

# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

COMUNIDAD AFECTADA

Aragón

TÉRMINO MUNICIPAL

Hijar

	COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS INDUSTRIALES COIIM - MADRID
Nº VISADO 202205384	FECHA DE VISADO 09/12/2022
<b>VISADO</b>	
DOCUMENTO VISADO CON FIRMA ELECTRÓNICA	
COLEGIADO/A Nº:	NOMBRE
11729 COIIM DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU	

Madrid, noviembre de 2022

Rfª.: TI.S/2022/J-0487-S1980

# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

### ÍNDICE

		Nº DE PÁGINAS
DOCUMENTO 1	MEMORIA	19
ANEXO 1	CÁLCULOS	45
DOCUMENTO 2	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	09
ANEXO 1	REQUISITOS AMBIENTALES. ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	15
ANEXO 2	ESTUDIO DE SEGURIDAD	13
DOCUMENTO 3	PLANOS	17
DOCUMENTO 4	PRESUPUESTO	03
DOCUMENTO 5	ESTUDIO CAMPOS MAGNÉTICOS	12

Madrid, noviembre de 2022

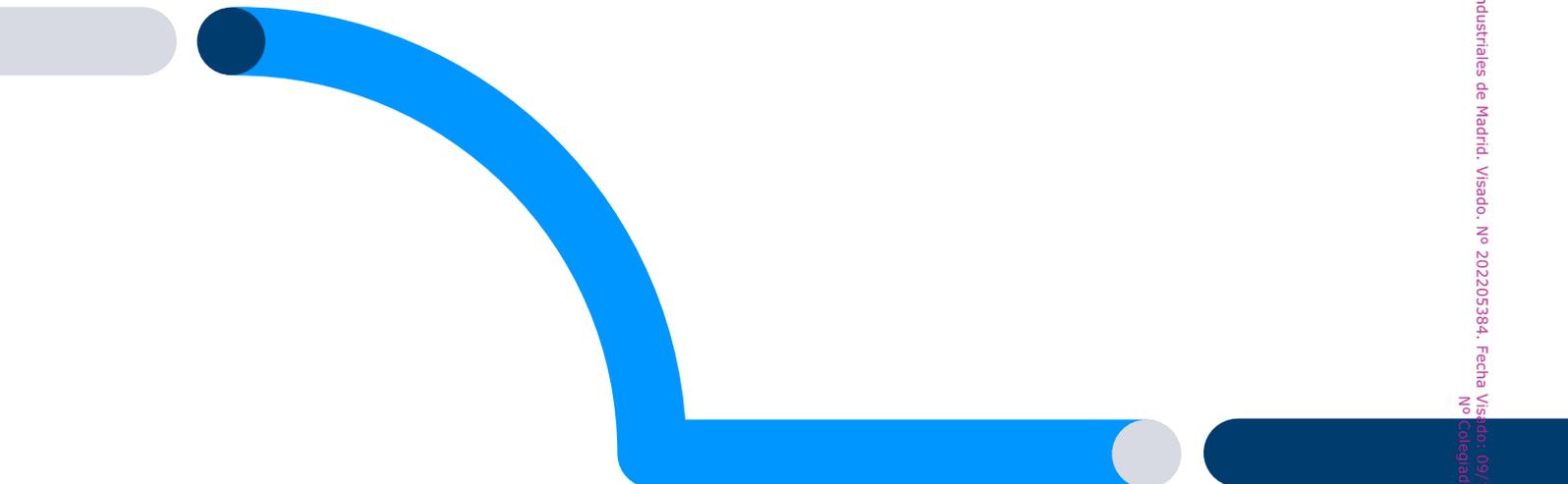
El Ingeniero industrial



**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.



# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

DOCUMENTO 1

MEMORIA

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

## Índice

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.....	5
2	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS EN LA SUBESTACIÓN DE HIJAR .....	7
2.1	GENERALIDADES E HIPÓTESIS DE DISEÑO .....	7
2.1.1	Características básicas y emplazamiento .....	7
2.1.2	Hipótesis de diseño .....	7
2.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN .....	7
2.2.1	Descripción general de la instalación.....	7
2.2.2	Configuración y disposición general de la instalación .....	7
2.3	SISTEMA ELÉCTRICO.....	7
2.3.1	Magnitudes eléctricas .....	7
2.3.2	Distancias.....	7
2.3.3	Embarrados.....	10
2.3.4	Características de la aparamenta .....	10
2.4	RED DE TIERRAS.....	12
2.4.1	Red de tierras inferiores .....	12
2.4.2	Red de tierras superiores.....	13
2.5	ESTRUCTURAS METÁLICAS.....	13
2.6	SISTEMAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.....	13
2.6.1	Sistemas de control .....	13
2.6.2	Sistemas de protecciones.....	13
2.7	SERVICIOS AUXILIARES .....	14
2.8	SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES .....	15
2.9	OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN .....	15
2.9.1	Movimiento de tierras .....	15
2.9.2	Drenajes .....	15
2.9.3	Cimentaciones, viales y canales de cables.....	16

