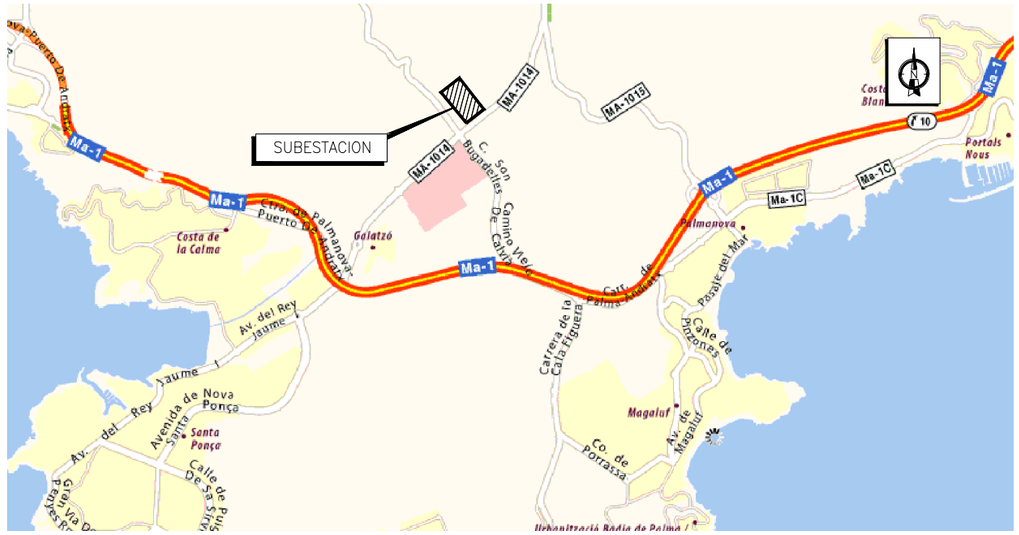
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU



ORTOFOTO



PLANO DE EMPLAZAMIENTO



PLANO DE SITUACION

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
C	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV
B	05-16	R.H.A.	R.E.E.	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO
A	03-13	A.M.G.	R.E.E.	ACTUALIZACION PARA C.I.C. PARQUE 132 kV

red eléctrica

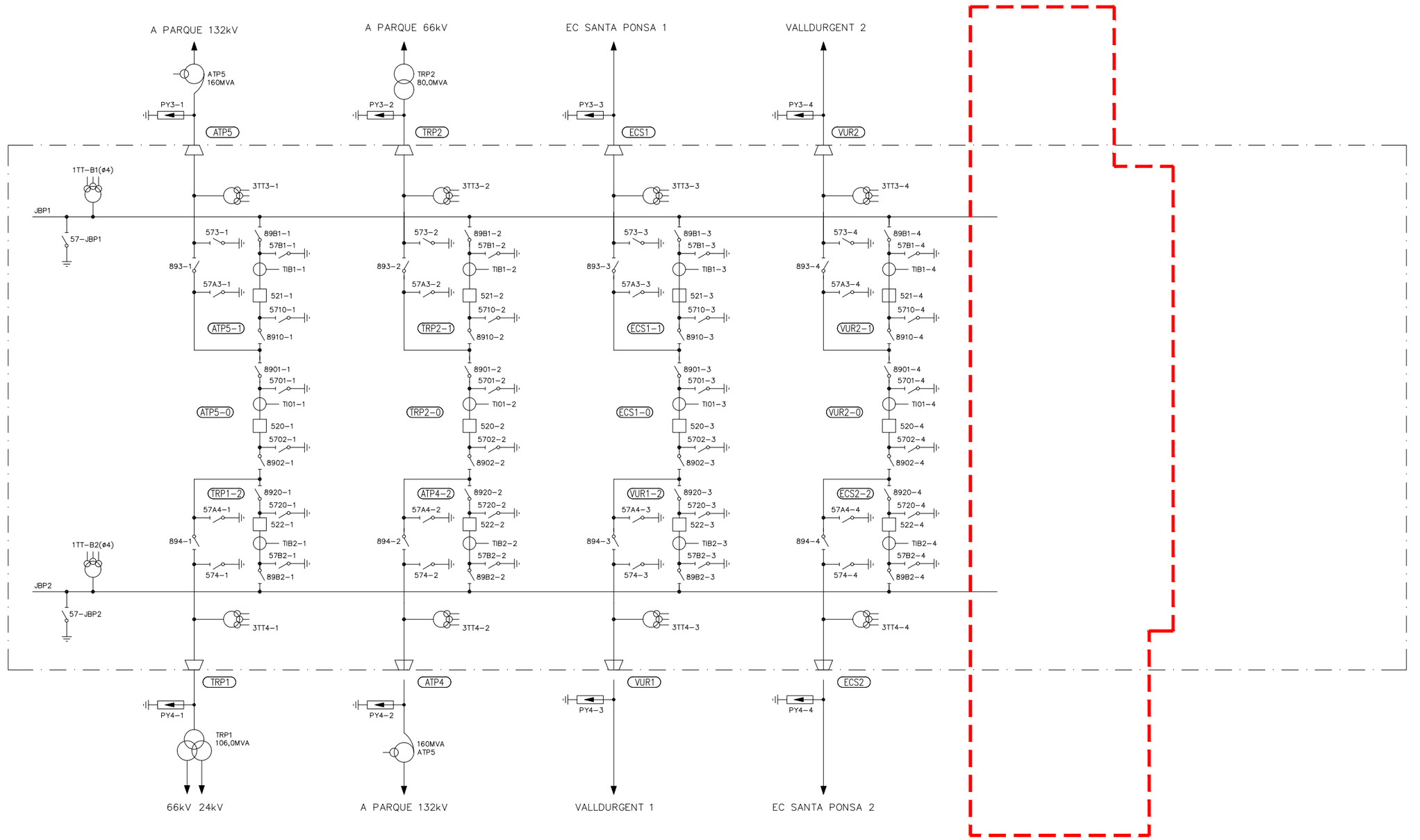
INSTALACIÓN	220/132/66 kV SANTA PONSA	VALIDO PARA PTA	
		COORD.	HUSO
		CÓDIGO	J-0806-S1827-1
TÍTULO	IMPLANTACION PLANO DE SITUACION Y EMPLAZAMIENTO SITUACION FUTURA	A3	S/E
		Nº P-PNSB1003	HOJA

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, licencia para su reproducción total o parcial, modificación o distribución que, en todo caso, estarán prohibidas salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, licencia para su reproducción total o parcial, modificación o distribución que, en todo caso, estarán prohibidas salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU



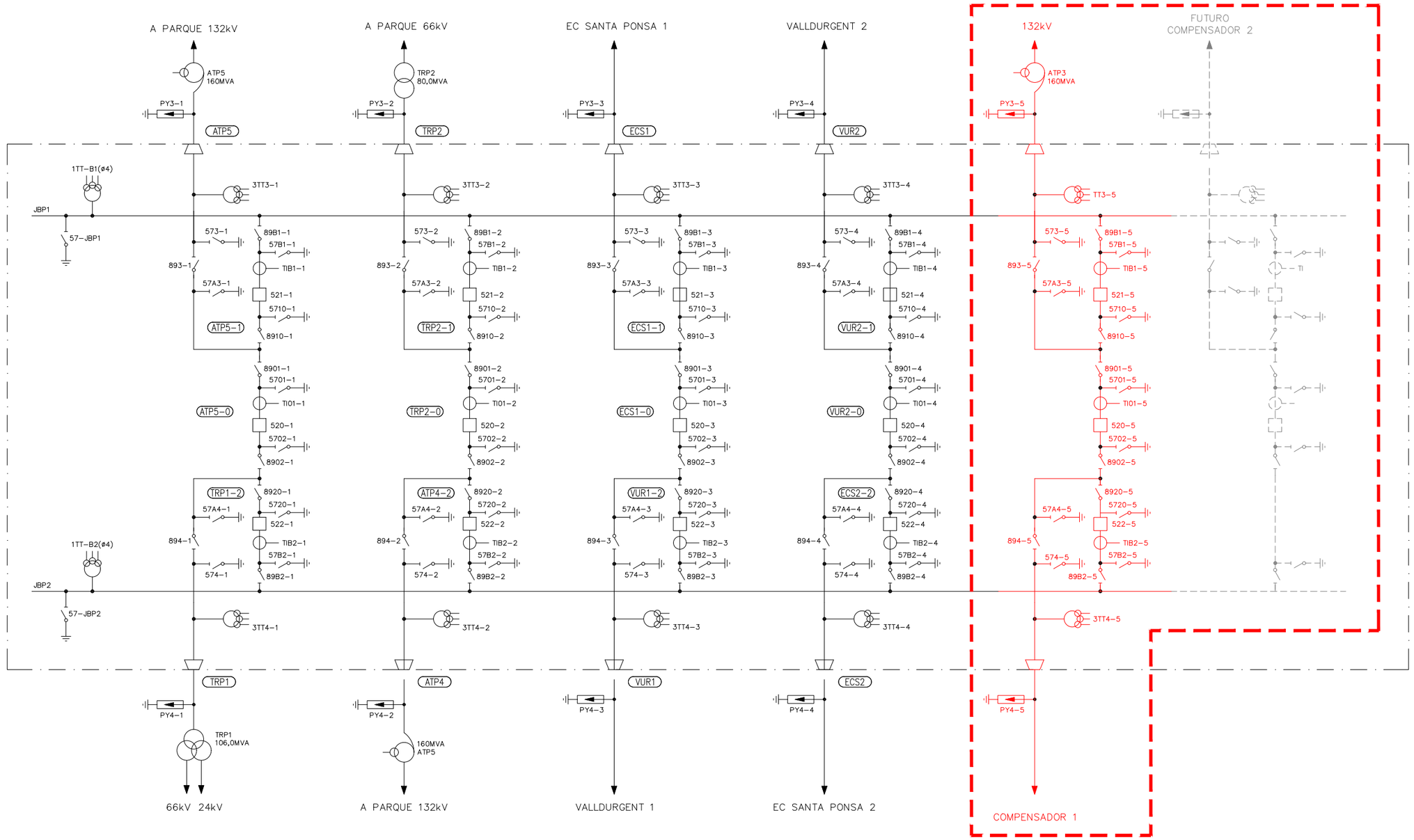
D	10-12	S.S.S.	R.E.E.	CONFORME A OBRA (ISASTUR)
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN

red eléctrica

INSTALACIÓN	220 kV SANTA PONSA	COORD.	HUSO
TÍTULO	ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO SITUACION ACTUAL	CÓDIGO	J-0806-S1827-1
		A3	S/E
		Nº	P-PNSA2001 HOJA

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, licencia para su reproducción total o parcial, modificación o distribución que, en todo caso, estarán prohibidas salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925
Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU Nº Colegiado: 11729



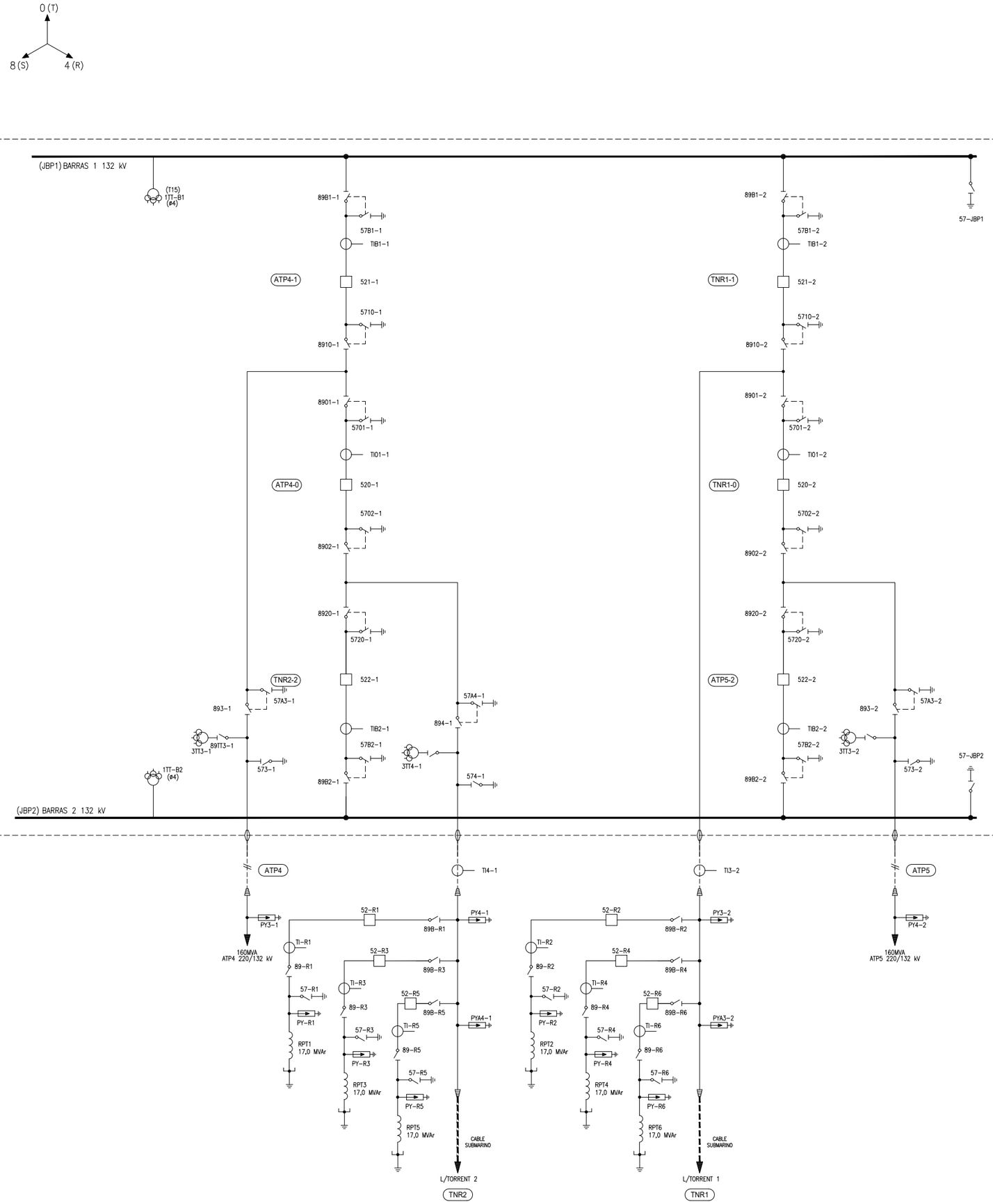
E	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132 kV + APT3 220 kV
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN

red eléctrica

INSTALACIÓN	220 kV SANTA PONSA	COORD.	HUSO
TÍTULO	ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO SITUACION FUTURA	CÓDIGO	J-0806-S1827-1
		A3	S/E
		Nº	P-PNSA2001 HOJA

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual de presente documento, todos los derechos están reservados y por tanto no contenido pertenece único y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, fuente para su reproducción total o parcial, modificación o distribución de, en todo caso, estarán prohibidas sobre previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asumirá ningún responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU



EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
D	05-16	D.M.L.	R.E.E.	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO
C	09-15	D.M.L.	R.E.E.	CAMBIO DENOMINACION TRP4 Y TRP5 POR ATP4 Y ATP5

red eléctrica

INSTALACIÓN: 132 kV SANTA PONSA

TÍTULO: ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO SITUACION ACTUAL

VALIDO PARA PTA

COORD. | HUSO

CÓDIGO J-0806-S1827-1

Nº P-PNSA3000 | HOJA

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., en la más alta de todos los derechos de propiedad intelectual de presente documento, todos los derechos están reservados y por tanto no contenido pertenece único y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, fuente para su reproducción total o parcial, modificación o distribución de, en todo caso, estarán prohibidas sobre previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asumirá ningún responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 375049253. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

0 (T)
8 (S) 4 (R)

(JBP1) BARRAS 1 132 kV

(T15) 1TT-B1 (ø4)

89B1-1
57B1-1
TIB1-1
ATP4-1
521-1
5710-1
8910-1
8901-1
5701-1
TI01-1
ATP4-0
520-1
5702-1
8902-1
8920-1
5720-1
522-1
TIB2-1
57B2-1
89B2-1
TNR2-2
57A3-1
893-1
3TT3-1
89TT3-1
573-1
1TT-B2 (ø4)
57A4-1
894-1
3TT4-1
574-1

89B1-2
57B1-2
TIB1-2
TNR1-1
521-2
5710-2
8910-2
8901-2
5701-2
TI01-2
TNR1-0
520-2
5702-2
8902-2
8920-2
5720-2
522-2
TIB2-2
57B2-2
89B2-2
ATP5-2
57A3-2
893-2
3TT3-2
573-2
57-JBP1
57-JBP2

(JBP2) BARRAS 2 132 kV

ATP4
PY3-1
160MVA ATP4 220/132 kV
TI4-1
52-R1
89B-R1
PY4-1
TI-R1
89-R1
57-R1
PY-R1
RPT1 17,0 MVAr
52-R3
89B-R3
TI-R3
89-R3
57-R3
PY-R3
RPT3 17,0 MVAr
52-R5
89B-R5
PYA4-1
TI-R5
89-R5
57-R5
PY-R5
RPT5 17,0 MVAr
CABLE SUBMARINO
L/TORRENT 2
TNR2

TI3-2
52-R2
89B-R2
PY3-2
TI-R2
89-R2
57-R2
PY-R2
RPT2 17,0 MVAr
52-R4
89B-R4
TI-R4
89-R4
57-R4
PY-R4
RPT4 17,0 MVAr
52-R6
89B-R6
PYA3-2
TI-R6
89-R6
57-R6
PY-R6
RPT6 17,0 MVAr
CABLE SUBMARINO
L/TORRENT 1
TNR1

ATP5
PY4-2
160MVA ATP5 220/132 kV

89B1-3
57B1-3
8901-3
5701-3
TI01-3
520-3
5702-3
8902-3
8920-3
5720-3
522-3
TIB2-3
57B2-3
89B2-3
57A3-3
893-3
3TT3-3
573-3
89B1-R7
57B1-R7
57B2-R8
89B2-R8
ATP3
PY4-3
160MVA ATP3 220 kV
522-R8
TIB2-R8
574-R8
RPT8 150 MVAR
PY4-R8A
PY4-R8

PY4-R7A
PY4-R7
150 MVAR RPT7
522-R7
TIB2-R7
574-R7

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
E	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132 kV + APT3 220 kV
D	05-16	D.M.L.	R.E.E.	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO
C	09-15	D.M.L.	R.E.E.	CAMBIO DENOMINACION TRP4 Y TRP5 POR ATP4 Y ATP5

red eléctrica

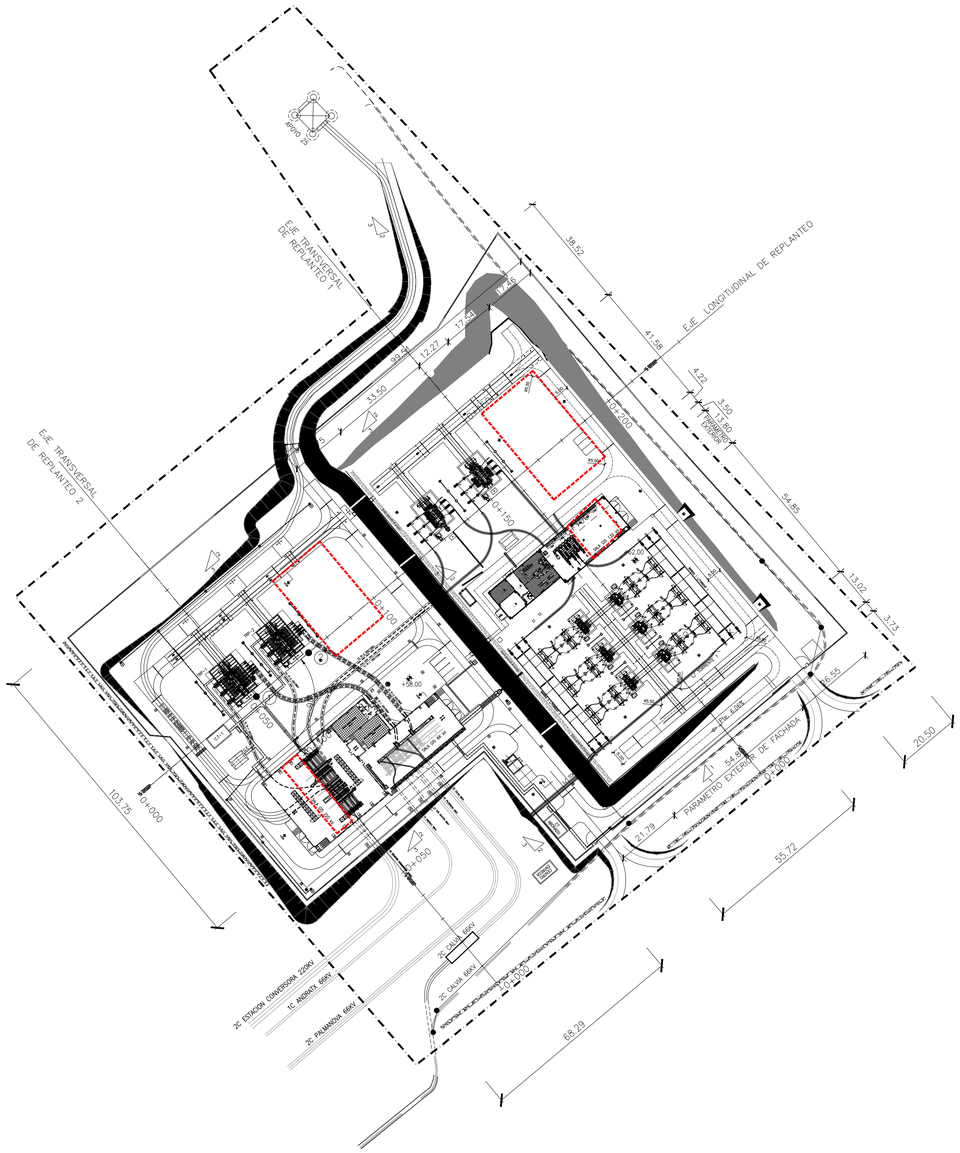
INSTALACIÓN: 132 kV SANTA PONSA

TÍTULO: ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO SITUACION FUTURA

COORD. | HUSO

CÓDIGO: J-0806-S1827-1

Nº | HOJA



AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

COORDENADAS DE EJES		
PUNTO 1	X=457863.817	Y=4376576.011
PUNTO 2	X=457880.862	Y=4376590.313

LAS COORDENADAS INDICADAS ESTAN REFERIDAS AL SISTEMA DE PROYECCION UTM

PARCELA CATASTRO
PARCELA AFECCIÓN DE R.E.E.
MURO DE PIEDRA SECA
TORRES DE ENTRADA DE LINEA

REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
L	05-16	INTRADEL	INTRADEL	INTRADEL	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO	R.H.A.
K	07-12	O.D.G.	R.L.C.	O.D.G.	ACTUALIZACION	A.M.G.
J	04-14	O.D.G.	R.L.C.	O.D.G.	PROYECTO J-0806-S3690	A.M.G.
I	09-13	C.B.O.	V.G.L.	R.J.A.	SEGÚN COMENTARIOS REE	R.H.A.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

INSTALACION
SUBESTACION DE SANTA PONSA
PARQUE DE 220/132/66 kV

ISASTUR INGENIERIA

N° 103101 P G00 22 004

	FECHA	NOMBRE
PROYECTADO	MAY-10	R.J.A
DIBUJADO	MAY-10	V.G.L.
COMPROBADO	MAY-10	R.J.A.
APROBADO POR R.E.E.	DIC-09	R.H.A.