2.9.4	Accesos.....	16
2.9.5	Edificios y casetas .....	16
2.9.6	Cerramiento.....	16
2.10	INSTALACIONES DE ALUMBRADO Y FUERZA.....	16
2.10.1	Alumbrado.....	16
2.10.2	Fuerza.....	16
2.11	SISTEMA CONTRA INCENDIOS Y ANTIINTRUSISMO .....	17
3	NORMATIVA APLICADA.....	18
4	PLAZO DE EJECUCIÓN Y FECHA PREVISTA DE PUESTA EN SERVICIO .....	19

## 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 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 HIJAR en el parque de 220 kV, mediante la instalación de un transformador 220/132 (calle 6) propiedad de E distribución Redes Inteligentes S.L.U. (Endesa), con objeto de reforzar la red de distribución. La instalación se ubica en el término municipal de Híjar, provincia de Teruel, dentro de la Comunidad Autónoma de Aragón.

La Subestación Híjar de 220kV fue autorizada por la Dirección General de Energía y Minas mediante Resolución de 10 de junio de 2010, en el expediente AT 39/2010, habiendo sido publicado en el Boletín Oficial de Aragón nº 151, de fecha 3 de agosto de 2010.

La citada instalación se encuentra recogida en el correspondiente anexo contenido en las modificaciones del Planificación Energética, Plan de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica 2021-2026, aprobado mediante Acuerdo del Consejo de Ministros de fecha 22 de marzo de 2022 y publicada por Resolución de la Secretaria de Estado de Energía de fecha 8 de abril de 2022 («Boletín Oficial del Estado» n.º 93, de 19 de abril de 2022).

### 1.2 OBJETO

De conformidad con lo establecido en la referida Ley 24/2013, de 26 de diciembre 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 del presente proyecto, a efectos administrativos, la aportación de los datos precisos para la obtención de la correspondiente resolución relativas a:

- Autorización administrativa previa para la ampliación de la subestación HIJAR con una nueva posición de Distribución (calle 6).
- Autorización administrativa de construcción para la ampliación de la subestación HIJAR con una nueva posición de Distribución (calle 6).

Al tratarse el presente proyecto de una instalación de la red de transporte secundario que afecta a la provincia de Teruel, en la Comunidad Autónoma de Aragón, compete a la Dirección General de Energía y Minas de dicha Comunidad Autónoma resolver sobre las autorizaciones del presente proyecto técnico administrativo, siendo el responsable de su tramitación el Servicio Provincial de Industria, Competitividad y Desarrollo Empresarial de Teruel.

De igual manera, se hace constar que, el presente proyecto siguiendo lo indicado en la Disposición Adicional séptima de la Ley 1/2021, de 11 de febrero, de simplificación administrativa de Aragón (BOA de 23-02-2021) deberá tramitarse expresamente en los correspondientes requerimientos de informes o condicionados a las administraciones con competencia urbanística y de ordenación del territorio, a los efectos de lo establecido en las disposiciones adicionales duodécima, segunda y tercera de la Ley 13/2003, de 23 de mayo, reguladora del contrato de concesión de obras públicas (BOE de 24-05-2003).

Asimismo, en el orden técnico, su objeto es informar de las características de la instalación proyectada, así como mostrar su adaptación a lo establecido en 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.

## 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

- Excmo. Ayuntamiento de Híjar (Comarca del Bajo Martín).
- Comisión Provincial de Urbanismo de Teruel. Gobierno de Aragón.
- E distribución Redes Inteligentes S.L.U. (Endesa)

## 1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Parque de 220 kV

- Nuevas posiciones de interruptor a instalar:

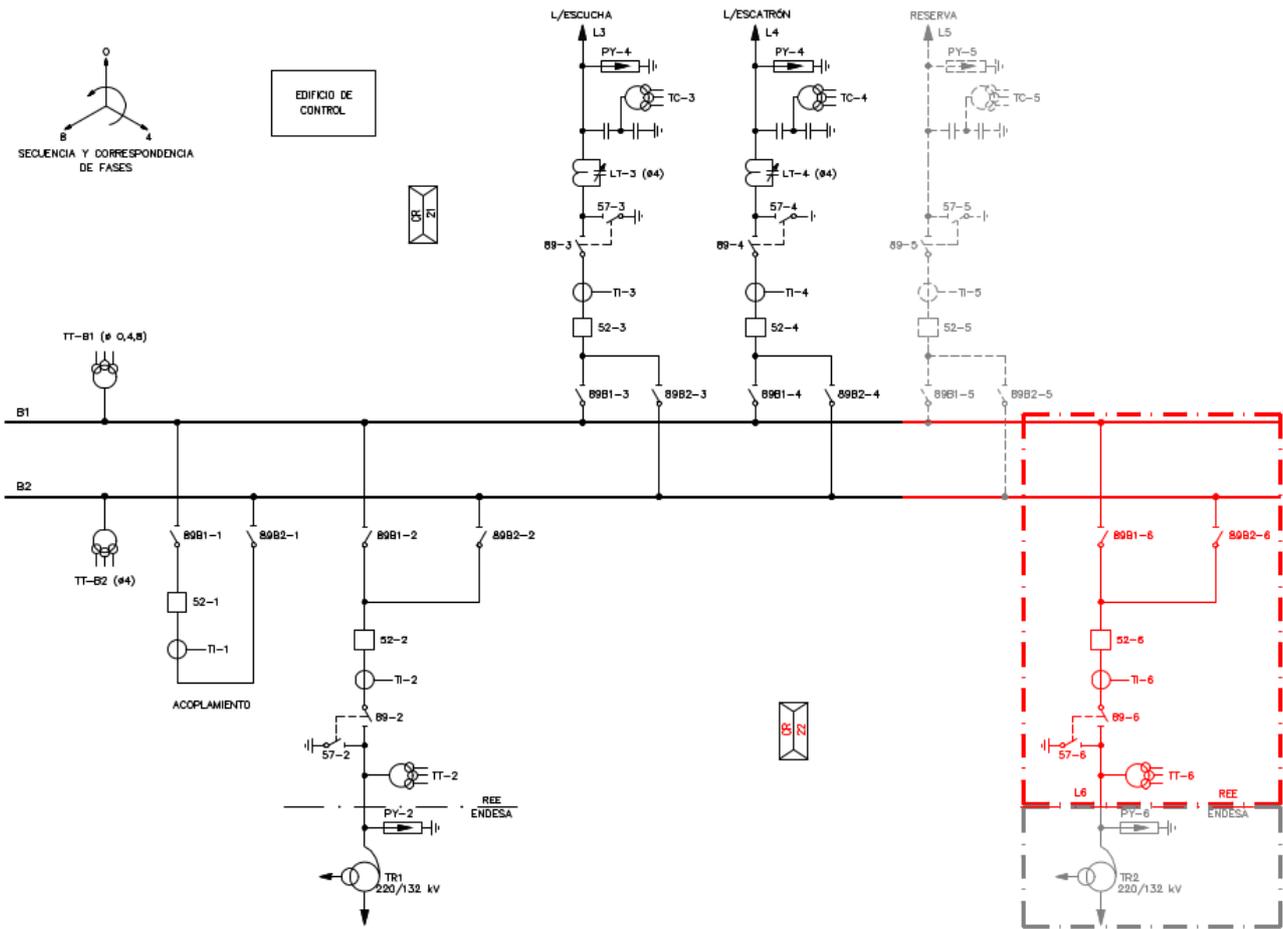
Número de posiciones equipadas	1
--------------------------------	---

- Características:

Tecnología	AIS
Instalación	Convencional exterior
Configuración	Doble barra
Intensidad de cortocircuito de corta duración	40 kA

## 1.5 ESQUEMA DE LA ACTUACIÓN

La actuación consiste en la ampliación de la subestación HIJAR 220 kV tipo AIS con configuración de Doble barra. El esquema unifilar del parque de 220 kV donde se recogen las actuaciones a realizar se muestra a continuación.



Subestación eléctrica HIJAR, parque 220 kV

## 2 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS EN LA SUBESTACIÓN DE HIJAR

### 2.1 GENERALIDADES E HIPÓTESIS DE DISEÑO

#### 2.1.1 Características básicas y emplazamiento

La subestación de HIJAR 220 kV está situada en el término municipal de Híjar, provincia de Teruel, Comunidad Autónoma de Aragón.