TITULO
IMPLANTACION
PLANTA GENERAL
SITUACION ACTUAL

FORMATO: DIN A1
ESCALA: 1/1000
N° P-PNSB10002 Rev. L
HOJA – SIGUE –

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. Queda expresamente prohibida su reproducción, modificación, distribución, transformación, comunicación pública, puesta a disposición, extracción y reutilización, por cualquier medio, total o parcial, sin el consentimiento expreso y por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205413 - Fecha Visado: 05/12/2022 - Firmado electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coim.es/VerificarVisado. Cod.Ver: 37594525 - Nº Colegiado: 11726 - Colegiado: DAVID GONZALEZ ZAMARREÑO

Este documento y toda la información en el contenidos son propiedad de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. Se prohíbe su reproducción, modificación, distribución, cesión, comunicación pública, puesta a disposición, extracción y reutilización, total o parcial, sin autorización expresa de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El incumplimiento de estas prohibiciones podrá ser perseguido conforme a la legislación aplicable.
This document and all the information contained in it is property of RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. Any unauthorized reproduction, modification, distribution, transfer, public communication, making available, extraction or reuse, whether partial or total, is prohibited. Failure to comply with these prohibitions may be prosecuted in accordance with the applicable legislation.

Copyright © 2022 Red Eléctrica de España, S.A.U. Todos los derechos reservados. Este documento y toda la información en el contenidos son propiedad de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. Se prohíbe su reproducción, modificación, distribución, cesión, comunicación pública, puesta a disposición, extracción y reutilización, total o parcial, sin autorización expresa de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El incumplimiento de estas prohibiciones podrá ser perseguido conforme a la legislación aplicable.

EDICION	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
0	MAY-21	J.A.S.T.	R.E.E.	NUEVA POSICION COMPENSADOR SINCRONO
B	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV

BORRADOR 0

INSTALACION: 220 kV SANTA PONSA

TITULO: IMPLANTACION GENERAL ESTUDIO VIABILIDAD COMPENSADOR SINCRONO SITUACION FUTURA

Grupo Red Eléctrica

RED ELECTRICA DE ESPAÑA

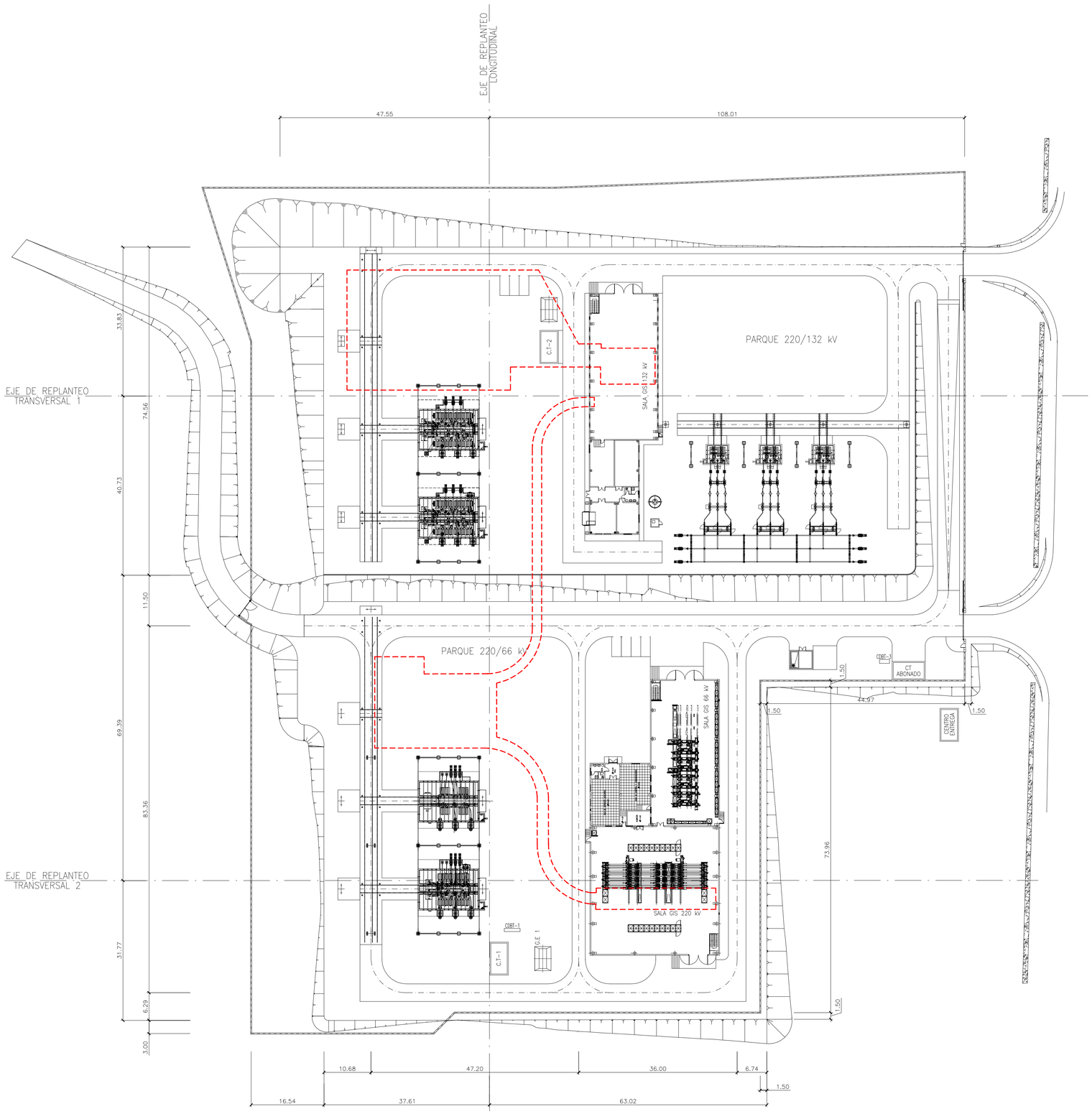
COORD.	ETRS89	HUSO 31
CODIGO	J-0806-S182K-1	
A2	1:1000	
Nº	P-PNSB10002	HOJA

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

PUNTO	X	Y
1	457860.5511	4376448.8107
2	457869.7434	4376456.5244
3	457879.3684	4376421.2187
4	457880.2878	4376421.9899
5	457882.1263	4376423.5280
6	457784.4606	4376349.6125
7	457799.5377	4376331.6322

COORDENADAS DE LOS PÓRTICOS
(ETRS89 UTM HUSO 31)

Este documento y toda la información en el contenidos son propiedad de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. Se prohíbe su reproducción, modificación, distribución, cesión, comunicación pública, puesta a disposición, extracción y reutilización, total o parcial, sin autorización expresa de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El incumplimiento de estas prohibiciones podrá ser perseguido conforme a la legislación aplicable.



AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

D	04-12	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	CONFORME A OBRA	R.H.A.
C	12-10	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	REVISION APARAMENTA	R.H.A.
B	11-10	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	REVISION GENERAL	R.H.A.
E	06-12	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	CONFORME A OBRA	R.H.A.
REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

INSTALACION
SUBESTACION DE SANTA PONSA
PARQUE DE 220/132/66 kV

ISASTUR INGENIERIA

Nº 103101 P G00 22 A01

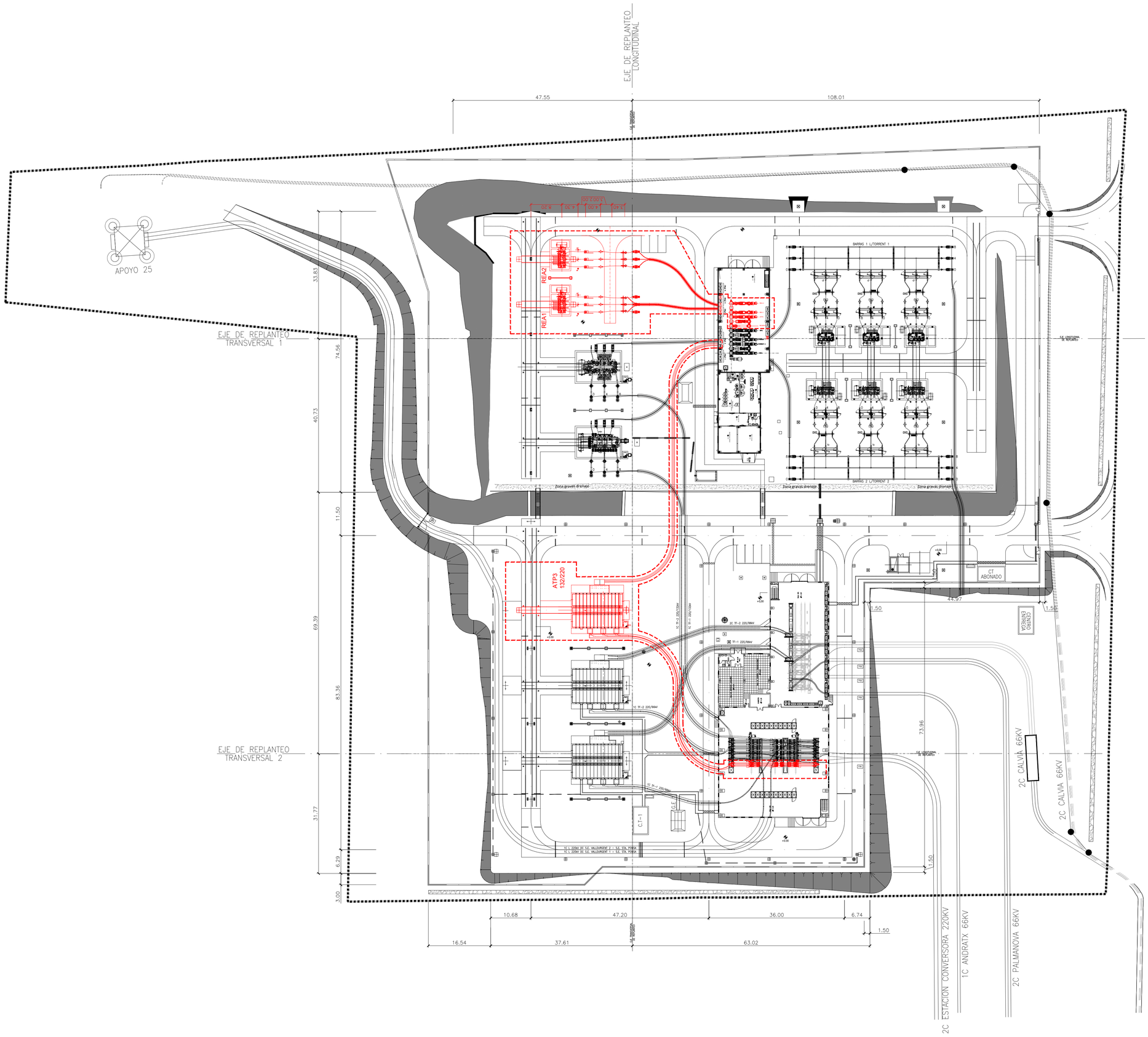
	FECHA	NOMBRE
PROYECTADO	09-2009	R.J.
DIBUJADO	09-2009	J.R.
COMPROBADO	09-2009	R.J.
APROBADO POR R.E.E.	12-2009	R.H.A.

TITULO

PLANTA GENERAL
SITUACION ACTUAL

FORMATO: DIN A2
ESCALA: 1/500
Nº P-PNSB20001 E Rev.
HOJA 001 SIGUE 002

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202203415. Fecha Visado: 05/12/2022. Firmado electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/verificacion. Cod.Ver: 17504925.
Nº Colegiado: 11726. Colegiado: DAVID GONZALEZ ZAMARREÑO



AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

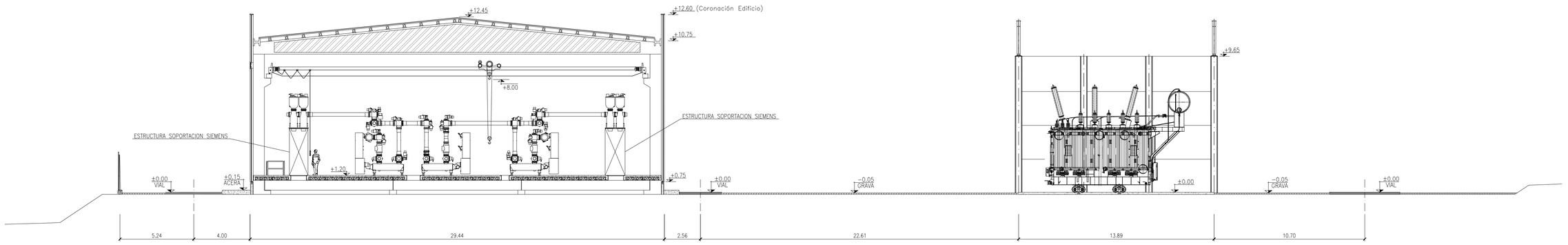
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
F	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV
E	06-12	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA
D	04-12	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA

red eléctrica

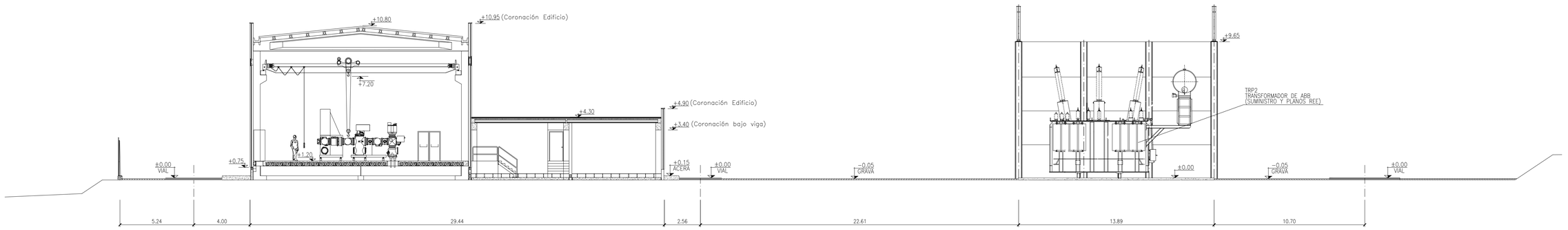
INSTALACIÓN	220/132/66 kV SANTA PONSA
TÍTULO	PLANTA GENERAL SITUACION FUTURA
VALIDO PARA PTA	
COORD.	HUSO
CÓDIGO	J-0806-S1827-1
A1	1/500
Nº	P-PNSB20001 HOJA 001

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado Nº 202209415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coim.es/verificacion. Cod.Ver: 37594925.
Nº Colegiado: 11726. Colegiado: DAVID GONZALEZ ZOZAYA(DG)

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A., a la vista de la versión de prueba impresa digitalmente, hace la presente copia mediante el procedimiento de reprografía, que es idéntica a la obtenida por fotocopia, y declara que el número de copias realizadas coincide con el de las autorizadas. Esta copia se corresponde fielmente con el original que obra en el archivo de Red Eléctrica de España. Esta copia impresa solamente puede ser utilizada para el uso concreto al que se destina y no puede ser objeto de ningún tipo de comercialización.



SECCION A–A'



SECCION B–B'

PLANOS DE REFERENCIA:

PNSB20001 PLANTA GENERAL

REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
D	06–12	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	CONFORME A OBRA	R.H.A.
C	05–12	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	CONFORME A OBRA	R.H.A.
B	11–10	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	REVISION GENERAL	R.H.A.
A	11–10	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	CAMBIO DE NUMERACION	R.H.A.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

INSTALACION
SUBESTACION DE SANTA PONSA
PARQUE DE 220/132/66 kV

ISASTUR INGENIERIA

N° 103101 P G00 22 005

	FECHA	NOMBRE
PROYECTADO	10–2009	J.E.C
DIBUJADO	10–2009	J.S.A.
COMPROBADO	10–2009	J.E.C.
APROBADO POR R.E.E.	12–2009	R.H.A.

TITULO

SECCIONES GENERALES
SITUACION ACTUAL

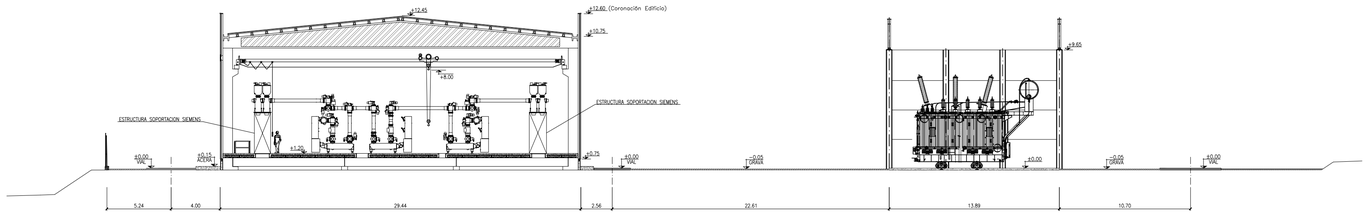
FORMATO: DIN A1

ESCALA: 1/150

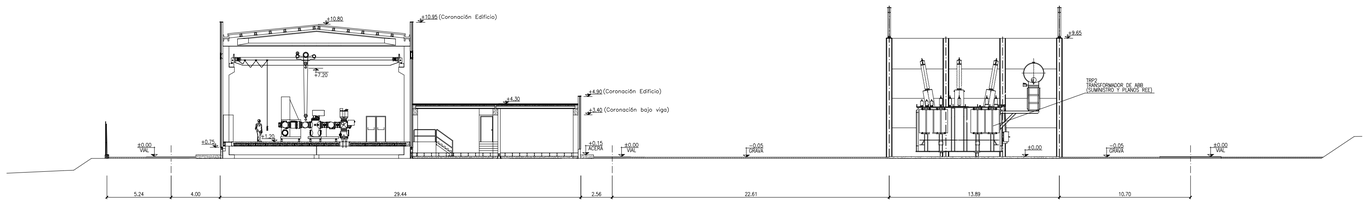
N° P–PNSB20002 D Rev.

HOJA – SIGUE –

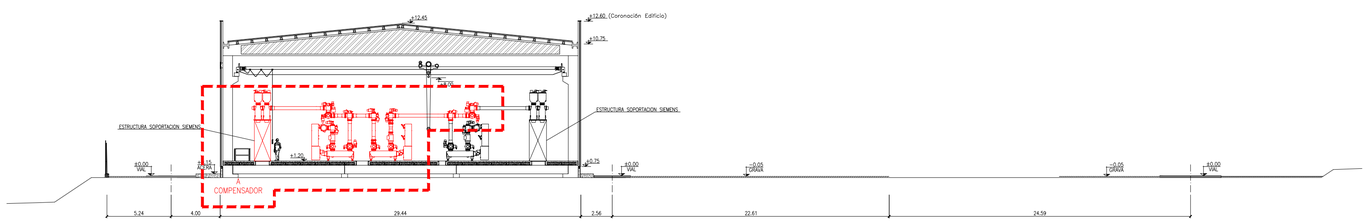
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: nº 202220415. Fecha Visado: 05/12/2022. Firmado electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coim.es/verificacion. Cod.Ver: 37304525.
Nº Colegiado/a: 11726. Colegiado/a: DAVID GONZALEZ ZAMARREÑO



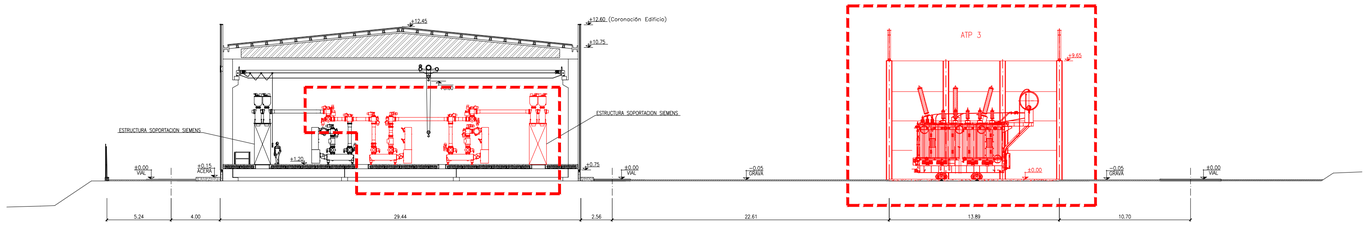
SECCION A-A'



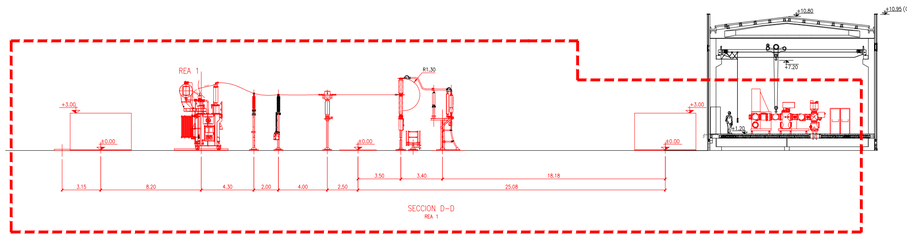
SECCION B-B'



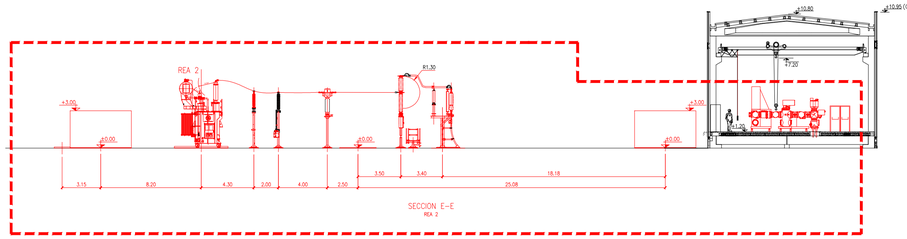
SECCION B-B'
A COMPENSADOR



SECCION C-C'
A ATP3



SECCION D-D
REA 1



SECCION E-E
REA 2

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

PLANOS DE REFERENCIA:

PNSB20001 PLANTA GENERAL

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
E	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV
D	06-12	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA
C	04-12	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA

red eléctrica

INSTALACIÓN: 220/132/66 kV SANTA PONSA

TÍTULO: SECCIÓN GENERAL SITUACION FUTURA

VALIDO PARA PTA

CODIRD. | HUSO

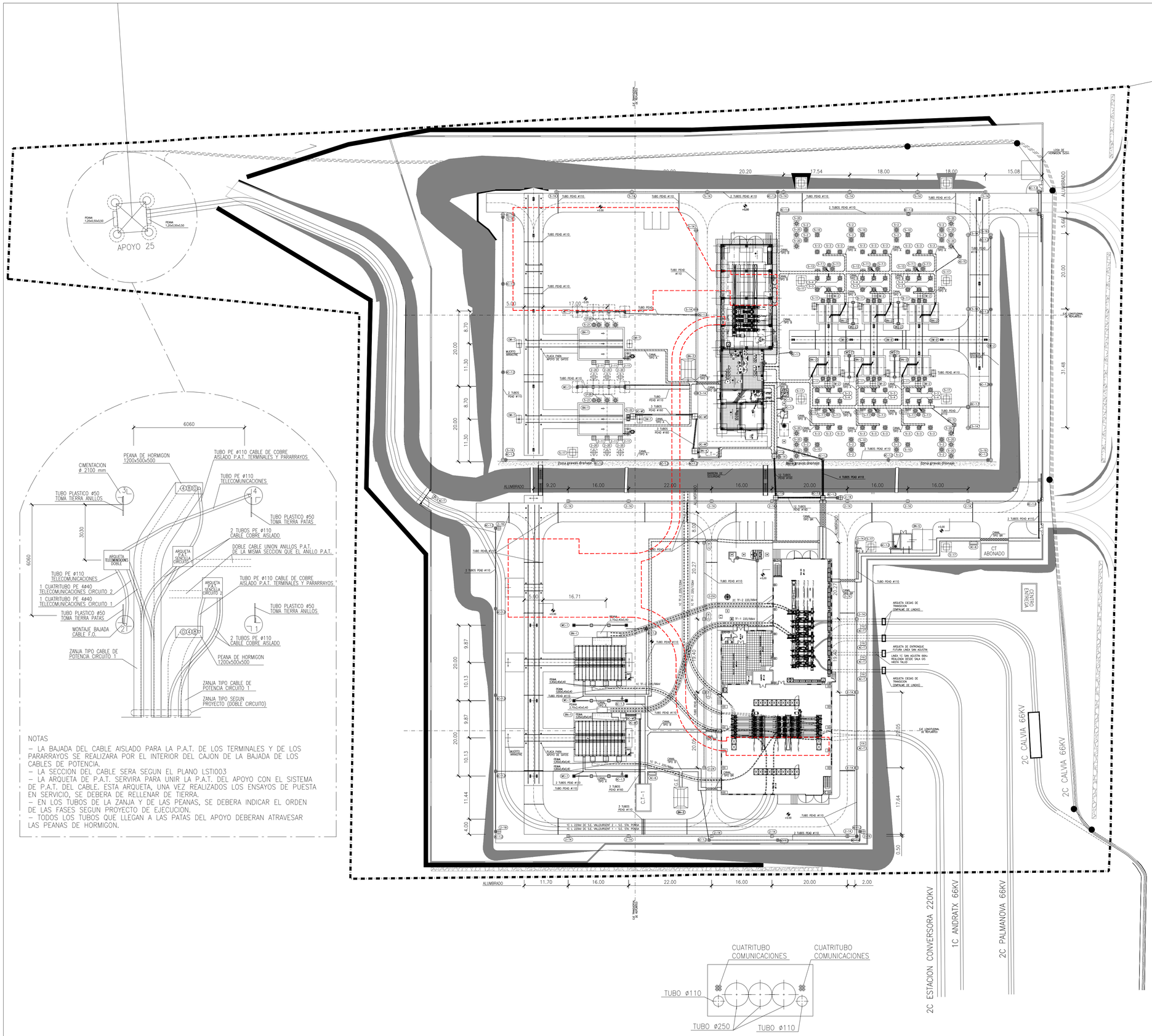
CÓDIGO J-0806-51827-1

A1 | 1/250

Nº P-PNSB20002 | HOJA 001

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205413. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 375264925. Nº Colegiado: 11726. Colegiado: DAVID GONZALEZ ZOMANEJO

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., se reserva todos los derechos de propiedad intelectual de este documento, tanto en materia relativa a derechos de autor como a cualquier otra que pudiera corresponderle. Queda prohibida su reproducción total o parcial, modificación o distribución, así como su puesta a disposición de terceros sin la autorización de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. o, en su caso, de sus legítimos titulares. Asimismo, queda prohibido el uso de este documento para cualquier finalidad distinta de la que se indica en el mismo, así como para cualquier uso que pueda causar perjuicio a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. o a terceros.



ENTRADA TUBOS EN GIS 66kV Y 220kV S/E

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

NOTAS

La entrada de los cables al sótano tendrá que hacerse de la siguiente forma:

1.–Durante la construcción se dejará un hueco en la pared del sótano que estará relleno de hormigón sin armar. Cuando se realice la obra civil de la línea se romperá el hormigón sin armar para poner los tubos. Si ya lo hacen todo junto no hará falta dejarlo relleno con hormigón sin armar.

2.–Estos huecos serán rectangulares y sus dimensiones serán de 800 mm de ancho x 600 de alto para líneas de 220 kV. En el caso de líneas de 66 kV y 132 kV las dimensiones serán 700 mm de ancho x 600 mm de alto.

3.–El lado inferior de estos huecos estará a 200 mm del suelo del sótano de la subestación.

4.–La transición de zanja a entrada en sótano hay que hacerla de manera que la pendiente máxima de la zanja no sea mayor en ningún momento del 10%.

Esto también es válido para los cruces entre zanjas.

5.–La distancia vertical entre el exterior de los tubos en un cruce entre zanjas no deberá ser menor de 25 cm.

6.–Es de obligado cumplimiento la normativa EHE.

7.–Para relación y disposición de fundaciones de 132kV VER PLANO PNSC5000.

NOTAS

– LA BAJADA DEL CABLE AISLADO PARA LA P.A.T. DE LOS TERMINALES Y DE LOS PARARRAYOS SE REALIZARA POR EL INTERIOR DEL CAJON DE LA BAJADA DE LOS CABLES DE POTENCIA.
– LA SECCION DEL CABLE SERA SEGUN EL PLANO LST1003
– LA ARQUETA DE P.A.T. SERVIRA PARA UNIR LA P.A.T. DEL APOYO CON EL SISTEMA DE P.A.T. DEL CABLE. ESTA ARQUETA, UNA VEZ REALIZADOS LOS ENSAYOS DE PUESTA EN SERVICIO, SE DEBERA DE RELLENAR DE TIERRA.
– EN LOS TUBOS DE LA ZANJA Y DE LAS PEANAS, SE DEBERA INDICAR EL ORDEN DE LAS FASES SEGUN PROYECTO DE EJECUCION.
– TODOS LOS TUBOS QUE LLEGAN A LAS PATAS DEL APOYO DEBERAN ATRAVESAR LAS PEANAS DE HORMIGON.

RELACION DE FUNDACIONES 220kV

POS.	CANT.	DENOMINACION	PLANO Nº	OBSERVACIONES
2–14	20	COLUMNA DE ALUMBRADO	PNSC50009	––
2–19	4	BACULO CAMARA DE VIDEO VIGILANCIA	PNSC5030	––
AC–1	3	ARQUETA TIPICA PARA CABLES	PNSC50017	––
AC–1.2	22	ARQUETA TIPICA PARA CABLES	PNSC50017	––
AC–6	2	FUNDACION CUADRO DISTRIBUCION B.T.	PNSC50005	––
AC–MT	2	ARQUETAS CABLES MT	PNSC50006	––
BN–1	2	BANCADA AUTOTRANSFORMADOR	PNSC50002	––
BN–3	1	BANCADA GRUPO ELECTROGENO	PNSC50010	––
BN–5	1	PLATAFORMA ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE EQUIPOS	PNSC50008	––
MC–1	3	MURO CORTAFUEGOS	PNSC50003	––
AC–T	6	ARQUETA DOBLE DE TELECOMUNICACIONES	LST003	––

LEYENDA:

——— LINEA 220kV FUTURA PROFUNDIDAD –1,6m
——— LINEA 220kV ACTUAL PROFUNDIDAD –2,44m
——— LINEA 66kV ACTUAL PROFUNDIDAD –3,1m
——— LINEA NORMALIZADA 220kV O 66kV

REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
R	05–16	INTRADEL	INTRADEL	INTRADEL	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO	R.H.A.
Q	10–14	O.D.G.	R.L.C.	O.D.G.	ACTUALIZACION SANEAMIENTO EDIFICIO	A.M.G.
P	08–14	O.D.G.	R.L.C.	O.D.G.	ACTUALIZACIÓN CONFORME A OBRA	A.M.G.
N	07–14	O.D.G.	R.L.C.	O.D.G.	ACTUALIZACIÓN	
M	04–14	R.L.C.	R.L.C.	O.D.G.	PROYECTO J-0806-S3690	

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

INSTALACION
SUBESTACION DE SANTA PONSA
PARQUE DE 132kV

ISASTUR INGENIERIA

Nº 103101 P G00 22 002

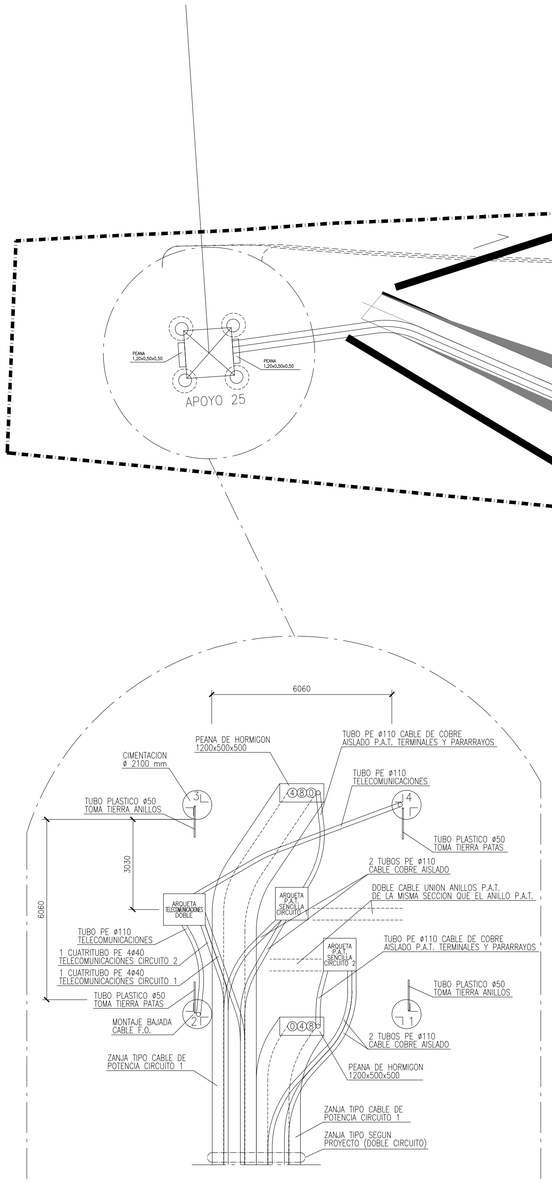
	FECHA	NOMBRE
PROYECTADO	MAY–10	R.J.A.
DIBUJADO	MAY–10	V.G.L.
COMPROBADO	MAY–10	R.J.A.
APROBADO POR R.E.E.	DIC–09	R.H.A.

TITULO
PLANTA GENERAL
FUNDACIONES Y CANALES
SITUACION ACTUAL

FORMATO: DIN A1
ESCALA: 1:500
Nº P–PNSC50001 R Rev.
HOJA – SIGUE –

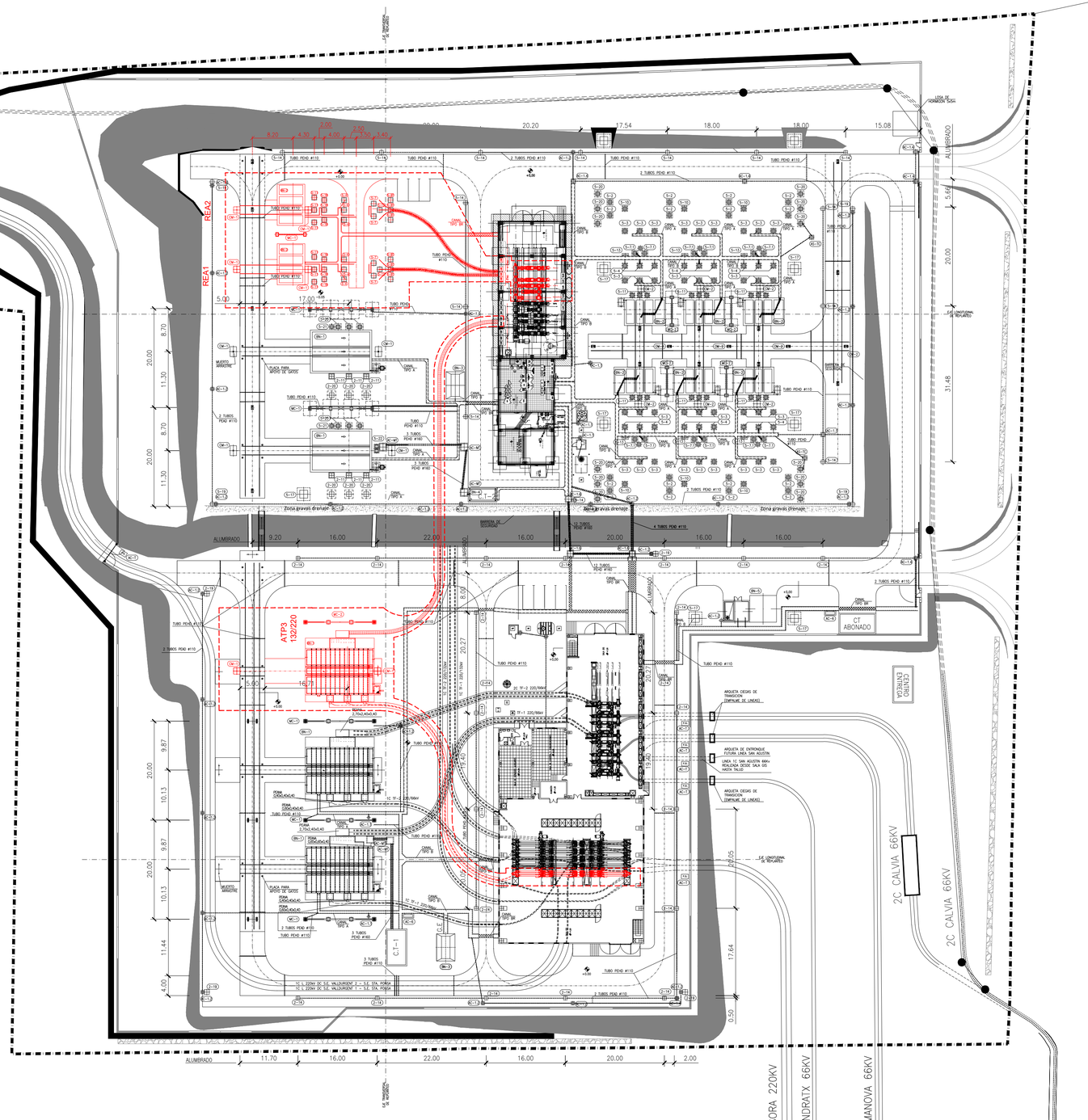
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece único y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. Queda prohibida su reproducción, distribución, comunicación pública, transformación, cesión o cualquier otra forma de explotación, total o parcial, sin el previo consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado Nº 202203415. Fecha Visado: 05/12/2022. Firmado Electrónicamente. E.T.S.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coim.es/verificacion/. Cod. Ver.: 3754425. Nº Colegiado: 11726. Consejero: DAVID GONZALEZ ESCAMILLA



NOTAS

– LA BAJADA DEL CABLE AISLADO PARA LA P.A.T. DE LOS TERMINALES Y DE LOS PARARRAYOS SE REALIZARA POR EL INTERIOR DEL CAJON DE LA BAJADA DE LOS CABLES DE POTENCIA.
– LA SECCION DEL CABLE SERA SEGUN EL PLANO LST1003
– LA ARQUETA DE P.A.T. SERVIRA PARA UNIR LA P.A.T. DEL APOYO CON EL SISTEMA DE P.A.T. DEL CABLE. ESTA ARQUETA, UNA VEZ REALIZADOS LOS ENSAYOS DE PUESTA EN SERVICIO, SE DEBERA DE RELLENAR DE TIERRA.
– EN LOS TUBOS DE LA ZANJA Y DE LAS PEANAS, SE DEBERA INDICAR EL ORDEN DE LAS FASES SEGUN PROYECTO DE EJECUCION.
– TODOS LOS TUBOS QUE LLEGAN A LAS PATAS DEL APOYO DEBERAN ATRAVESAR LAS PEANAS DE HORMIGON.



RELACION DE CIMENTACIONES AMPLIACION REAS 132kV + APT3 220 kV				
POS.	CANT.	DENOMINACION	PLANO Nº	OBSERVACIONES
5–4	6	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD	––	––
5–7	4	INTERRUPTOR	––	––
5–11	6	AUTOVALVULA 132 kV	––	––
5–18	6	SECCIONADOR CON PaT	––	––
5–12	2	PLATAFORMA INTERRUPTOR	––	––
CM–1	6	MUERTO DE ARRASTRE	––	––
BN–1	1	BANCADA AUTOTRANSFORMADOR	––	––
BN–2	2	BANCADA REA	––	––
5–BT	6	AUTOVALVULA 132kV + BOTELLA TERMINAL	––	––
MC–1	1	MURO CORTAFUEGOS 132 kV	––	––
MC–2	1	MURO CORTAFUEGOS 220 kV	––	––

NOTAS

La entrada de los cables al sótano tendrá que hacerse de la siguiente forma:
1.–Durante la construcción se dejará un hueco en la pared del sótano que estará relleno de hormigón sin armar. Cuando se realice la obra civil de la línea se romperá el hormigón sin armar para poner los tubos. Si ya lo hacen todo junto no hará falta dejarlo relleno con hormigón sin armar.
2.–Estos huecos serán rectangulares y sus dimensiones serán de 800 mm de ancho x 600 mm de alto para líneas de 220 kV. En el caso de líneas de 66 kV y 132 kV las dimensiones serán 700 mm de ancho x 600 mm de alto.
3.–El lado inferior de estos huecos estará a 200 mm del suelo del sótano de la subestación.
4.–La transición de zanja a entrada en sótano hay que hacerla de manera que la pendiente máxima de la zanja no sea mayor en ningún momento del 10%.
Esto también es válido para los cruces entre zanjas.
5.–La distancia vertical entre el exterior de los tubos en un cruce entre zanjas no deberá ser menor de 25 cm.
6.–Es de obligado cumplimiento la normativa EHE.
7.–Para relación y disposición de fundaciones de 132kV VER PLANO PNSC5000.