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 AIS.

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 el parque de 220 kV de la subestación HIJAR se construya con configuración de Doble barra.

#### 2.1.2 Hipótesis de diseño

- Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales del emplazamiento son las siguientes:

- Altura media sobre el nivel del mar .....295 m
- Temperaturas extremas .....+ 40° C/-20° 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 Híjar de < 0,04g por lo que no se tendrán en cuenta estas acciones sísmicas.

- Datos de cortocircuito

El proyecto considera una intensidad de cortocircuito de corta duración de 40 kA.

Las intensidades de cortocircuito previstas en el horizonte 2026 para el parque de 220 kV son las siguientes:

- Monofásica.....13,60 kA
- Trifásica .....16,43 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

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

- Tensión nominal.....220 kV
- Tensión más elevada para el material (Um) .....245 kV
- Tecnología .....AIS
- Instalación .....Convencional exterior
- Configuración .....Doble barra
- Intensidad de cortocircuito de corta duración.....40 kA

### 2.2.2 Configuración y disposición general de la instalación

Calle	Existente		Con la ampliación		
	Posición	Nº de interruptores	Posición	Nº de interruptores	Nº de interruptores nuevos
1	ACP	1	ACP	1	0
2	TR-1 220/132	1	TR-1 220/132	1	0
3	ESCUCHA	1	ATP1 220/132	1	0
4	ESCATRON	1	ATP2 220/132	1	0
5	RESERVA	0	RESERVA	0	0
6	TR-2 220/132	1	TR-2 220/132	1	1

La configuración y disposición general de la instalación queda reflejada en los planos: esquema unifilar simplificado, planta general y secciones generales del Documento nº3 Planos del presente Proyecto.

## 2.3 SISTEMA ELÉCTRICO

### 2.3.1 Magnitudes eléctricas

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) .....40 kA
- Tiempo de extinción de la falta.....0,5 seg
- Nivel de aislamiento:

- Tensión soportada a frecuencia industrial de corta duración... 460 kV
- Tensión soportada a impulso tipo rayo 1.050 kV
- Línea de fuga mínima para aisladores [6125] mm ([25] 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
- Punta-conductor..... 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.

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 Convencional exterior 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 mm<sup>2</sup>
- Intensidad admisible permanente a 85° 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 mm<sup>2</sup>
- Intensidad admisible permanente a 85° .....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 mm<sup>2</sup>
- Diámetro exterior .....29,61 mm
- Intensidad admisible permanente a 35° C de temperatura ambiente y 85° 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

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

Equipos con aislamiento en Aire

- Interruptores automáticos:
  - Tensión más elevada .....245 kV
  - Intensidad nominal.....3150 A
  - Intensidad límite térmica .....40 kA
  - Frecuencia nominal.....50 Hz
  - Tecnología cámara de corte.....SF6
- Transformadores de intensidad:
  - Tensión más elevada .....245 kV
  - Intensidad límite térmica .....40 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 continuo .....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 de barras:

Los seccionadores de barras del Parque de 220 kV serán de tipo pantógrafo, de mando motorizado, y con las siguientes características:

- Tensión más elevada .....245 kV
- Intensidad nominal.....2000 A

- Intensidad límite térmica .....40 kA
- Seccionadores de línea:
  - Tensión más elevada .....245 kV
  - Intensidad nominal.....2000 A
  - Intensidad límite térmica .....40 kA
  - Intensidad límite dinámica .....79 kA (valor cresta)
  - Frecuencia nominal.....50 Hz
- Seccionadores de aislamiento (seccionadores de posición):
  - Tensión más elevada .....245 kV
  - Intensidad nominal.....2000 A
  - Intensidad límite térmica .....40 kA
- Seccionadores de Puesta a Tierra: Tripolar, con cuchilla de puesta a tierra, de mando unipolar motorizado, y de las siguientes características:
  - Tensión más elevada .....245 kV
  - Intensidad límite térmica .....40 kA.
- Pararrayos:

Se dispondrán autoválvulas con las siguientes características:

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

Los aisladores soporte para apoyo de los embarrados principales del parque de 220 kV se seleccionan con línea de fuga (LLF) y tienen las siguientes características:

- Tipo.....C10-1050
- Carga de rotura a flexión .....10000 N
- Carga de rotura a torsión .....4000 Nm
- Longitud línea de fuga .....6125 mm

## 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.

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.