RELACION DE FUNDACIONES 220kV				
POS.	CANT.	DENOMINACION	PLANO Nº	OBSERVACIONES
2–14	20	COLUMNA DE ALUMBRADO	PNSC50009	––
2–19	4	BACULO CAMARA DE VIDEO VIGILANCIA	PNSC5030	––
AC–1	3	ARQUETA TIPICA PARA CABLES	PNSC50017	––
AC–1.2	22	ARQUETA TIPICA PARA CABLES	PNSC50017	––
AC–6	2	FUNDACION CUADRO DISTRIBUCION B.T.	PNSC50005	––
AC–MT	2	ARQUETAS CABLES MT	PNSC50006	––
BN–1	2	BANCADA AUTOTRANSFORMADOR	PNSC50002	––
BN–3	1	BANCADA GRUPO ELECTROGENO	PNSC50010	––
BN–5	1	PLATAFORMA ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE EQUIPOS	PNSC50008	––
MC–1	3	MURO CORTAFUEGOS	PNSC50003	––
AC–T	6	ARQUETA DOBLE DE TELECOMUNICACIONES	LST003	––

LEYENDA:

- LINEA 220kV FUTURA PROFUNDIDAD –1,6m
- LINEA 220kv ACTUAL PROFUNDIDAD –2,44m
- LINEA 66kV ACTUAL PROFUNDIDAD –3,1m
- LINEA NORMALIZADA 220kV O 66kV

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
S	OCT–22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV
R	05–16	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA
Q	10–14	A.M.G.	R.E.E.	ACTUALIZACION SANEAMIENTO EDIFICIO

red eléctrica

INSTALACIÓN: 220/132/66 kV SANTA PONSA

TÍTULO: PLANTA GENERAL CIMENTACIONES Y CANALES DE CABLES SITUACION FUTURA

VALIDO PARA PTA

COORD. HUSO

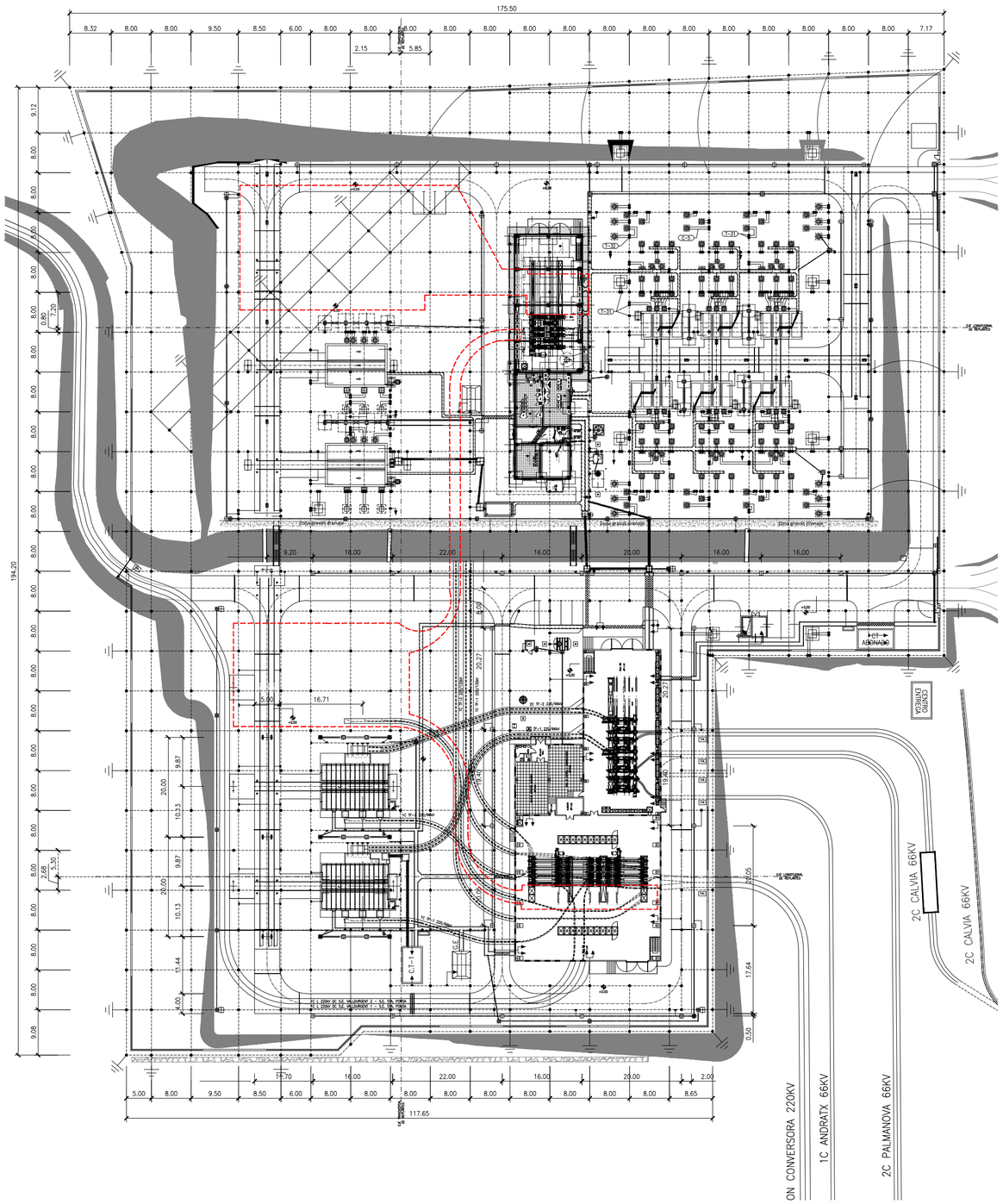
CÓDIGO J–0806–S1827–1

A1 1/500

Nº P–PNSC50001 HOJA 001

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., se reserva todos los derechos de propiedad intelectual de cualquier documento, físico o electrónico, generado por ella o por sus colaboradores en el marco de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. o cuando a ella afecten, no pudiendo ser objeto de reproducción total o parcial, modificación o distribución de ningún tipo, sin su autorización previa y por escrito, salvo en los casos previstos en la legislación vigente.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: http://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 375949425. Nº Colegiado: 11726. Colegiado: DAVID GONZALEZ JULIANEGUI



RELACION DE MATERIALES					
CODIGO/LOTE	POS.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	OBSERVACIONES	SUMINISTRO
3050033	C-5	1250m +10m	CABLE DE Cu DESNUDO DE 120mm2 ø14,2mm	--	--
--	T-31	347 + 3	SOLDADURA EXOTERMICA EN "T" PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm2 (ø14.2mm)	--	CONTRATISTA
	T-32	53	SOLDADURA EXOTERMICA EN CRUZ PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm2 (ø14.2mm)	--	--

SIMBOLOS

- SOLDADURA EXOTERMICA EN CRUZ O EN "T"
- CONEXION A ESTRUCTURA (LOS LATIGUILLOS IRAN PROTEGIDOS CON TUBO CORRUGADO SENCILLO DE DIAMETRO MAYOR DE 20 mm)
- CONEXION A CERRAMIENTO
- CONEXIÓN A RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO (HASTA DENTRO DE CANAL DE CABLES CERCANO)
- MALLA PRINCIPAL DE CABLE DE Cu DE 120 mm2 A 60 cm DE PROFUNDIDAD (SE EJECUTARA PREFERENTEMENTE DURANTE LOS TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA).
- CONEXIONES CON LA MALLA PRINCIPAL CON CABLE DE Cu DE 120 mm2 (SE REALIZARAN DURANTE LOS TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS):
  - DEBAJO DE CADA CIMENTACION SE DEJARA UNA COCA POR CADA LATIGUILLO CON LONGITUD DE CABLE SUFICIENTE PARA CONECTAR A LA ESTRUCTURA CUANDO SE INSTALE LA MISMA
  - PARA LOS SOPORTES DE APARAMENTA SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 1.50 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACIÓN.
  - PARA LAS COLUMNAS PRINCIPALES SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 2.0 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACIÓN.
  - EN LOS MUROS CORTAFUEGOS SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 2.50 m DE LONGITUD APROXIMADA EN AMBOS LADOS A LA ALTURA DEL EJE CENTRAL (DETALLE 1).
  - PARA LAS TIERRAS INTERIORES DE CASETAS Y EDIFICIOS DEJAR LATIGUILLOS DE 1.50m EN EL INTERIOR

NOTAS:

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DEBERÁN SER CONECTADOS A LA MALLA DE TIERRAS :
- CERRAMIENTO APROXIMADAMENTE CADA 20 m (MOVIMIENTO DE TIERRAS)
- PUERTA DE ENTRADA SUBESTACION (MOVIMIENTO DE TIERRAS) - CERCOS METÁLICOS DE ARQUETAS (TANTO DE CABLES COMO DE DRENAJE) Y CANALES REFORZADOS (OBRA CIVIL)
- MUERTOS DE ARRASTRE (OBRA CIVIL)
- RAILES DE VIALES DE RODADURA (OBRA CIVIL)
- CIMENTACIONES DE EDIFICIOS Y CASETAS (OBRA CIVIL)
- TODOS LOS ELEMENTOS METALICOS QUE SE EJECUTEN EN LA FASE DE MOVIMIENTO DE TIERAS/OBRA CIVIL QUE REQUIERAN CONEXION A TIERRA.

1. SE DARÁ CONTINUIDAD EN LAS CASETAS Y EDIFICIO A LAS ARMADURAS DE MURO DE CIMENTACIÓN Y SOLERA
2. LA SITUACIÓN DE LAS CONEXIONES CON LA ESTRUCTURA EN CADA CIMENTACIÓN ES ORIENTATIVA. EN CADA PROYECTO SE HARÁN COINCIDIR CON EL LADO INDICADO EN LOS PLANOS DE MONTAJE DE CADA EQUIPO
3. AL INTERIOR DE LAS ARQUETAS DE P. a T. DE LOS NEUTROS SE LLEVARAN ADEMAS 4 CABLES DE Cu DE 120 mm2

PLANOS DE REFERENCIA:

PNSF10001 PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
E	05-16	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA
D	11-14	A.M.G.	R.E.E.	CONFORME A OBRA

red eléctrica

INSTALACIÓN: 220/132/66 kV SANTA PONSA

TÍTULO: PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS INFERIORES SITUACION ACTUAL

VALIDO PARA PTA

COORD. | HUSO

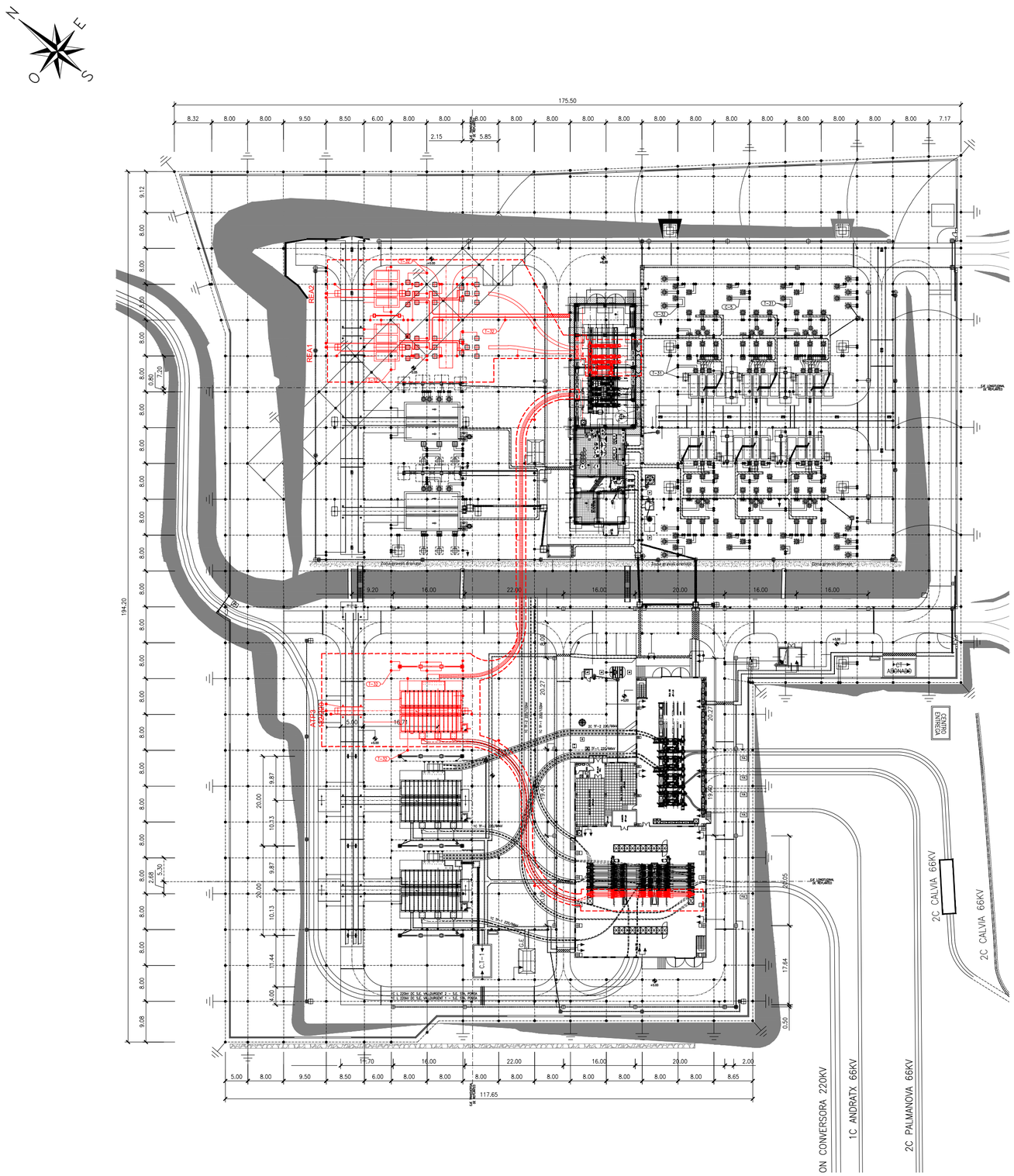
CÓDIGO J-0806-S1827-1

A2 | 1/750

Nº P-PNSF1000 | HOJA 001

RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en ningún supuesto, cesión para su reproducción total o parcial, modificación o distribución sea, en todo caso, estarán prohibidos salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ ZOUANNEAU



RELACION DE MATERIALES AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV + ATP3 200 kV					
CODIGO/LOTE	POS.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	OBSERVACIONES	SUMINISTRO
	T-32	60	SOLDADURA EXOTERMICA EN CRUZ PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm2 (ø14.2mm)	--	--

SIMBOLOS

SOLDADURA EXOTERMICA EN CRUZ O EN "T"

CONEXION A ESTRUCTURA (LOS LATIGUILLOS IRAN PROTEGIDOS CON TUBO CORRUGADO SENCILLO DE DIAMETRO MAYOR DE 20 mm)

CONEXION A CERRAMIENTO

CONEXIÓN A RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO (HASTA DENTRO DE CANAL DE CABLES CERCANO)

MALLA PRINCIPAL DE CABLE DE Cu DE 120 mm2 A 60 cm DE PROFUNDIDAD (SE EJECUTARA PREFERENTEMENTE DURANTE LOS TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRA).

CONEXIONES CON LA MALLA PRINCIPAL CON CABLE DE Cu DE 120 mm2 (SE REALIZARAN DURANTE LOS TRABAJOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS):

- DEBAJO DE CADA CIMENTACION SE DEJARA UNA COCA POR CADA LATIGUILLO CON LONGITUD DE CABLE SUFICIENTE PARA CONECTAR A LA ESTRUCTURA CUANDO SE INSTALE LA MISMA
- PARA LOS SOPORTES DE APARAMENTA SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 1.50 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACIÓN.
- PARA LAS COLUMNAS PRINCIPALES SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 2.0 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACIÓN.
- EN LOS MUROS CORTAFUEGOS SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 2.50 m DE LONGITUD APROXIMADA EN AMBOS LADOS A LA ALTURA DEL EJE CENTRAL (DETALLE 1).
- PARA LAS TIERRAS INTERIORES DE CASETAS Y EDIFICIOS DEJAR LATIGUILLOS DE 1.50m EN EL INTERIOR

NOTAS:

LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DEBERÁN SER CONECTADOS A LA MALLA DE TIERRAS :

- CERRAMIENTO APROXIMADAMENTE CADA 20 m (MOVIMIENTO DE TIERRAS)
- PUERTA DE ENTRADA SUBESTACION (MOVIMIENTO DE TIERRAS) - CERCOS METÁLICOS DE ARQUETAS (TANTO DE CABLES COMO DE DRENAJE) Y CANALES REFORZADOS (OBRA CIVIL)
- MUERTOS DE ARRASTRE (OBRA CIVIL)
- RAILES DE VIALES DE RODADURA (OBRA CIVIL)
- CIMENTACIONES DE EDIFICIOS Y CASETAS (OBRA CIVIL)
- TODOS LOS ELEMENTOS METALICOS QUE SE EJECUTEN EN LA FASE DE MOVIMIENTO DE TIERAS/OBRA CIVIL QUE REQUIERAN CONEXION A TIERRA.

1. SE DARÁ CONTINUIDAD EN LAS CASETAS Y EDIFICIO A LAS ARMADURAS DE MURO DE CIMENTACIÓN Y SOLERA
2. LA SITUACIÓN DE LAS CONEXIONES CON LA ESTRUCTURA EN CADA CIMENTACIÓN ES ORIENTATIVA. EN CADA PROYECTO SE HARÁN COINCIDIR CON EL LADO INDICADO EN LOS PLANOS DE MONTAJE DE CADA EQUIPO
3. AL INTERIOR DE LAS ARQUETAS DE P. a T. DE LOS NEUTROS SE LLEVARAN ADEMAS 4 CABLES DE Cu DE 120 mm2

PLANOS DE REFERENCIA:

PNSF10001 PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
F	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132 kV + APT3 220 kV
E	05-16	R.H.A.	R.E.E.	CONFORME A OBRA
D	11-14	A.M.G.	R.E.E.	CONFORME A OBRA

red eléctrica

INSTALACIÓN: 220/132/66 kV SANTA PONSA

TÍTULO: PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS INFERIORES SITUACION FUTURA

VALIDO PARA PTA

COORD. | HUSO

CÓDIGO J-0806-S1827-1

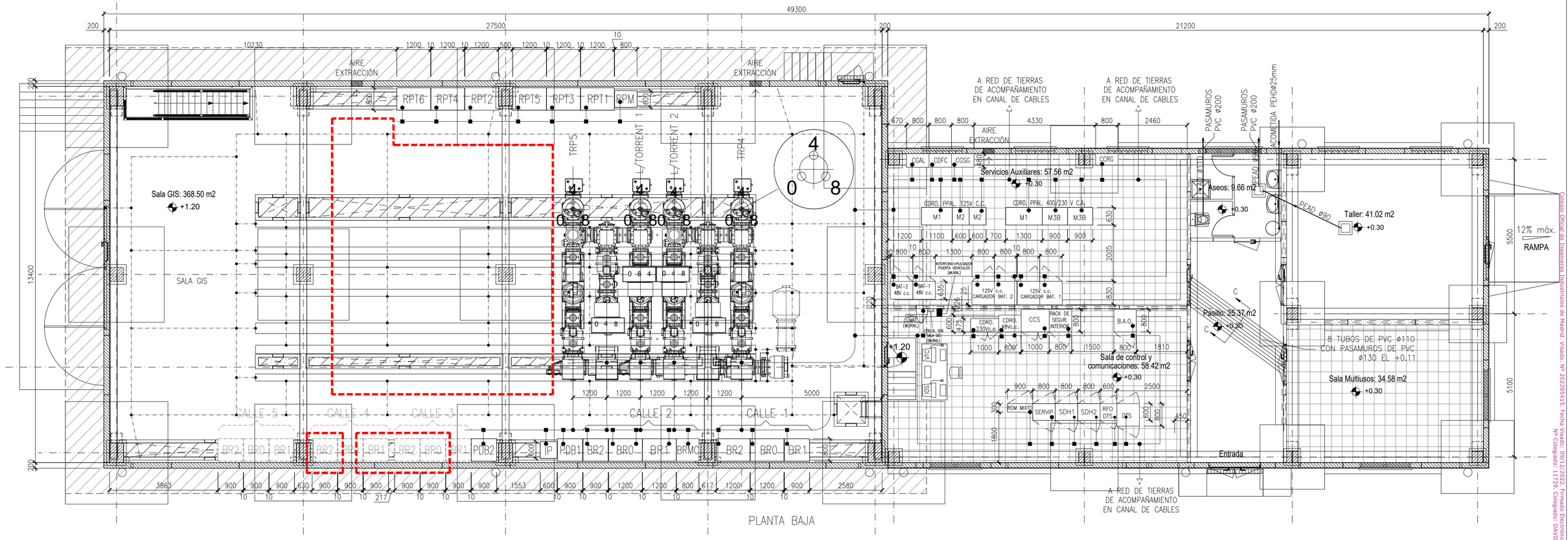
A2 | 1/750

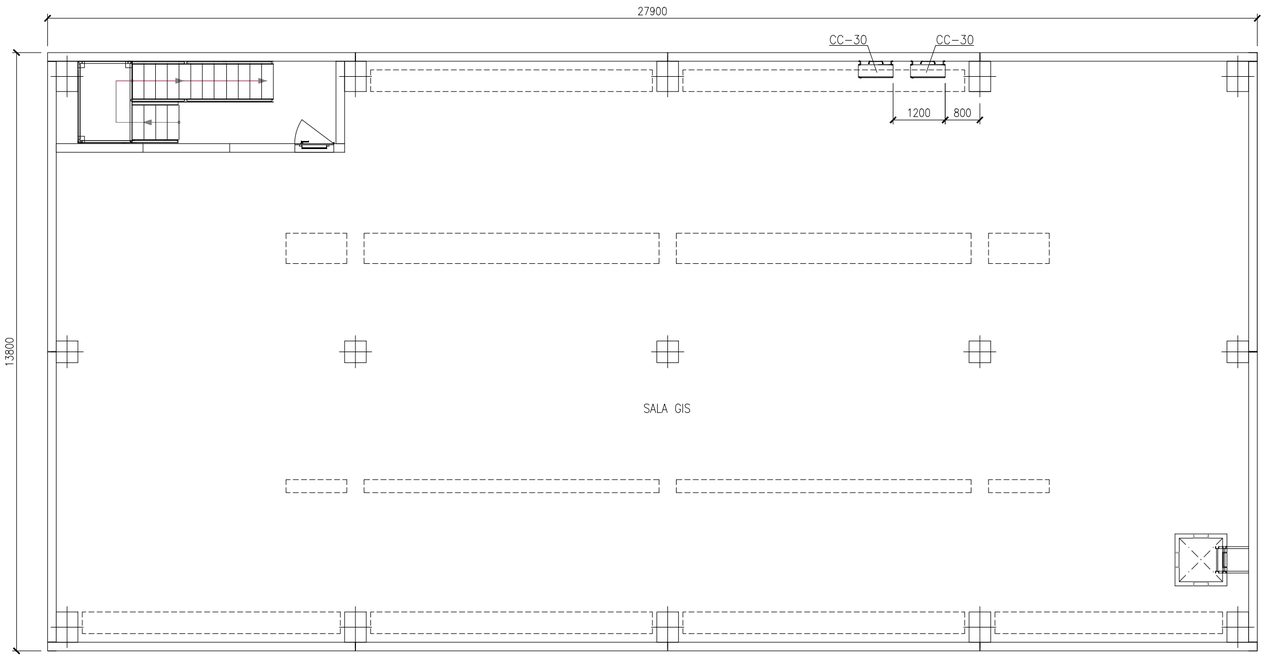
Nº P-PNSF1000 | HOJA 001

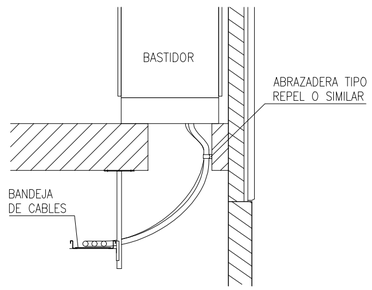
RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., en la doble titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en ningún supuesto licencia para su reproducción total o parcial, modificación o distribución sea, en todo caso, estarán prohibidos sobre previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ ZOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en ningún caso licencia para su reproducción total o parcial, modificación o distribución de este, estando prohibidos sobre el mismo cualquier explotación o utilización sin el previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U.. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., no asumirá ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.







DETALLE PASO DE CABLES DE BANDEJA A BASTIDORES

SIMBOLOS:

- CABLE DESNUDO DE Cu de 120mm2
- DERIVACION MEDIANTE GRAPA DE CONEXION (TIPO T-3, S/PL. PNSF2000)
- DERIVACION EN "T" MEDIANTE SOLDADURA EXOTERMICA
- CONEXION A EQUIPO O CUADRO MEDIANTE TERMINAL DE PRESION (TIPO T-5, S/PL. PNSF2000)
- FALSO SUELO
- PANEL LAMINADO COMPACTO TIPO PARKLEX O SIMILAR

NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES DE LAS BATERIAS (*) DE 125V Y 48V C.C. VARIARAN EN FUNCION DEL FABRICANTE
2. EL FALSO SUELO SERA SUMINISTRADO Y MONTADO POR EL CONTRATISTA DE MONTAJE.
3. EL PANEL SERA SUMINISTRADO EN LA OBRA CIVIL Y MONTADO POR EL CONTRATISTA DE MONTAJE.
4. DISTANCIAS LIBRES
   - BATERIAS 125V Y 48V CC – ESPACIO LIBRE A PARED MINIMO 300mm
   - CUADROS PPALS. C.A. Y C.C. – ACCESO POSTERIOR LIBRE
   - SERVIP Y SDH – ACCESO UNO DE LOS LATERALES O PARTE TRASERA LIBRE

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
F	05-16	INTRADEL	INTRADEL	INTRADEL	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO	R.H.A.
E	07-15	O.D.G.	J.C.M.	O.D.G.	AMPLIACION PUNTO DE MEDIDA	R.H.A.
D	05-15	I.G.M.	M.B.S.	I.G.M.	REVISION CUADRO COMUNICACIONES	
A	07-14	O.D.G.	R.L.C.	O.D.G.	PROYECTO J-0806-S3690	

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

INSTALACION
SUBESTACION DE SANTA PONSA
PARQUE DE 220/132/66 kV

DESPI INGENIERÍA

Nº

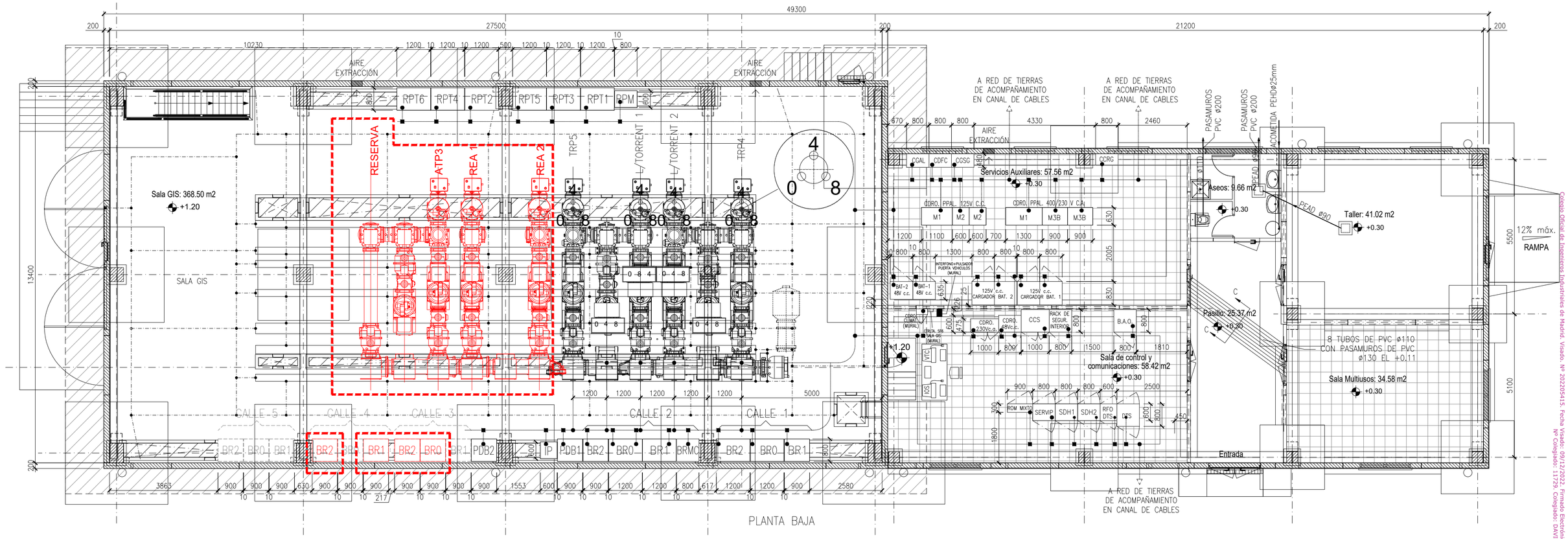
	FECHA	NOMBRE
PROYECTADO	03-13	C.B.O.
DIBUJADO	03-13	V.G.L.
COMPROBADO	03-13	C.B.O.
APROBADO POR R.E.E.	03-13	R.H.A.

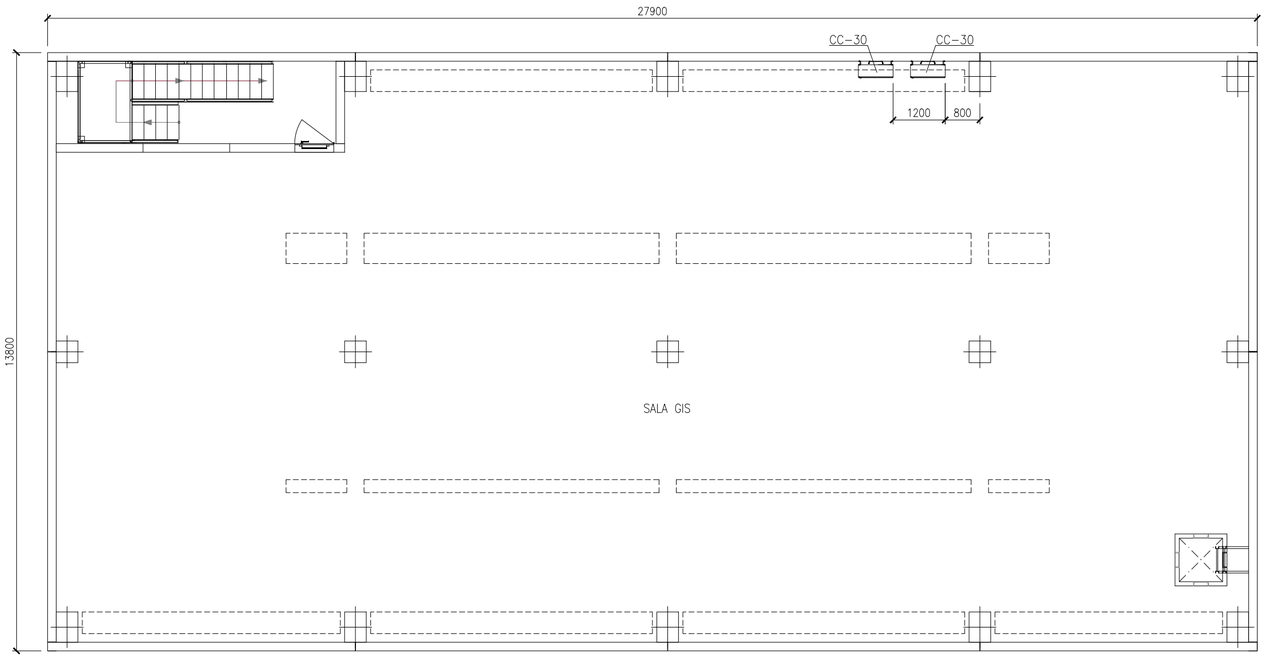
TITULO
DISPOSICION EQUIPOS EN EDIFICIO
SITUACION ACTUAL

FORMATO: DIN A2
ESCALA: 1:100
Nº P-PNSJ2000 Rev. F
HOJA 001 SIGUE --

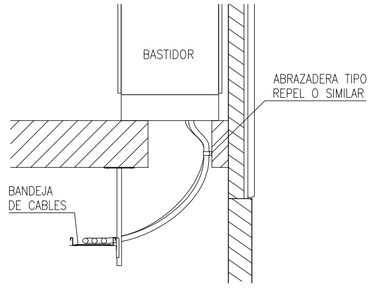
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., en la Unión Viuar de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece único y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, licencia para su reproducción total o parcial, modificación o explotación por cualquier medio, ni tacita, ninguna autorización para usar, poner a disposición, vender o transmitir a terceros sin el consentimiento previo y expreso determinado por parte de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. se reserva el derecho de ejercer las acciones civiles y penales que le correspondan en caso de infracción del contenido de presente documento.





PLANTA SOTANO



DETALLE PASO DE CABLES DE BANDEJA A BASTIDORES

SIMBOLOS:

- CABLE DESNUDO DE Cu de 120mm2
- DERIVACION MEDIANTE GRAPA DE CONEXION (TIPO T-3, S/PL. PNSF2000)
- DERIVACION EN "T" MEDIANTE SOLDADURA EXOTERMICA
- CONEXION A EQUIPO O CUADRO MEDIANTE TERMINAL DE PRESION (TIPO T-5, S/PL. PNSF2000)
- FALSO SUELO
- PANEL LAMINADO COMPACTO TIPO PARKLEX O SIMILAR

NOTAS:

1. LAS DIMENSIONES DE LAS BATERIAS (*) DE 125V Y 48V C.C. VARIARAN EN FUNCION DEL FABRICANTE
2. EL FALSO SUELO SERA SUMINISTRADO Y MONTADO POR EL CONTRATISTA DE MONTAJE.
3. EL PANEL SERA SUMINISTRADO EN LA OBRA CIVIL Y MONTADO POR EL CONTRATISTA DE MONTAJE.
4. DISTANCIAS LIBRES
   - BATERIAS 125V Y 48V CC – ESPACIO LIBRE A PARED MINIMO 300mm
   - CUADROS PPALS. C.A. Y C.C. – ACCESO POSTERIOR LIBRE
   - SERVIP Y SDH – ACCESO UNO DE LOS LATERALES O PARTE TRASERA LIBRE

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
G	OCT-22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV
F	05-16	R.H.A.	R.E.E.	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO
E	07-15	I.G.M	R.E.E.	AMPLIACION PUNTO MEDIDA

red eléctrica

INSTALACIÓN: 132 kV SANTA PONSA

TÍTULO: EDIFICIO GIS DISPOSICION DE EQUIPOS SITUACION FUTURA

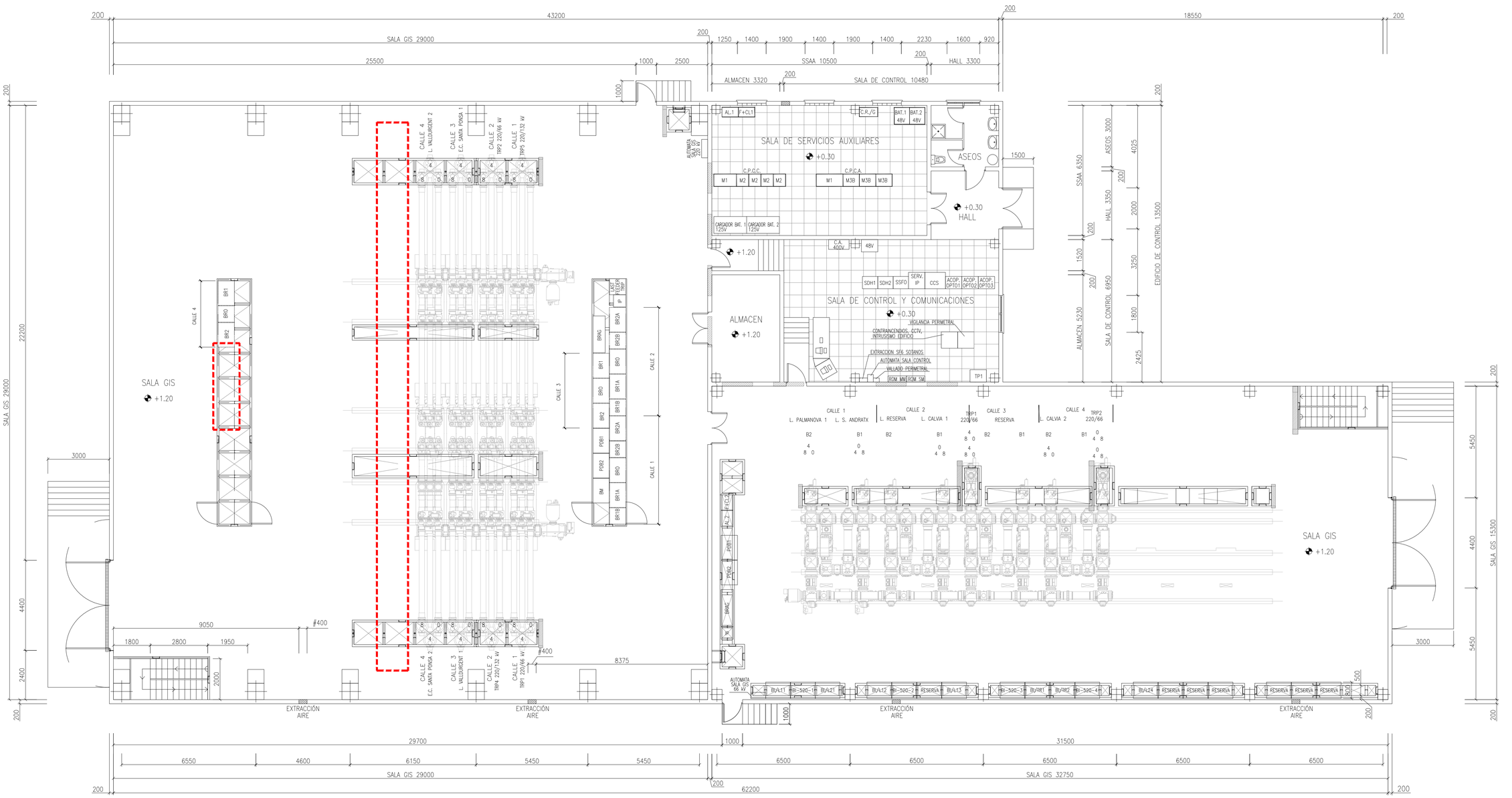
COORD. | HUSO

CÓDIGO: J-0806-S1827-1

A2 | 1:100

Nº: P-PNSJ2000 | HOJA

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU



PLANTA BAJA

AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV
AMPLIACION ATP3 220kV

NOTAS:

1.– EN PLANTA SE REPRESENTA EL RECORRIDO DE ASCENSIÓN DE LAS ESCALERAS, DESDE PLANTA SÓTANO HASTA PLANTA BAJA, DISEÑADO ESPECIFICAMENTE PARA QUE LA CIRCULACIÓN NO SE VEA IMPEDIDA POR PILARES EN PLANTA SÓTANO.
2.– UBICACION OPCIONAL DE ARMARIOS DE CONTROL

REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
F	05–12	J.L.A.V.	ISASTUR	J.L.A.V.	CONFORME A OBRA	R.H.A.
E	09–11	C.D.Q.	ISASTUR	C.D.Q.	NUEVO ARMARIO LAST FEEDER TRIP	
H	02–18	NIPSA	NIPSA	NIPSA	CONFORME A LO CONSTRUIDO (N–1800–S0941)	D.M.L.
G	07–17	NIPSA	NIPSA	NIPSA	ACT. L/CLV 1 (N–1800–S0941)	D.M.L.

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

INSTALACION
SUBESTACION DE SANTA PONSA
PARQUE DE 220/132/66 kV

ISASTUR INGENIERIA

Nº 103101 P E00 22 001

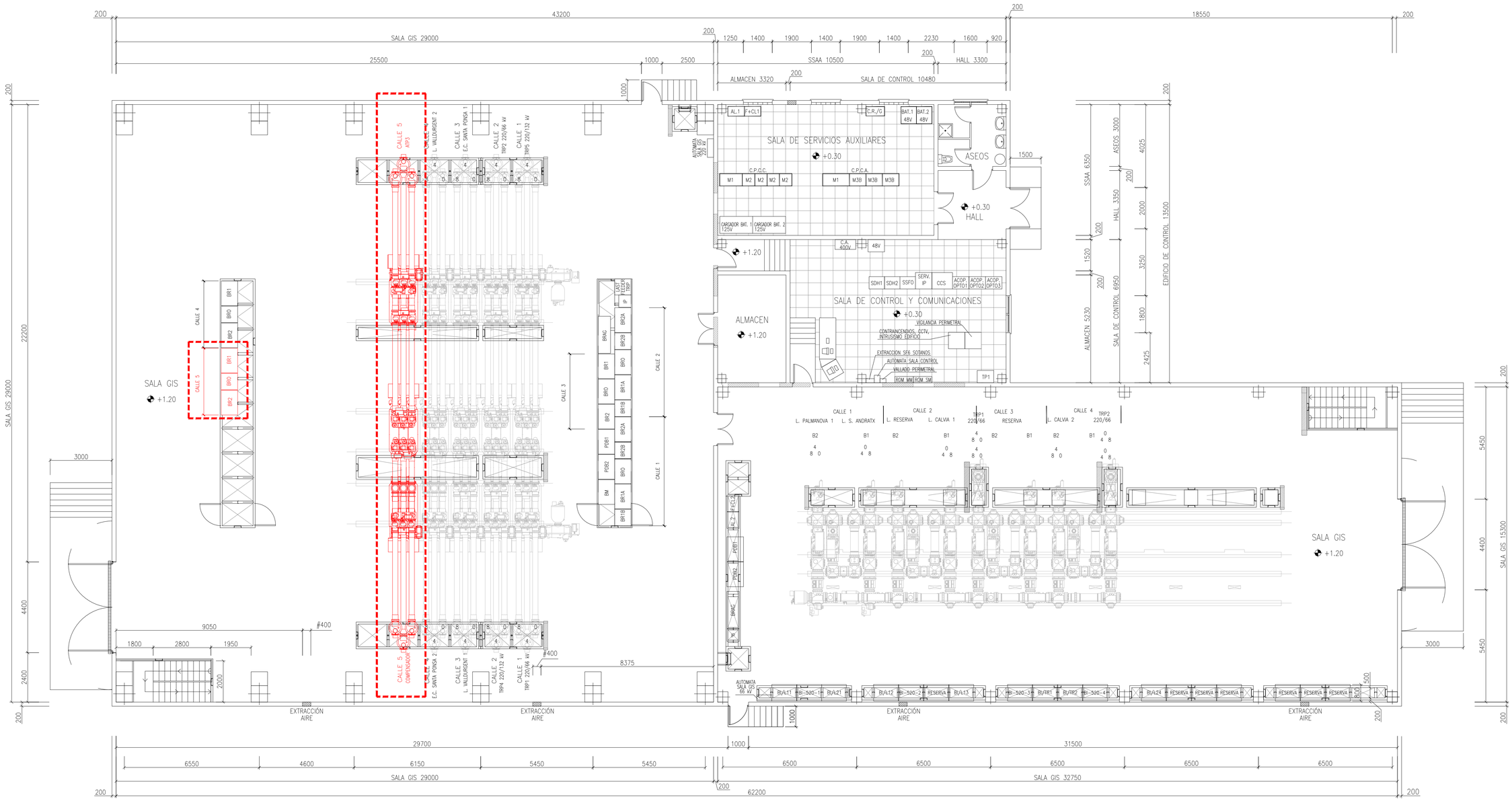
	FECHA	NOMBRE
PROYECTADO	12–2009	R.J.
DIBUJADO	12–2009	J.R.
COMPROBADO	12–2009	R.J.
APROBADO POR R.E.E.	12–2009	R.H.A.

TITULO
EDIFICIOS GIS SANTA PONSA
DISPOSICION EQUIPOS– PLANTA BAJA
SITUACION ACTUAL

FORMATO: DIN A1
ESCALA: 1/100
Nº P–PNSJ20001 H Rev.
HOJA – SIGUE –

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: nº 202229415. Fecha Visado: 05/12/2022. Firmado electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/VerifVisado/. Cod.Ver: 37594525.
Nº Colegiado: 11726. Colegiado: DAVID GONZALEZ SOMARRIBA

PLANTA BAJA



NOTAS:

1.– EN PLANTA SE REPRESENTA EL RECORRIDO DE ASCENSIÓN DE LAS ESCALERAS, DESDE PLANTA SÓTANO HASTA PLANTA BAJA, DISEÑADO ESPECIFICAMENTE PARA QUE LA CIRCULACIÓN NO SE VEA IMPEDIDA POR PILARES EN PLANTA SÓTANO.