Se instalará en la caseta de relés una unidad local asociada a la posición que recogerá la información para el telecontrol y permitirá la funcionalidad de control (mando, alarmas y señalizaciones) para la operación local de mantenimiento.

### 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).

## 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 automático 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 e instalar una red de telecomunicaciones 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 y telecontrol

Para la comunicación que requiere las funciones de protecciones de línea, de telecontrol y los servicios propios de telecomunicaciones se ha previsto desplegar equipos de transmisión (basados en tecnología MPLS WDM o SDH) 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, sincronización horaria y telefonía, 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 las redes IP desplegadas en la subestación y permite el acceso a las funcionalidades de comunicación vocal normalizadas en RED ELÉCTRICA.

Ciberseguridad

Todos los sistemas de telecomunicaciones, control y protecciones deberán cumplir con las normas y criterios de ciberseguridad vigentes en RED ELÉCTRICA.

## 2.9 OBRA CIVIL Y EDIFICACIÓN

### 2.9.1 Movimiento de tierras

La actuación de la nueva posición se ejecutará sobre la plataforma existente y no se requiere movimiento de tierras de forma adicional.

### 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

No será necesaria la construcción de nuevas casetas de relés.

Se instalarán los bastidores en la CR-22 existente.

## 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.

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.

## 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 Aparata 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.

## 4 PLAZO DE EJECUCIÓN Y FECHA PREVISTA DE PUESTA EN SERVICIO

Se estima en 5 meses el tiempo necesario para la ejecución de las obras que se detallan en el presente Proyecto de Ejecución.

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



David González Jouanneau

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

## PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

### AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

#### ANEXO 1 CÁLCULOS

Dirección de Ingeniería y Medio Ambiente  
Dpto. Ingeniería de Subestaciones

Noviembre de 2022

## Índice

CAPÍTULO 1. OBJETO .....	4
CAPÍTULO 2. SUBESTACIÓN HIJAR <b>220kV</b> .....	5
2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS .....	5
<b>2.1.1</b> Hipótesis de diseño.....	5
<b>2.1.2</b> Condiciones de la instalación .....	6
<b>2.1.3</b> Normativa aplicable.....	7
<b>2.1.4</b> Características de los materiales / equipos a instalar.....	7
<b>2.1.5</b> Cálculo mecánico del embarrado PRINCIPAL. ....	9
2.5.5.1 Cálculo Corriente de cortocircuito.....	9
2.5.5.2 Tensión en el tubo.....	10
2.5.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte .....	14
2.5.5.4 Flecha en el tubo .....	16
2.5.5.5 Elongación del embarrado.....	16
2.5.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito .....	16
2.5.5.7 Intensidad nominal de las barras .....	17
<b>2.1.6</b> Cálculo mecánico del embarrado SECUNDARIO .....	18
2.5.6.1 Corriente de cortocircuito.....	18
2.5.6.2 Tensión en el tubo.....	18
2.5.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte .....	23
2.5.6.4 Flecha en el tubo .....	23
2.5.6.5 Elongación del embarrado.....	24
2.5.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito .....	24
2.5.6.7 Intensidad nominal de las barras .....	25
2.2 CÁLCULOS DE EFECTO CORONA. ....	26
<b>2.2.1</b> Cálculo de la tensión disruptiva.....	26
2.3 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS MÍNIMAS DE EMBARRADOS TENDIDOS.....	28
<b>2.3.1</b> Hipótesis de diseño.....	28
<b>2.3.2</b> Normativa aplicable.....	29

<b>2.3.3</b>	Desplazamiento del vano con viento.....	29
<b>2.3.4</b>	Efecto en conductores por corriente de cortocircuito .....	30
<b>2.3.5</b>	Aproximación de conductores.....	33
<b>2.3.6</b>	Distancia entre fases en cortocircuito .....	35
<b>2.3.7</b>	Distancias mínimas a adoptar .....	35
<b>2.3.8</b>	Efectos sobre conductores en haz .....	35
<b>2.4</b>	RED DE TIERRAS INFERIORES .....	36
<b>2.5</b>	RED DE TIERRAS SUPERIORES .....	43

## CAPÍTULO 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.

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

## CAPÍTULO 2. SUBESTACIÓN HIJAR 220[kV]

### 2.1 CÁLCULO MECÁNICO DE EMBARRADOS RÍGIDOS

#### 2.1.1 Hipótesis de diseño.

La corriente de cortocircuito trifásica prevista en el horizonte futuro es de 16,4 [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]	40
R/X (sistema) [ $\Omega/m$ ]	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
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:

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

Donde:

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

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

Por lo cual tendremos los siguientes resultados:

Coefficiente 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:

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

Donde:

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

$$\rho = \rho_{\text{aire}} \frac{288}{T'} e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$T'$ : 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,  $V_h = 140 \text{ Km/h}$

Con lo cual tendremos que:

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

### 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 CEI 865 de 1993, Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito.
- Norma UNE EN 60865-1, Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- Norma CEI 909-2001, Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica.
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

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

### 2.1.4 Características de los materiales / 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) [mm <sup>2</sup> ]	3569
Carga de rotura del material ( $a_R$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	195
Momento de inercia (J) [cm <sup>4</sup> ]	902
Momento resistente (W) [cm <sup>3</sup> ]	120
Módulo de elasticidad (Young) (E) [N/mm <sup>2</sup> ]	70000
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm <sup>2</sup> ]	160
Coefficiente de dilatación lineal ( $\alpha$ ) [1/°K]	0,000023
Intensidad máxima [A]	3250
Densidad de corriente en cortocircuito del tubo [A/mm <sup>2</sup> ]	116
Tubo en embarrado secundario	
Aleación	E-AlMgSi0,5, F22
Diámetro exterior (D) [mm]	100
Diámetro interior (d) [mm]	88
Espesor de la pared (e) [mm]	6
Peso propio unitario (Ppt) [kg/m]	4,78
Sección (A) [mm <sup>2</sup> ]	1772
Carga de rotura del material ( $a_R$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	195
Momento de inercia (J) [cm <sup>4</sup> ]	197
Momento resistente (W) [cm <sup>3</sup> ]	39
Módulo de elasticidad (Young) (E) [N/mm <sup>2</sup> ]	70000

Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2) [N/mm2]	160
Coefficiente 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.

### 2.5.5.1 Cálculo Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico ( $I_k''$ ) a efectos de diseño es de 40 [kA] en el parque de 220 [kV].

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

$$I_p = X \sqrt{2} I_k'' \text{ [kA]}$$

Donde:

$X$ : Factor de la intensidad pico definido por la siguiente expresión:

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

$R/x$ : 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

## 2.5.5.2 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  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  y  $P_{pt}$  es el peso propio unitario de conductor rígido.

Esfuerzo por peso del cable amortiguador  $F_{pa}$ :

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

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":

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

Donde:

$\mu_0$ : Permeabilidad magnética del vacío ( $4\pi \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ ).

$a$ : Distancia media entre fases.

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

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

$V_r$  = factor que tiene en cuenta el reenganche.

La frecuencia de vibración de un tubo 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.

$\gamma$ : Coeficiente del tubo y los apoyos, 1,57 en este caso.

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema ( $\frac{f_c}{50 Hz}$ ) establece los valores de  $V_\sigma$  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:

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

Donde:

$\beta$ : 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:

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

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

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

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

La tensión máxima tendrá un valor de:

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

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

$$\text{Coeficiente de Seguridad} = \frac{R_{p02}}{\sigma_{to}}$$

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]	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 (Vγ)	1,834
Tensión de trabajo en el tubo DINÁMICO (σm) [N/mm <sup>2</sup> ]	43,010
Tensión de trabajo de viento (σv) [N/mm <sup>2</sup> ]	24,606
Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales (σm) + (σv) [N/mm <sup>2</sup> ]	67,616
Tensión de trabajo de peso propio (σp) [N/mm <sup>2</sup> ]	21,926
Tensión de trabajo por hielo (σh) [N/mm <sup>2</sup> ]	0,000
Tensión de trabajo de tensión máxima (σto) [N/mm <sup>2</sup> ]	71,082
Coeficiente de seguridad	2,251

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  $[N/mm^2]$

$q$ : 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/mm <sup>2</sup> ]	71,08
Factor de resistencia del conductor (q)	1,414

Límite de fluencia mínimo del material (R <sub>po2</sub> ) * 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 ( $\sigma_m$ ) + ( $\sigma_v$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	67,616
Límite de fluencia mínimo del material (R <sub>po2</sub> ) [N/mm <sup>2</sup> ]	160,000

Cumple la condición 2.

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

### 2.5.5.3 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,

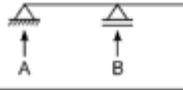
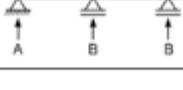
Viento sobre el tubo ( $F_v$ , Calculada anteriormente), Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

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

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

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

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

Tipo de viga y de soporte		Factor $\alpha$	Factor $\beta^*$	Factor $\gamma$
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  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  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 ( $F'_t$ ):

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

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:

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

Se tienen los siguientes resultados:

Esfuerzos por viento en soporte central (Fv) [N]	129,610
Esfuerzos por cortocircuito en soporte central (Fda) [N]	226,555
Factor $\alpha$	0,500
Esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos (Ft) [N]	4808,218
Esfuerzo total en la punta del aislador (F't) [N]	5163,608

Carga de rotura flexión aislador	1,937
----------------------------------	-------

## 2.5.5.4 Flecha en el tubo

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

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

Donde:

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

$l$ : Longitud del vano [m]

$E$ : Módulo de elasticidad del material [N/mm<sup>2</sup>]

$J$ : Momento de inercia de la sección [cm<sup>4</sup>]

$\alpha_f$ : 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]	12,17851225
-----------------------	-------------

## 2.5.5.5 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].

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

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

Tendiendo como resultado:

Elongación del Embarrado ( $\Delta L$ ) [mm]	98,786
--	--------

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

## 2.5.5.6 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:

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

$n$ : 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  $\rho_c = 116 \left[ \frac{A}{mm^2} \right]$  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]	40,004

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

## 2.5.5.7 Intensidad nominal de las barras

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

Según "DIN 43670", esta intensidad debe ser corregida con distintos factores en función de la composición del tubo, la altitud 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 °C.

$K_3 = 0,75$ , 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]	3072,888
Potencia [MVA]	1170,928

Por lo que tenemos una Capacidad superior a la necesaria.

## 2.1.6 Cálculo mecánico del embarrado SECUNDARIO

### 2.5.6.1 Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico ( $I_k''$ ) a efectos de diseño es de 40 [kA] en el parque de 220 [kV].

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

$$I_p = X \sqrt{2} I_k'' [kA]$$

Donde:

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

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

$R/X$ : 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

### 2.5.6.2 Tensión en el tubo

Esfuerzo por viento  $F_V$ :

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

Esfuerzo por peso propio  $F_{pp}$ :

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

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

Esfuerzo por peso del cable amortiguador  $F_{pa}$ :

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

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  $F_h$ :

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

Donde:

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

$d_{\text{exterior}}$ : 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:

$\mu_0$ : Permeabilidad magnética del vacío ( $4\pi \cdot 10^{-7} [N/A^2]$ ).

$a$ : Distancia media entre fases.

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

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

$V_r$  = factor que tiene en cuenta el reenganche.

La frecuencia de vibración de un tubo está definida como:

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

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.

$\gamma$ : Coeficiente del tubo y los apoyos, 1,57 en este caso.

Sustituyendo y operando:

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

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

En estas condiciones se presentan las siguientes expresiones:

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

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

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

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

Donde:

$\beta$ : Coeficiente dependiente del tipo y número de soportes, ver Figura 1.

$W$ : 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:

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

Donde:

$l$ : Longitud del vano.

$W$ : Módulo resistente de la sección.

$P$ : Carga repartida que produce el esfuerzo.

Por lo tanto se tendrá:

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

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

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

La tensión máxima tendrá un valor de:

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

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

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

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]	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 (Vγ)	1,592
Tensión de trabajo en el tubo DINÁMICO (σm) [N/mm <sup>2</sup> ]	51,209
Tensión de trabajo de viento (σv) [N/mm <sup>2</sup> ]	13,570

Tensión mecánica causada por fuerzas de conductores principales ( $\sigma_m$ ) + ( $\sigma_v$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	64,779
Tensión de trabajo de peso propio ( $\sigma_p$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	9,008
Tensión de trabajo por hielo ( $\sigma_h$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	0,000
Tensión de trabajo de tensión máxima ( $\sigma_{to}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	65,403
Coefficiente de seguridad	2,446

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 ( $\sigma_{to}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	65,403
Factor de resistencia del conductor ( $q$ )	1,431
Límite de fluencia mínimo del material ( $R_{po2}$ ) * 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 ( $\sigma_m$ ) + ( $\sigma_v$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	64,779
Límite de fluencia mínimo del material ( $R_{po2}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	160,000

Cumple la condición 2.