2.– UBICACION OPCIONAL DE ARMARIOS DE CONTROL

EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
I	OCT–22	A.M.G.S.	R.E.E.	AMPLIACION REA 1 Y 2 132kV Y ATP3 220kV
H	02–18	D.M.L.	R.E.E.	CONFORME A LO CONSTRUIDO (N–1800–S0941)
G	07–17	D.M.L.	R.E.E.	ACT. L/CLV 1 (N––1800–S0941)

red eléctrica

INSTALACIÓN	220 kV SANTA PONSA
TÍTULO	EDIFICIO GIS PLANTA BAJA DISPOSICION DE EQUIPOS SITUACION FUTURA
COORD.	HUSO
CÓDIGO	J–0806–S1827–1
A1	1:100
Nº	P–PNSJ20001 HOJA

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., se reserva todos los derechos de propiedad intelectual de cualquier documento, físico o electrónico, sobre el mismo contenido, incluyendo el DISEÑO ELECTRICO DE ESPAÑA, S.A.U. El usuario se obliga a no alterar, deshacer en ingeniería inversa o eliminar cualquier protección o limitación que se haya establecido en el mismo. Queda prohibido el uso, copia, modificación, distribución, cesión, comunicación pública o transformación, parcial o total, de este documento sin previa y expresa autorización por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. En caso de incumplimiento de lo anteriormente expuesto RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. se reserva el derecho de ejercitar las acciones legales que en su derecho convengan.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 375349425. Nº Colegiado: 11725. Colegiado: DARIO GONZALEZ ZAMARREÑO

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 4

PRESUPUESTO

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

El presupuesto del presente proyecto incluye las partidas necesarias para el diseño y ejecución del proyecto. En este presupuesto no se incluyen otros costes incurridos para la final realización de la instalación, como son los costes de terrenos, licencias y tasas, costes financieros y costes de gestión y administración

1. PRESUPUESTO DESGLOSADO SUBESTACIÓN DE SANTA PONSA 132/220 kV (en euros)

1.1. Ingeniería de proyecto	485.000
1.1.1. Ingeniería	400.000
1.1.2. Tramitaciones	85.000
1.2. Materiales	5.650.000
1.2.1. Cables Soterrados	600.000
1.2.2. Aparamenta y materiales de alta tensión	4.650.000
GIS	1.200.000
Transformador	3.000.000
Aparamenta AIS	450.000
1.2.3. Protecciones, control y comunicaciones	300.000
1.2.4. Estructura metálica	100.000
1.3. Construcción	3.395.000
1.3.1. Obra civil de parque	1.800.000
1.3.2. Montaje GIS	800.000
1.3.3. Montaje transformador	300.000
1.3.4. Montaje aparamenta	80.000
1.3.5. Servicios diversos	415.000
Servicios auxiliares de obra	50.000
Supervisión construcción	90.000
Almacenamiento y transporte	150.000
Seguridad/vigilancia	125.000

TOTAL PRESUPUESTO 1 ..... 9.530.000 euros

2. PRESUPUESTO DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL (en euros)

2.1 .Seguridad y salud laboral 17.282

TOTAL PRESUPUESTO 2 ..... 17.282 euros

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

3. PRESUPUESTO TOTAL

3.1 .SUBESTACIÓN 9.530.000

3.2 SEGURIDAD Y SALUD LABORAL..... 17.282

TOTAL .....9.547.282 EUROS

El presupuesto total de la ampliación de la subestación SANTA PONSA 132/220 kV asciende a NUEVE MILLONES QUINIENTOS CUARENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS.

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 5.1

ESTUDIO DE CAMPOS MAGNÉTICOS PARQUE 132kV

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

1. OBJETO 3
2. NORMATIVA VIGENTE 3
3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAMPOS MAGNÉTICOS 3
4. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN Y DATOS DE CÁLCULO 4
5. RESULTADOS 9
6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS 11
7. CONCLUSIONES 11
8. REFERENCIAS 11

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

1. OBJETO

El objeto de este estudio es estimar las emisiones de campo magnético en el exterior accesible por el público del parque de 132 kV GIS del proyecto tipo, con el propósito de comprobar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa vigente.

El estudio comprende el cálculo de los niveles máximos del campo magnético que por razón del funcionamiento de la subestación pueden alcanzarse en su entorno, y su evaluación comparativa con los límites establecidos en la normativa vigente.

El cálculo se circunscribe al parque de 132 kV GIS del proyecto tipo según se observa en la figura 4.

2. NORMATIVA VIGENTE

El R.D. 337/2014 de 9 de mayo, recoge el "Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión" (RAT). Este nuevo Reglamento limita los campos electromagnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión, remitiendo al R.D. 1066/2001.

El R.D. 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se aprueba el "Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a las emisiones radioeléctricas", adopta medidas de protección sanitaria de la población estableciendo unos límites de exposición del público a campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas acordes a las recomendaciones europeas. Para el campo magnético generado a la frecuencia industrial de 50 Hz, el límite establecido es de 100 microteslas (100 µT).

En el RAT, las limitaciones y justificaciones necesarias aparecen indicadas en las instrucciones técnicas complementarias siguientes:

1. ITC-RAT-14. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE INTERIOR. 4.7: Limitación de los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.
2. ITC-RAT-15. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE EXTERIOR. 3.15: Limitación de los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.
3. ITC-RAT-20. ANTEPROYECTOS Y PROYECTOS. 3.2.1: Memoria.

En relación al campo magnético generado por los transformadores de potencia, se aplica la norma UNE-CLC/TR 50453 IN de noviembre de 2008, "Evaluación de los campos electromagnéticos alrededor de los transformadores de potencia".

Aunque la medida de campos magnéticos no es objeto del presente documento, a continuación se indican las normas aplicables a la misma:

1. Norma UNE 20833 de abril de 1997: "Medida de los campos eléctricos a frecuencia industrial".
2. Norma UNE-EN 62110 de mayo de 2013. "Campos eléctricos y magnéticos generados por sistemas de alimentación en corriente alterna. Procedimientos de medida de los niveles de exposición del público en general".
3. Norma UNE-EN 61786-1 de octubre de 2014. "Medición de campos magnéticos en corriente continua, campos eléctricos y magnéticos en corriente alterna de 1 Hz a 100 kHz. Parte 1: Requisitos para los instrumentos de medida".
4. Norma IEC 61786-2 de diciembre de 2014. "Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings. Part 2: Basic standard for measurements.

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Para la elaboración del análisis del campo magnético, se ha desarrollado una aplicación que realiza la simulación y cálculo del campo magnético en los puntos deseados de la instalación y su entorno.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

La aplicación desarrollada está realizada sobre Matlab/Octane. El cálculo está basado en un cálculo analítico (Biot y Savart de un segmento) realizado sobre el conjunto de conductores 3D de una subestación, discretizados a segmentos rectilíneos, y sobre un periodo de onda completo para obtener valores eficaces. Se tienen en cuenta los diferentes desfases entre fases o motivados por la presencia de un transformador. La misma metodología ha sido empleada con buenos resultados en otros estudios publicados [1],[2],[3].

A modo de validación de la aplicación se han calculado los ejemplos descritos en la Norma UNE-EN 62110, obteniéndose los mismos resultados que en dicha norma. El desarrollo de estos cálculos se recoge en el anexo a este documento.

El cálculo no tiene en cuenta el campo generado por los transformadores, sólo por los conductores. Esta simplificación no afecta de forma significativa a los resultados obtenidos según se indica en UNE-CLC/TR-50453. De igual forma, no se consideran los posibles apantallamientos debidos a pantallas de cables o envolventes de la aparamenta eléctrica, quedando el cálculo por el lado de la seguridad.

La entrada de datos de la aplicación es la topología en 3D del conjunto de conductores de la subestación, así como las corrientes que circulan por cada conductor. Las corrientes consideradas para el cálculo son las máximas previstas para cada posición (en especial de los transformadores) o tramo de ella, de forma que se obtiene el máximo campo magnético. El estado de carga máximo planteado es técnicamente posible de alcanzar, pero difícil que se produzca en realidad, y en todo caso durante un breve espacio de tiempo.

En ocasiones, debido a la topología de la instalación, no es posible determinar las corrientes por todos los tramos de las diferentes posiciones. Para estos casos se estiman las corrientes por dichos tramos que den lugar a los campos más desfavorables.

Los resultados obtenidos se presentan en los límites exteriores de la subestación accesibles por el público, considerándose para el cálculo una distancia de 0,2 m del vallado y a una altura de 1 m, según UNE-EN 62110. De igual forma, se facilita el cálculo del campo B en toda la superficie de la subestación a una altura de 1 m a efectos informativos.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN Y DATOS DE CÁLCULO

El parque de 132 kV GIS del proyecto tipo tiene las siguientes características:

Nivel de 132 kV.

- Tipo ..... Blindada aislada en SF6
- Topología ..... Doble barra
- Posiciones de línea 3
- Posiciones de barras 3
- Posiciones de acoplo 2
- Superficie aprox. del parque ..... 8086 m^2

El estado de carga considerado consiste en considerar los tres transformadores 132/66 kV a su potencia máxima, siendo el flujo de potencia del nivel de 132 kV. al de 66 kV. Las líneas de 1 y 2 de 132 kV aportan su potencia máxima, la línea 3 el resto, hasta completar la total de los tres transformadores. En el nivel de 66 kV. se consideran la reactancias 1 a 3 a su potencia máxima, la 4 consumiendo 20 MVAr, las líneas 1 a 4 a su potencia máxima, y la línea 5 completando la potencia total suministrada por los 3 transformadores.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

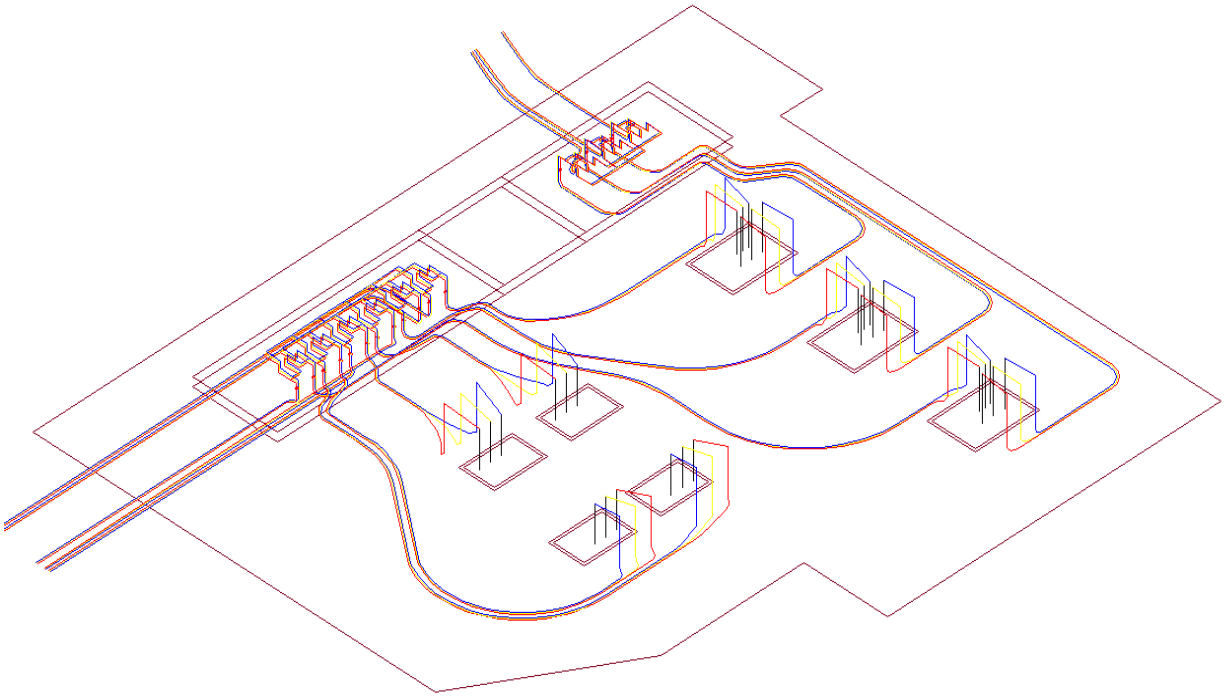


Fig 1: Modelo 3D de los cables de la instalación.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

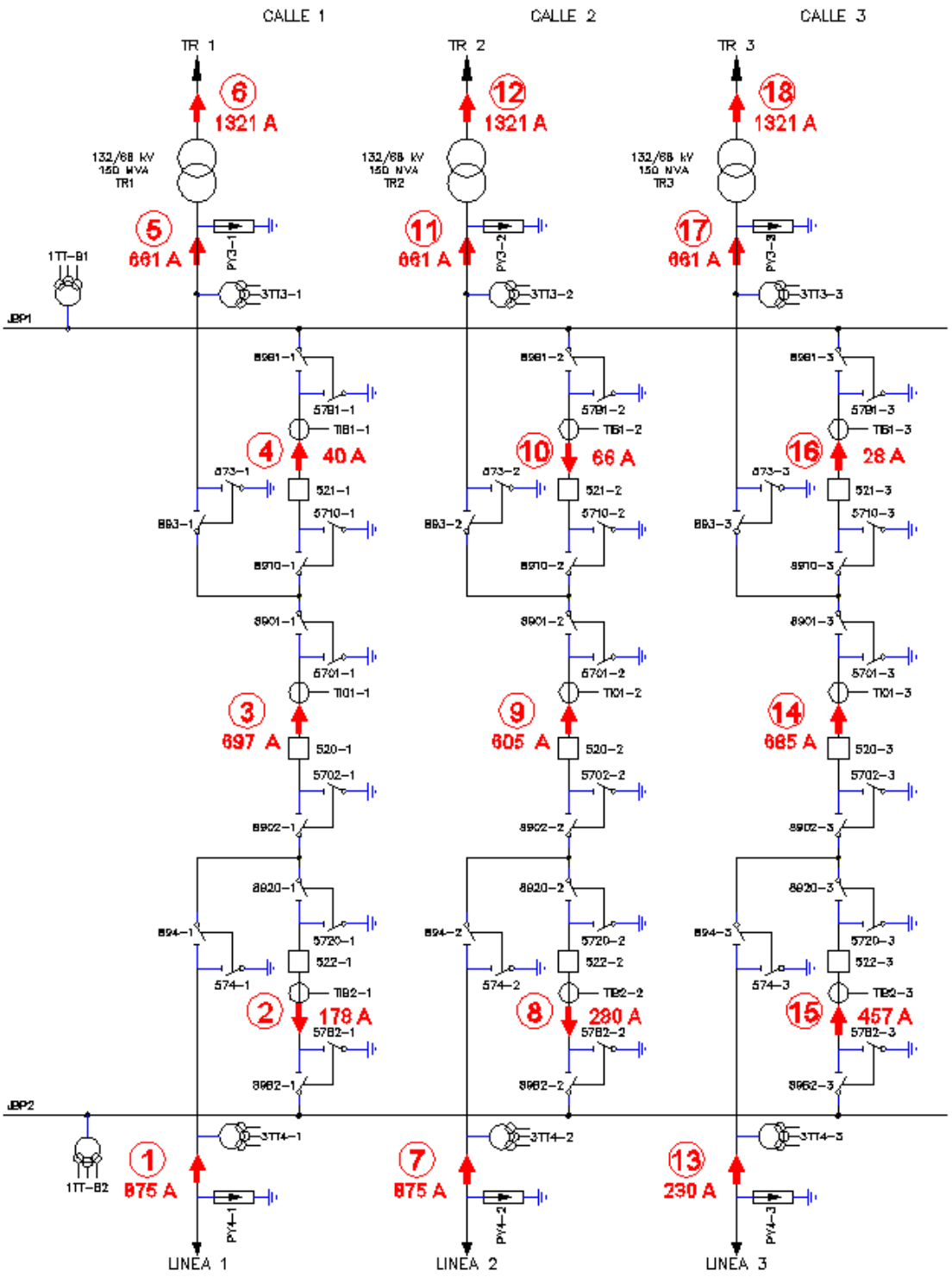


Fig 2: Unifilar con intensidades consideradas

Las intensidades consideradas para el cálculo del campo magnético son las siguientes:

POSICIÓN O TRAMO	REF.	INTENSIDAD (A)	FASE (º)	TIPO
TRAFO 1 132 kV	5	$661_{(2)}$	-7.6	Trifásica equilibrada

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

TRAFO 2 132 kV	11	661(2)	-7.6	Trifásica equilibrada
TRAFO 3 132 kV	17	661(2)	-21.4	Trifásica equilibrada
LÍNEA 1	1	875(1)	-10.1	Trifásica equilibrada
LÍNEA 2	7	875(1)	-10.1	Trifásica equilibrada
LÍNEA 3	13	230	-28.4	Trifásica equilibrada
CALLE 1 - BARRAS 1	4	40	-29.9	Trifásica equilibrada
CALLE 1	3	697	-8.8	Trifásica equilibrada
CALLE 1- BARRAS 2	2	178	-14.9	Trifásica equilibrada
CALLE 2 – BARRAS 1	10	66	-38.7	Trifásica equilibrada
CALLE 2	9	605	-4.4	Trifásica equilibrada
CALLE 2 – BARRAS 2	8	280	-22.5	Trifásica equilibrada
CALLE 3 – BARRAS 1	16	28	-51.1	Trifásica equilibrada
CALLE 3	14	685	-22.5	Trifásica equilibrada
CALLE 3 – BARRAS 2	15	457	-19.6	Trifásica equilibrada

(1) Intensidad correspondiente a la capacidad de transporte máxima de la línea, 200 MVA.

(2) Intensidad correspondiente a la potencia máxima del transformador, 150 MVA.

El Real Decreto 1066/2001 aconseja tomar medidas que limiten las radiaciones de campo eléctrico y magnético. En el caso que nos ocupa estas medidas son:

1. Las distancias existentes entre los equipos eléctricos y el cierre de la instalación permite reducir los niveles de exposición al público en general fruto de la disminución del campo magnético con la distancia.
2. Las posiciones se ubican, en el interior de un edificio, en celdas blindadas, cuya carcasa disminuye notablemente el campo magnético en el exterior.
3. En el caso de las líneas subterráneas, los conductores están constituidos en su totalidad por cables aislados secos con pantalla metálica exterior. Esto permite reducir el campo magnético exterior tanto por la propia pantalla como por el tendido de los cables en forma de tresbolillo. En el cálculo se ha utilizado una disposición plana para considerar el caso más desfavorable.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

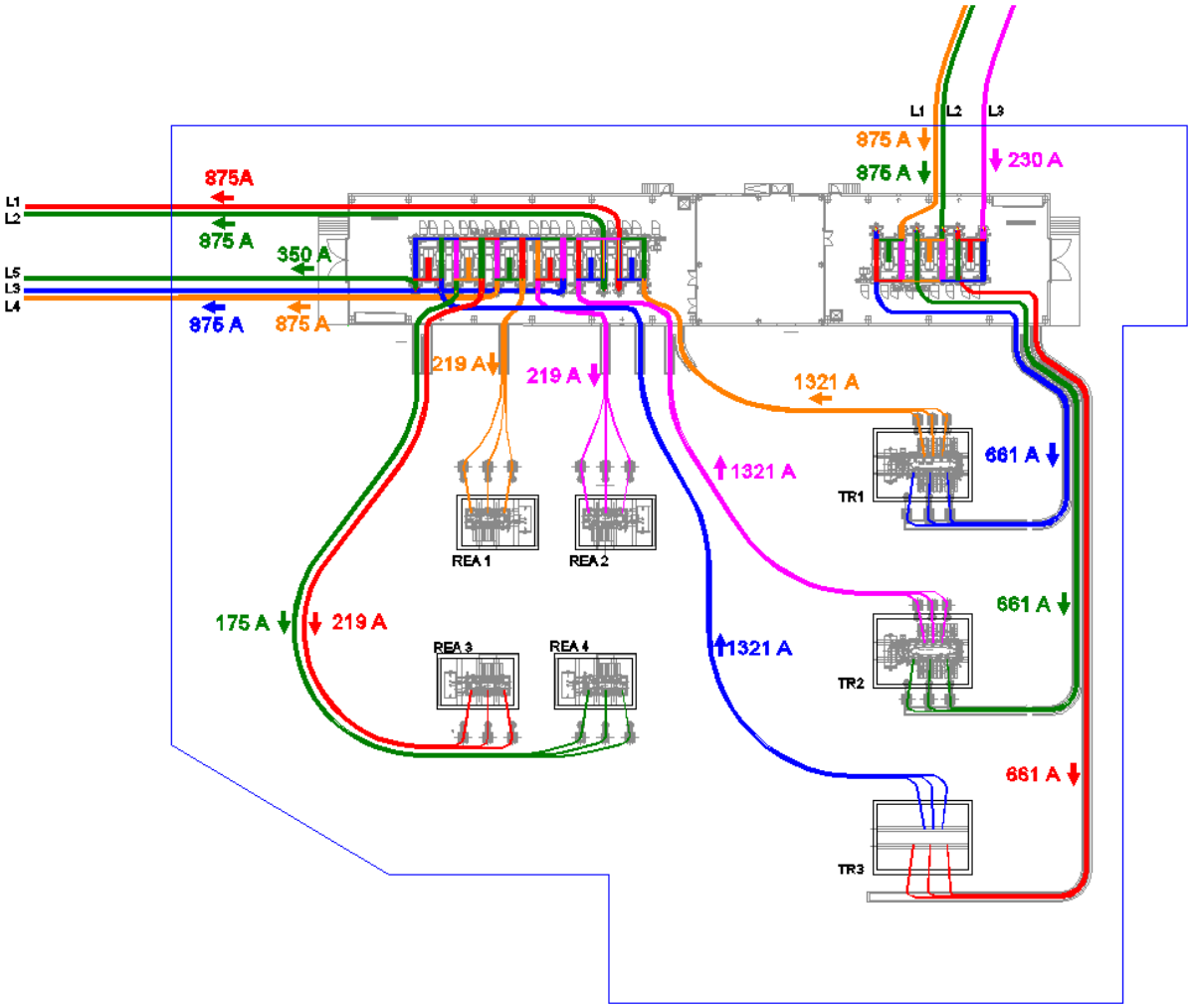


Fig 3: Intensidades estimadas para cálculo de campo magnético

Para la introducción de la topología del parque se ha partido de los planos de planta general del parque y secciones de las calles, así como la potencia de los transformadores y potencia máxima de las líneas.

En el caso de las líneas subterráneas, se han considerado los cables dispuestos en plano, en su recorrido tanto por el parque, como por el edificio y las salidas de línea. Esta configuración es más desfavorable que otras como la disposición al tresbolillo, en el sentido de que produce campos magnéticos superiores.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

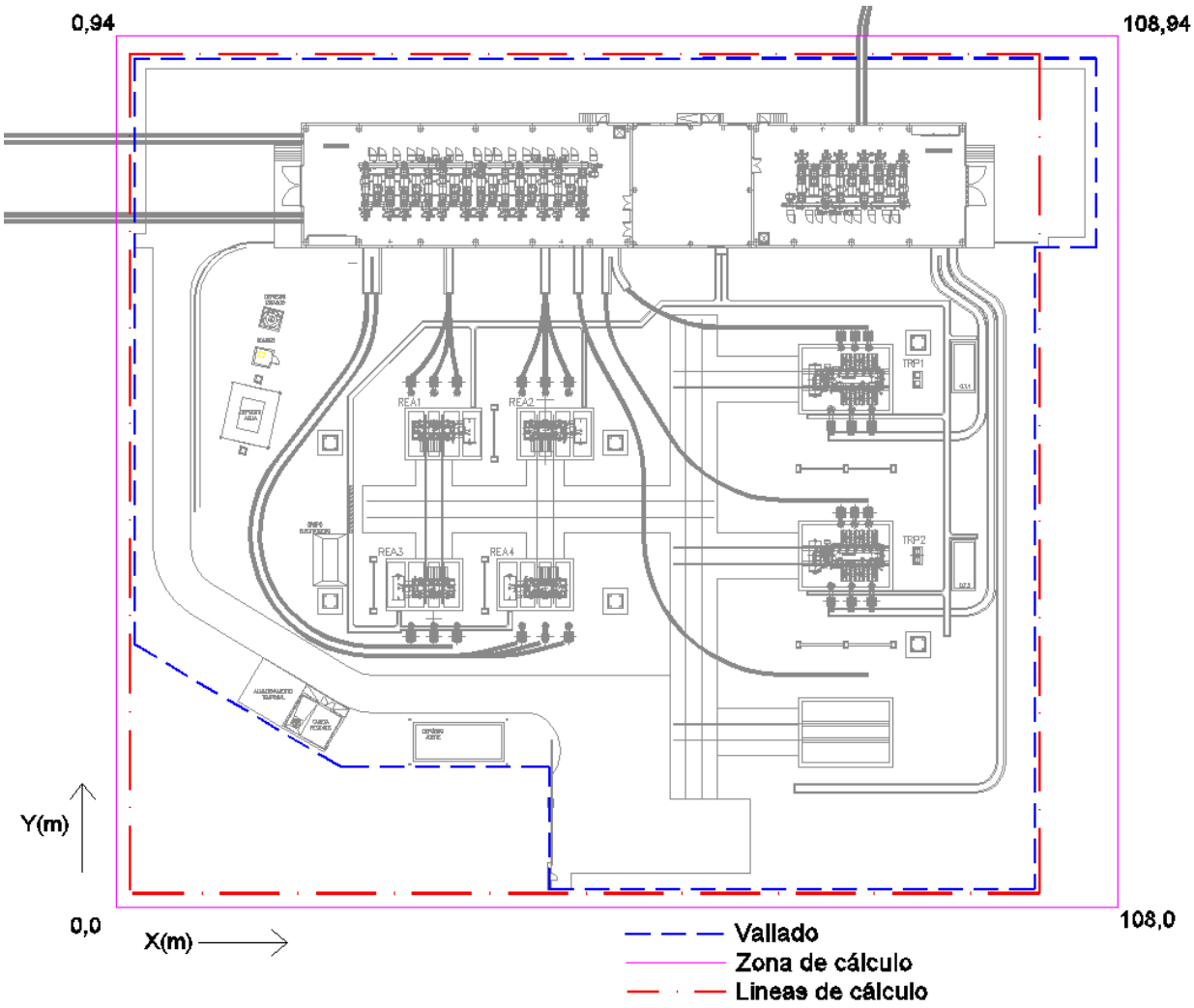


Fig 4: Vallado y zonas límite del cálculo

5. RESULTADOS

La simulación del campo magnético ha sido realizada con el estado de carga indicado anteriormente, estado de carga máximo realizable. Por tanto, los valores de campo magnético calculados y representados serán superiores a los que se producirán durante el funcionamiento habitual de la subestación.

Se ha obtenido el campo magnético en el parque de 132 kV, a 1 metro de altura del suelo. Los resultados obtenidos se representan tanto en el límite exterior del parque de 132 kV. (requerimiento reglamentario) como en el interior del mismo.

Debido a la irregularidad del vallado exterior, y a que los valores de campo magnético obtenidos están alejados de los límites reglamentarios, se ha considerado más adecuado presentar los resultados en las 4 líneas de cálculo representadas en la figura 4, aunque no coinciden en todo su recorrido con el vallado real del parque. En las zonas donde coincide el recorrido del vallado del parque con las líneas de cálculo, estas se sitúan en el exterior, a 0.2 m del mismo.

El valor más elevados de campo en el exterior se produce en la zona de salida de la línea subterránea de 132 kV, siendo de 32.19 µT.

Los resultados se incluyen en el plano “CAMPO MAGNÉTICO A 1 m. SOBRE EL SUELO”.

En las figuras siguientes se representa, como resumen, el campo magnético en los puntos de intersección de una cuadrícula de 21 x 18, correspondiendo a un separación de 5.4 x 5.53 m. La resolución utilizada para el cálculo es de 0.2 m.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

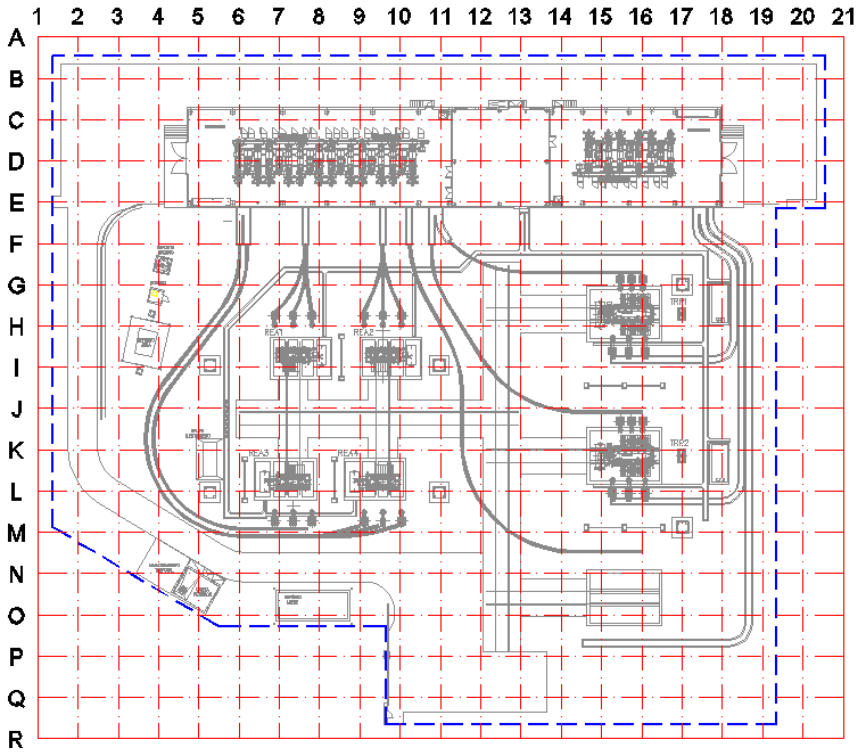


Fig 5: Cuadrícula para resumen de los resultados

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	0,62	0,62	0,63	0,65	0,68	0,72	0,75	0,77	0,74	0,65	0,55	0,53	0,64	1,09	3,72	26,80	4,47	1,27	0,59	0,35	0,24
B	1,73	1,71	1,72	1,75	1,81	1,91	2,00	2,00	1,85	1,33	0,87	0,72	0,81	1,30	4,16	26,42	4,25	1,26	0,66	0,41	0,28
C	22,69	22,70	22,69	22,67	22,59	22,46	23,48	23,87	22,73	7,30	1,76	1,13	1,13	1,94	7,17	26,42	3,99	1,40	0,80	0,50	0,34
D	4,07	4,09	4,10	4,11	4,18	23,25	17,34	48,00	26,55	8,43	3,82	1,92	1,61	4,51	26,51	26,59	7,54	2,49	1,18	0,66	0,41
E	17,68	17,69	17,70	17,71	17,80	21,08	29,44	26,96	43,30	46,45	36,63	3,76	2,19	3,47	6,28	10,64	11,50	10,75	2,14	0,94	0,52
F	1,14	1,10	1,06	1,02	1,14	5,48	2,25	3,11	4,43	20,45	20,82	8,37	4,24	4,45	11,01	16,77	8,65	24,78	5,60	1,40	0,64
G	0,24	0,23	0,24	0,39	1,16	5,11	9,09	8,82	8,55	17,91	21,88	10,75	19,94	22,80	56,78	817,20	11,33	17,10	12,48	1,85	0,75
H	0,07	0,10	0,19	0,53	2,87	5,03	54,05	24,03	38,91	60,41	22,07	10,41	4,15	5,98	21,98	24,47	11,25	17,22	12,36	1,97	0,80
I	0,05	0,10	0,29	1,80	4,81	1,81	3,55	2,07	2,85	4,01	11,50	18,95	6,62	5,66	44,20	129,56	6,08	10,49	11,42	1,91	0,79
J	0,06	0,13	0,61	6,10	1,03	0,73	1,10	1,15	1,40	2,05	7,33	8,55	19,17	17,40	27,40	128,19	9,13	8,69	10,61	1,79	0,77
K	0,06	0,14	0,81	5,22	0,79	0,83	1,37	1,27	1,32	1,92	6,41	8,84	3,68	6,35	25,19	38,24	10,91	9,57	10,22	1,67	0,72
L	0,06	0,13	0,49	5,62	1,95	2,29	6,77	4,54	3,72	5,63	3,64	19,18	3,99	5,26	44,89	121,05	14,04	10,06	9,42	1,52	0,66
M	0,06	0,10	0,24	0,90	4,64	6,43	46,33	20,40	24,76	34,62	2,25	8,31	18,45	8,12	24,37	33,09	8,69	4,98	7,10	1,30	0,59
N	0,05	0,09	0,16	0,31	0,64	1,37	2,91	2,35	2,10	1,93	0,96	1,67	4,09	9,95	40,03	134,16	10,85	4,90	6,50	1,11	0,51
O	0,05	0,07	0,11	0,19	0,32	0,52	0,73	0,74	0,68	0,59	0,54	0,82	1,64	5,28	25,74	32,06	10,74	5,36	6,30	0,92	0,43
P	0,04	0,06	0,09	0,13	0,19	0,26	0,32	0,35	0,34	0,33	0,39	0,58	1,12	3,10	23,73	53,49	2,96	5,43	1,94	0,63	0,34
Q	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18	0,20	0,21	0,23	0,29	0,41	0,69	1,39	3,32	4,15	2,09	1,10	0,67	0,40	0,25
R	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,21	0,29	0,42	0,65	0,97	1,06	0,81	0,55	0,38	0,26	0,19

Fig 6: Valores de campo magnético en microteslas en los puntos de intersección de la cuadrícula de la figura 5. Los valores recuadrados son los más cercanos al vallado del parque.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con el Resumen informativo elaborado por el Ministerio de Sanidad y Consumo con fecha 11 de Mayo de 2001, a partir del informe técnico realizado por un Comité pluridisciplinar de Expertos Independientes en el que se evaluó el riesgo de los campos electromagnéticos sobre la salud humana, se puede concretar que para los niveles de campo magnético que se generan en el parque de 132 kV GIS del proyecto tipo, no se ocasionan efectos adversos para la salud, ya que son unos niveles de radiación muy inferiores a las 100 µT., límite preventivo para el cual, se puede asegurar que no se ha identificado ningún mecanismo biológico que muestre una posible relación causal entre la exposición a estos niveles de campo electromagnético y el riesgo de padecer alguna enfermedad, en concordancia así mismo, con las conclusiones de la Recomendación del Consejo de Ministros de Salud de la Unión Europea (1999/519/CE), relativa a la exposición del público a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz, cuya trascripción al ámbito nacional queda recogido en el Real Decreto 1066/2001 28 de Septiembre de 2001.

Estos niveles de campo magnético no son, por otra parte, exclusivos de subestaciones eléctricas, siendo habituales en otros ambientes, como oficinas, medios de locomoción o incluso en ambientes residenciales fruto de la evolución tecnológica de la sociedad.

7. CONCLUSIONES

Como conclusión de la simulación y cálculo realizado del campo magnético generado por la actividad del parque de 132 kV GIS del proyecto tipo, en las condiciones más desfavorables de funcionamiento (hipótesis de carga máxima realizable), se obtiene que los valores de radiación emitidos están muy por debajo de los valores límite recomendados, esto es, 100 µT para el campo magnético a la frecuencia de la red, 50Hz.

8. REFERENCIAS

[1] C. Munteanu, Ioan T. Pop, V. Topa, C. Hangea, T. Gutiu, S. Lup “Study of the Magnetic Field Distribution inside Very High Voltage Substations” 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2012) IEEE.

[2] C. Munteanu, C. Diaconu, I. T. Pop, and V. Topa “Electric and Magnetic Field Distribution Inside High Voltage Power Stations from Romanian Power Grid” International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. IEEE.

[3] G. Visan, I. T. Pop and C. Munteanu “Electric and Magnetic Field Distribution in Substations belonging to Transelectrica TSO” 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference.

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN SANTA PONSA 132, 220 kV, DOS NUEVAS REACTANCIAS 30MVA Y NUEVO TRANSFORMADOR 160MVA

DOCUMENTO 5.2

ESTUDIO DE CAMPOS MAGNÉTICOS PARQUE 220kV

Dirección de Ingeniería y Construcción
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

Índice

1. OBJETO 3
2. NORMATIVA VIGENTE 3
3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAMPOS MAGNÉTICOS 3
4. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN Y DATOS DE CÁLCULO 4
5. RESULTADOS 9
6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS 10
7. CONCLUSIONES 11
8. REFERENCIAS 11

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

1. OBJETO

El objeto de este estudio es estimar las emisiones de campo magnético en el exterior accesible por el público del parque de 220 kV GIS del proyecto tipo, con el propósito de comprobar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa vigente.

El estudio comprende el cálculo de los niveles máximos del campo magnético que por razón del funcionamiento de la subestación pueden alcanzarse en su entorno, y su evaluación comparativa con los límites establecidos en la normativa vigente.

El cálculo se circunscribe al parque de 220 kV GIS del proyecto tipo según se observa en la figura 4.

2. NORMATIVA VIGENTE

El R.D. 337/2014 de 9 de mayo, recoge el "Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión" (RAT). Este nuevo Reglamento limita los campos electromagnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión, remitiendo al R.D. 1066/2001.

El R.D. 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se aprueba el "Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a las emisiones radioeléctricas", adopta medidas de protección sanitaria de la población estableciendo unos límites de exposición del público a campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas acordes a las recomendaciones europeas. Para el campo magnético generado a la frecuencia industrial de 50 Hz, el límite establecido es de 100 microteslas (100 µT).

En el RAT, las limitaciones y justificaciones necesarias aparecen indicadas en las instrucciones técnicas complementarias siguientes:

1. ITC-RAT-14. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE INTERIOR. 4.7: Limitación de los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.
2. ITC-RAT-15. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE EXTERIOR. 3.15: Limitación de los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.
3. ITC-RAT-20. ANTEPROYECTOS Y PROYECTOS. 3.2.1: Memoria.

En relación al campo magnético generado por los transformadores de potencia, se aplica la norma UNE-CLC/TR 50453 IN de noviembre de 2008, "Evaluación de los campos electromagnéticos alrededor de los transformadores de potencia".

Aunque la medida de campos magnéticos no es objeto del presente documento, a continuación se indican las normas aplicables a la misma:

1. Norma UNE 20833 de abril de 1997: "Medida de los campos eléctricos a frecuencia industrial".
2. Norma UNE-EN 62110 de mayo de 2013. "Campos eléctricos y magnéticos generados por sistemas de alimentación en corriente alterna. Procedimientos de medida de los niveles de exposición del público en general".
3. Norma UNE-EN 61786-1 de octubre de 2014. "Medición de campos magnéticos en corriente continua, campos eléctricos y magnéticos en corriente alterna de 1 Hz a 100 kHz. Parte 1: Requisitos para los instrumentos de medida".
4. Norma IEC 61786-2 de diciembre de 2014. "Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings. Part 2: Basic standard for measurements.

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Para la elaboración del análisis del campo magnético, se ha desarrollado una aplicación que realiza la simulación y cálculo del campo magnético en los puntos deseados de la instalación y su entorno.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

La aplicación desarrollada está realizada sobre Matlab/Octane. El cálculo está basado en un cálculo analítico (Biot y Savart de un segmento) realizado sobre el conjunto de conductores 3D de una subestación, discretizados a segmentos rectilíneos, y sobre un periodo de onda completo para obtener valores eficaces. Se tienen en cuenta los diferentes desfases entre fases o motivados por la presencia de un transformador. La misma metodología ha sido empleada con buenos resultados en otros estudios publicados [1],[2],[3].

A modo de validación de la aplicación se han calculado los ejemplos descritos en la Norma UNE-EN 62110, obteniéndose los mismos resultados que en dicha norma. El desarrollo de estos cálculos se recoge en el anexo a este documento.

El cálculo no tiene en cuenta el campo generado por los transformadores, sólo por los conductores. Esta simplificación no afecta de forma significativa a los resultados obtenidos según se indica en UNE-CLC/TR-50453. De igual forma, no se consideran los posibles apantallamientos debidos a pantallas de cables o envolventes de la aparamenta eléctrica, quedando el cálculo por el lado de la seguridad.

La entrada de datos de la aplicación es la topología en 3D del conjunto de conductores de la subestación, así como las corrientes que circulan por cada conductor. Las corrientes consideradas para el cálculo son las máximas previstas para cada posición (en especial de los transformadores) o tramo de ella, de forma que se obtiene el máximo campo magnético. El estado de carga máximo planteado es técnicamente posible de alcanzar, pero difícil que se produzca en realidad, y en todo caso durante un breve espacio de tiempo.

En ocasiones, debido a la topología de la instalación, no es posible determinar las corrientes por todos los tramos de las diferentes posiciones. Para estos casos se estiman las corrientes por dichos tramos que den lugar a los campos más desfavorables.

Los resultados obtenidos se presentan en los límites exteriores de la subestación accesibles por el público, considerándose para el cálculo una distancia de 0,2 m del vallado y a una altura de 1 m, según UNE-EN 62110. De igual forma, se facilita el cálculo del campo B en toda la superficie de la subestación a una altura de 1 m a efectos informativos.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN Y DATOS DE CÁLCULO

El parque de 220 kV GIS del proyecto tipo tiene las siguientes características:

Nivel de 220 kV.

- Tipo ..... Blindada aislada en SF6
- Topología ..... Doble barra
- Posiciones de línea 5
- Posiciones de barras 2
- Posiciones de acoplo 1
- Superficie aprox. del parque ..... 9686 m^2

El estado de carga considerado, consiste en considerar los dos transformadores 400/220 kV a su potencia máxima y conectados a la barra 1, siendo el flujo de potencia del nivel de 400 kV. al de 220 kV. Todas las líneas están conectadas a la barra 2 y el acoplamiento está cerrado. Las líneas 1, 2 y 3 evacúan su potencia máxima. Las línea 4 y 5 aportan al parque la diferencia entre la potencia evacuada por las líneas 1, 2 y 3, y la aportada por los transformadores.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

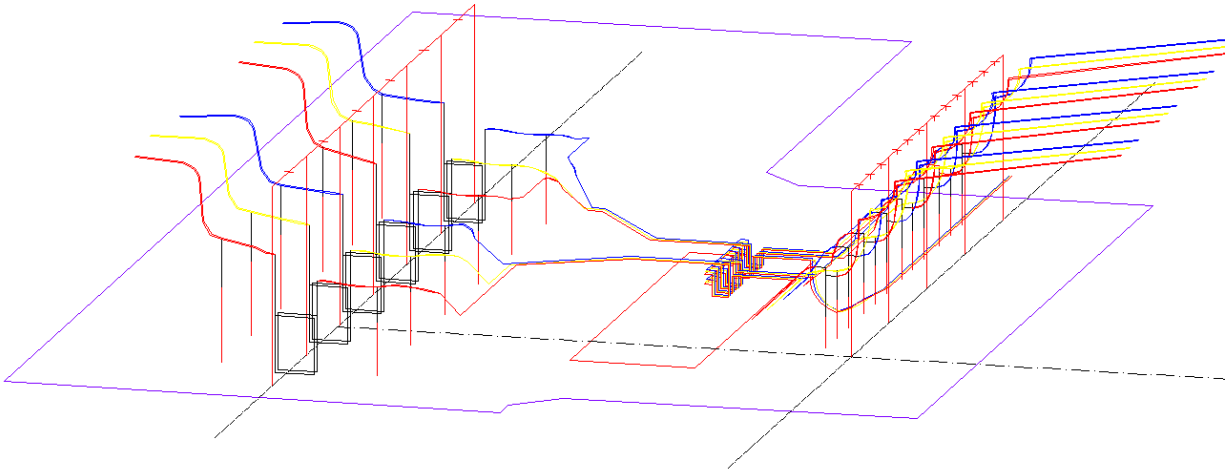


Fig 1: Modelo 3D de los cables de la instalación.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