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

### 2.5.6.3 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:

$$F_{da} = F_s \cdot V_\sigma \cdot V_r \quad [N/m]$$

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

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

Donde  $\alpha$  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 ( $F'_t$ ):

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

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:

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

Se tienen los siguientes resultados:

Esfuerzos por viento en soporte central (Fv) [N]	86,407
Esfuerzos por cortocircuito en soporte central (Fda) [N]	326,066
Factor $\alpha$	0,500
Esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos (Ft) [N]	2887,306
Esfuerzo total en la punta del aislador (F't) [N]	3100,715
Carga de rotura flexión aislador	1,935

### 2.5.6.4 Flecha en el tubo

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

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

Donde:

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

$l$ : Longitud del vano [m]

$E$ : Módulo de elasticidad del material [N/mm<sup>2</sup>]

$J$ : Momento de inercia de la sección [cm<sup>4</sup>]

$\alpha_f$ : 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]	4,668055275
-----------------------	-------------

## 2.5.6.5 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].

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

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

Elongación del Embarrado ( $\Delta L$ ) [mm]	51,222
--	--------

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

## 2.5.6.6 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  $\rho_c = 116 \left[ \frac{A}{mm^2} \right]$  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]	40,004

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

### 2.5.6.7 Intensidad nominal de las barras

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

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

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

$K_1 = 0,96$  - Por la aleación elegida.

$K_2 = 1,34$ , Para temperatura final de 80 °C.

$K_3 = 0,75$ , 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:

I <sub>max</sub> [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:

$$U_c = \rho \cdot m_0 \cdot \frac{E_0}{\sqrt{2}} \cdot R \cdot \ln\left(\frac{GMD}{R}\right)$$

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 [cm].

$GMD$ : 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]:

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

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

$\delta$ : 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,  $\rho_0$  es la densidad del aire estándar con valor  $1,225 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ .

$E_0$ : 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 ( $E_1 = 30 \text{ [kV/cm]}$ )

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

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]	440,972
Campo Eléctrico crítico (Eo) [kV/cm]	31,169
Tensión crítica disruptiva (Uc) [kV]	628,178
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]	503,968
Campo Eléctrico crítico (Eo) [kV/cm]	31,884
Tensión crítica disruptiva (Uc) [kV]	485,079

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]	502,543
Tensión crítica disruptiva Embarrado B (Uc) [kV]	388,063

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  $140 \text{ Km/h}$ , 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
Flecha máxima (al 3%) [m]	1,20
Tipo de conductor	Dúplex RAIL
Cantidad de subconductores (n)	2
Diámetro del conductor ( $\emptyset$ )/(d) [mm]	29,61
Sección del conductor (As) [mm <sup>2</sup> ]	516,8
Peso propio del conductor (ms) [kg/m]	1,6
Módulo de elasticidad (E) [N/mm <sup>2</sup> ]	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 CEI 865 de 1993, Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito.
- Norma UNE EN 60865-1, Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.
- Norma CEI 909-2001, Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica.
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

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

## 2.3.3 Desplazamiento del vano con viento

La presión sobre el conductor debida al efecto del viento, según 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 [km/h].

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 ( $\theta$ ), estos están dados por:

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

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

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 ( $P_v$ ) [kg/m <sup>2</sup> ]	68,056
Fuerzas del viento sobre los conductores ( $F_v$ ) [kg/m]	2,015
Ángulo de oscilación de desplazamiento ( $\theta$ ) [Grados]	51,551
Coeficiente $K$	0,650
Coeficiente $D_{pp}$	2,000
Desplazamiento del conductor ( $d_{max}$ ) [m]	0,940
Distancia mínima entre conductores ( $D_{min}$ ) [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.

$\mu_0$ : Permeabilidad magnética del vacío  $(4 \pi * 10^{-7} [N/A^2])$ .

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  $(9,81 [m/s^2])$

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 50°C.

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

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

El periodo 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 ( $\sigma_{fin}$ ):

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

Donde:

$\sigma_{fin}$ : tiene un valor de  $5 \cdot 10^7 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$  (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:

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

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:

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

Con

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

Por lo tanto se tendrán los siguientes datos:

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 ( $\beta_1$ ) [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
$\sigma$ fin [N/m <sup>2</sup> ]	5,00E+07
Módulo de Young real (Eeff) [10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> ]	2,68
Norma de rigidez (N) [1/N]	3,32E-07
Factor de tensión mecánica del conductor principal ( $\xi$ )	0,858
Ángulo en relación a su posición régimen permanente ( $\varphi_{end}$ ) [grados]	90,592
Coeficiente (X)	-0,572
Ángulo de oscilación calculado ( $\varphi_{max}$ ) [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.

$\varphi$ : 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:

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

$\psi$