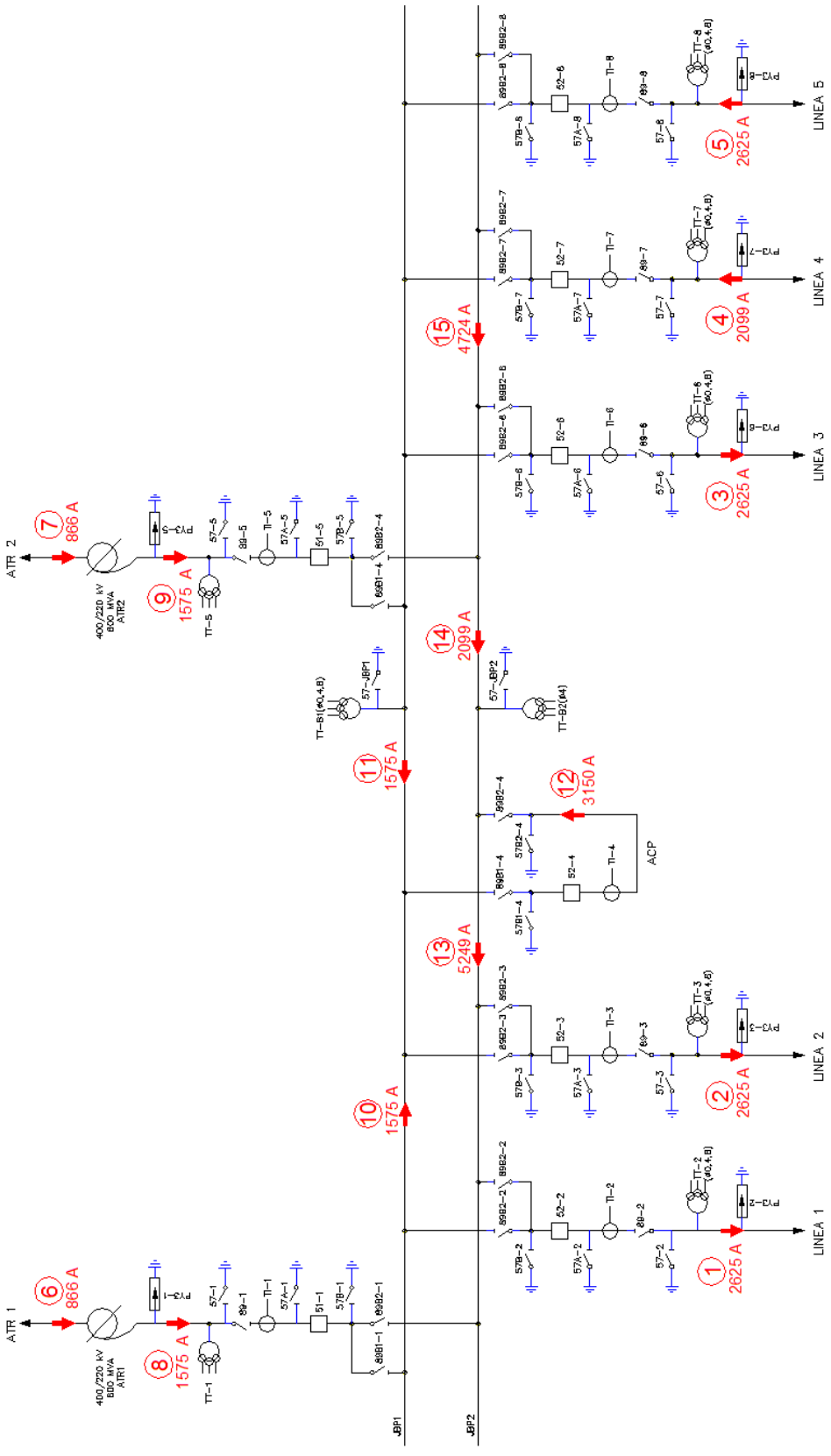


Fig 2: Unifilar con intensidades consideradas

Las intensidades consideradas para el cálculo del campo magnético son las siguientes:

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

POSICIÓN O TRAMO	REF.	INTENSIDAD (A)	FASE (º)	TIPO
TRAFO 1 400 kV	6	866(2)	0	Trifásica equilibrada
TRAFO 2 400 kV	7	866(2)	0	Trifásica equilibrada
TRAFO 1 220 kV	8	1575(2)	0	Trifásica equilibrada
TRAFO 2 220 kV	9	1575(2)	0	Trifásica equilibrada
LÍNEA 1	1	2625(1)	0	Trifásica equilibrada
LÍNEA 2	2	2625(1)	0	Trifásica equilibrada
LÍNEA 3	3	2625(1)	0	Trifásica equilibrada
LÍNEA 4	4	2099	0	Trifásica equilibrada
LÍNEA 5	5	2625(1)	0	Trifásica equilibrada
ACOPLO	12	3150	0	Trifásica equilibrada
BARRAS 1: TR1 - ACP	10	1575	0	Trifásica equilibrada
BARRAS 1: TR2 - ACP	11	1575	0	Trifásica equilibrada
BARRAS 2: LINEA 4 – LINEA 3	15	4724	0	Trifásica equilibrada
BARRAS 2: LINEA 3 – ACP	14	2099	0	Trifásica equilibrada
BARRAS 2: ACP – LINEA 2	13	5249	0	Trifásica equilibrada

(1) Intensidad correspondiente a la capacidad de transporte máxima de la línea, 100 MVA.

(2) Intensidad correspondiente a la potencia máxima del transformador, 600 MVA.

El Real Decreto 1066/2001 aconseja tomar medidas que limiten las radiaciones de campo eléctrico y magnético. En el caso que nos ocupa estas medidas son:

1. Las distancias existentes entre los equipos eléctricos y el cierre de la instalación permite reducir los niveles de exposición al público en general fruto de la disminución del campo magnético con la distancia.
2. Las posiciones se ubican, en el interior de un edificio, en celdas blindadas, cuya carcasa disminuye notablemente el campo magnético en el exterior.
3. En el caso de las líneas subterráneas, los conductores están constituidos en su totalidad por cables aislados secos con pantalla metálica exterior. Esto permite reducir el campo magnético exterior tanto por la propia pantalla como por el tendido de los cables en forma de tresbolillo. En el cálculo se ha utilizado una disposición plana para considerar el caso más desfavorable.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

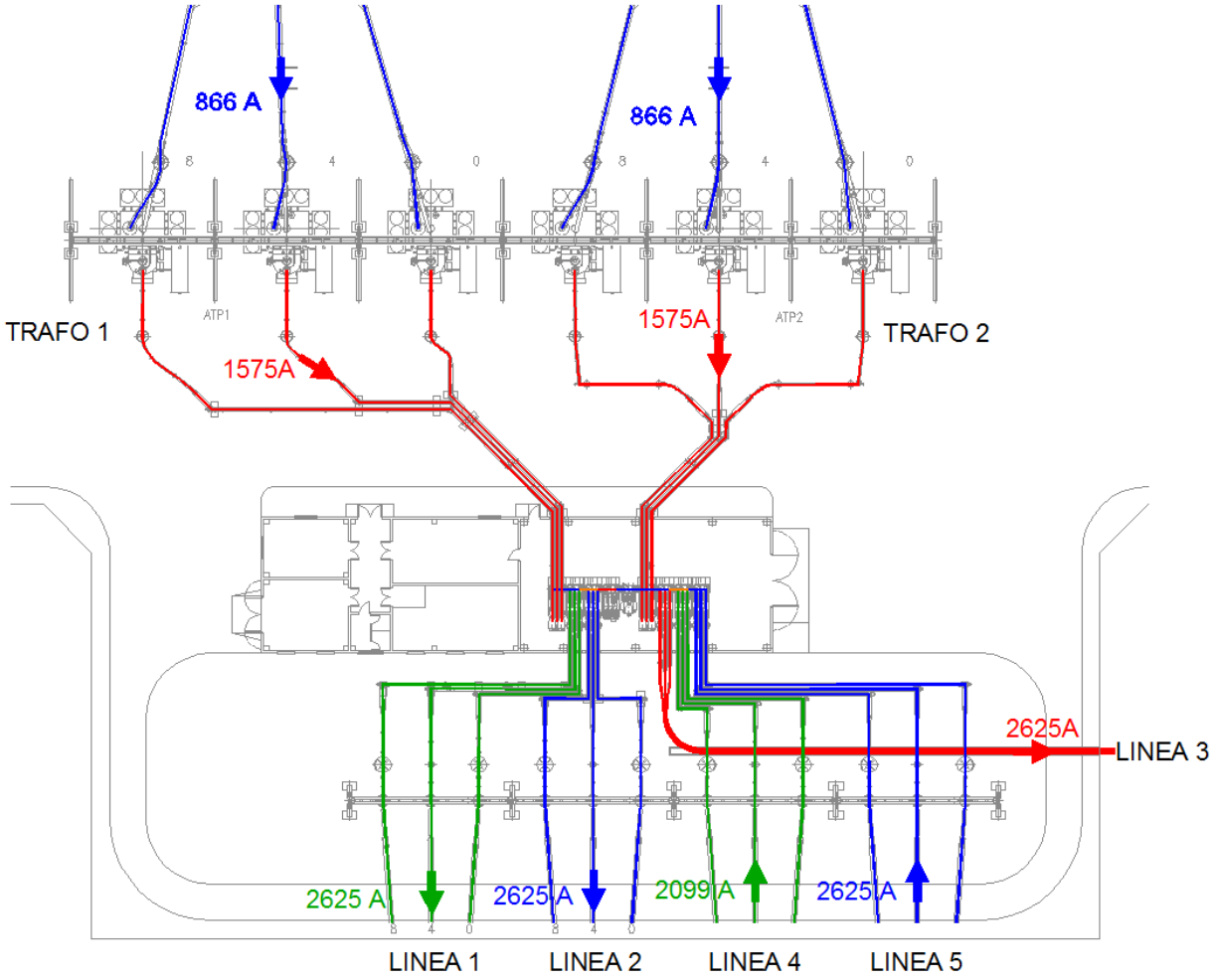


Fig 3: Intensidades estimadas para cálculo de campo magnético

Para la introducción de la topología del parque se ha partido de los planos de planta general del parque y secciones de las calles, así como la potencia de los transformadores y potencia máxima de las líneas.

En el caso de las líneas subterráneas, se han considerado los cables dispuestos en plano, en su recorrido tanto por el parque, como por el edificio y las salidas de línea. Esta configuración es más desfavorable que otras como la disposición al tresbolillo, en el sentido de que produce campos magnéticos superiores.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M.. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

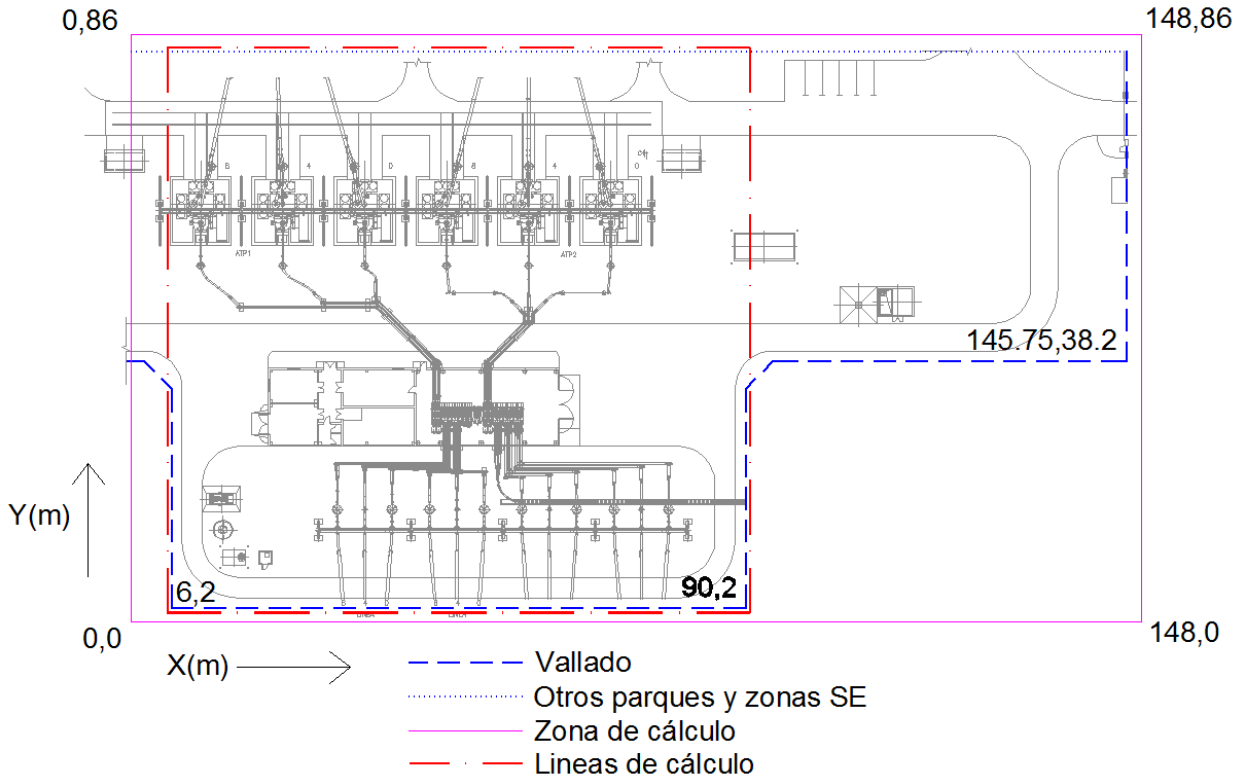


Fig 4: Vallado y zonas límite del cálculo

5. RESULTADOS

La simulación del campo magnético ha sido realizada con el estado de carga indicado anteriormente, estado de carga máximo realizable. Por tanto, los valores de campo magnético calculados y representados serán superiores a los que se producirán durante el funcionamiento habitual de la subestación.

Se ha obtenido el campo magnético en el parque de 220 kV, a 1 metro de altura del suelo. Los resultados obtenidos se representan tanto en el límite exterior del parque de 220 kV. (requerimiento reglamentario) como en el interior del mismo.

Debido a la irregularidad del vallado exterior, y a que los valores de campo magnético obtenidos están alejados de los límites reglamentarios, se ha considerado más adecuado presentar los resultados en las 4 líneas de cálculo representadas en la figura 4, aunque no coinciden en todo su recorrido con el vallado real del parque. En las zonas donde coincide el recorrido del vallado del parque con las líneas de cálculo, estas se sitúan en el exterior, a 0.2 m del mismo.

El valor más elevados de campo en el exterior se produce en la zona de salida de la línea subterránea de 220 kV, siendo de 49.08 µT.

Los resultados se incluyen en el plano “CAMPO MAGNÉTICO A 1 m. SOBRE EL SUELO”.

En las figuras siguientes se representa, como resumen, el campo magnético en los puntos de intersección de una cuadrícula de 21 x 15, correspondiendo a un separación de 7.4 x 6.14 m. La resolución utilizada para el cálculo es de 0.2 m.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

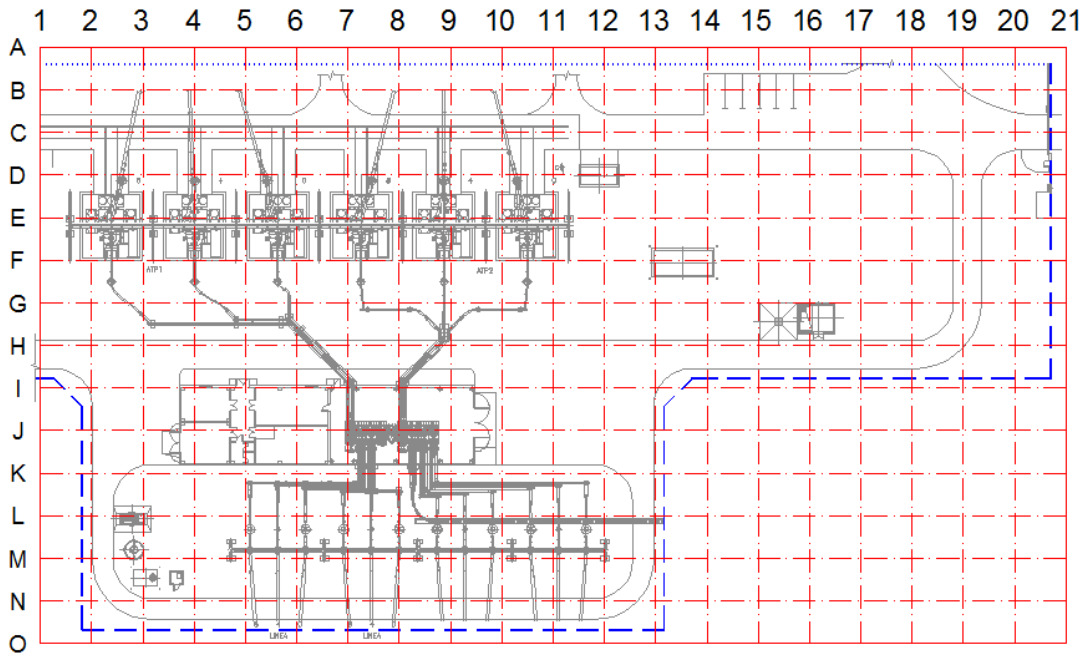


Fig 5: Cuadrícula para resumen de los resultados

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	1,67	2,54	3,36	3,65	3,19	2,52	2,65	3,42	3,79	3,38	2,48	1,62	1,03	0,68	0,47	0,35	0,26	0,21	0,17	0,14	0,12
B	2,31	3,82	5,31	5,71	4,67	2,90	3,17	5,02	5,86	5,20	3,55	2,07	1,20	0,73	0,49	0,35	0,26	0,20	0,16	0,13	0,11
C	3,21	5,92	8,82	9,48	7,70	3,73	4,26	8,13	9,59	8,47	5,23	2,67	1,42	0,82	0,52	0,36	0,27	0,20	0,16	0,13	0,11
D	4,26	8,80	14,35	15,30	13,03	5,66	6,48	13,41	15,19	13,53	7,37	3,35	1,69	0,95	0,59	0,40	0,29	0,22	0,17	0,14	0,11
E	5,70	13,67	23,53	24,24	21,98	10,29	10,76	21,82	23,46	21,68	10,98	4,40	2,06	1,12	0,68	0,45	0,32	0,24	0,18	0,14	0,12
F	7,56	22,43	39,43	40,83	38,52	22,67	20,15	34,66	37,04	34,85	17,84	5,83	2,44	1,26	0,75	0,50	0,35	0,26	0,20	0,16	0,12
G	8,08	22,74	56,14	67,26	65,66	37,35	25,21	40,31	46,26	37,85	17,68	5,93	2,49	1,31	0,80	0,54	0,38	0,28	0,22	0,17	0,13
H	6,91	14,57	32,60	46,89	45,77	30,97	19,49	25,49	33,73	20,07	9,62	4,09	2,09	1,27	0,84	0,58	0,42	0,31	0,24	0,18	0,14
I	5,56	9,26	14,82	19,90	22,94	25,39	16,29	20,45	15,56	5,92	2,26	2,65	2,07	1,41	0,95	0,65	0,46	0,34	0,25	0,20	0,16
J	4,60	6,87	10,19	15,30	25,27	33,16	1641,3	1336,4	30,77	11,26	14,92	9,50	4,02	2,08	1,25	0,79	0,53	0,37	0,27	0,21	0,17
K	4,01	5,82	8,99	17,42	91,28	165,43	163,52	113,97	133,13	118,69	163,07	40,77	8,17	3,73	1,80	1,01	0,62	0,41	0,29	0,22	0,17
L	3,60	5,29	8,75	20,14	93,13	112,58	118,00	160,06	119,76	64,18	115,43	73,55	45,65	38,91	3,56	1,25	0,71	0,45	0,31	0,23	0,18
M	3,28	4,92	8,40	17,91	43,32	42,51	41,14	65,73	64,07	34,20	58,59	37,47	12,47	4,80	2,29	1,34	0,77	0,48	0,33	0,24	0,19
N	2,96	4,48	7,59	14,25	24,11	25,76	27,94	37,73	36,49	28,71	30,55	23,31	11,63	5,28	2,56	1,38	0,80	0,50	0,34	0,25	0,20
O	2,59	3,90	6,39	10,82	15,78	17,70	20,26	25,33	25,11	21,43	20,02	15,87	9,34	4,77	2,45	1,33	0,78	0,50	0,35	0,26	0,21

Fig 6: Valores de campo magnético en microteslas en los puntos de intersección de la cuadrícula de la figura 5. Los valores recuadrados son los más cercanos al vallado del parque.

6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con el Resumen informativo elaborado por el Ministerio de Sanidad y Consumo con fecha 11 de Mayo de 2001, a partir del informe técnico realizado por un Comité pluridisciplinar de Expertos Independientes en el que se evaluó el riesgo de los campos electromagnéticos sobre la salud humana, se puede concretar que para los niveles de campo magnético que se generan en el parque de 220 kV GIS del proyecto tipo, no se ocasionan efectos adversos para la salud, ya que son unos niveles de radiación muy inferiores a las 100 µT., límite preventivo para el cual, se puede asegurar que no se ha identificado ningún mecanismo biológico que muestre una posible relación causal entre la exposición a estos niveles de

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 20220541S. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925.
Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

campo electromagnético y el riesgo de padecer alguna enfermedad, en concordancia así mismo, con las conclusiones de la Recomendación del Consejo de Ministros de Salud de la Unión Europea (1999/519/CE), relativa a la exposición del público a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz, cuya trascripción al ámbito nacional queda recogido en el Real Decreto 1066/2001 28 de Septiembre de 2001.

Estos niveles de campo magnético no son, por otra parte, exclusivos de subestaciones eléctricas, siendo habituales en otros ambientes, como oficinas, medios de locomoción o incluso en ambientes residenciales fruto de la evolución tecnológica de la sociedad.

7. CONCLUSIONES

Como conclusión de la simulación y cálculo realizado del campo magnético generado por la actividad del parque de 220 kV GIS del proyecto tipo, en las condiciones más desfavorables de funcionamiento (hipótesis de carga máxima realizable), se obtiene que los valores de radiación emitidos están muy por debajo de los valores límite recomendados, esto es, 100 µT para el campo magnético a la frecuencia de la red, 50Hz.

8. REFERENCIAS

[1] C. Munteanu, Ioan T. Pop, V. Topa, C. Hangea, T. Gutiu, S. Lup "Study of the Magnetic Field Distribution inside Very High Voltage Substations" 2012 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2012) IEEE.

[2] C. Munteanu, C. Diaconu, I. T. Pop, and V. Topa "Electric and Magnetic Field Distribution Inside High Voltage Power Stations from Romanian Power Grid" International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. IEEE.

[3] G. Visan, I. T. Pop and C. Munteanu "Electric and Magnetic Field Distribution in Substations belonging to Transelectrica TSO" 2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference.

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205415. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.coiim.es/Verificacion. Cod.Ver: 37504925. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU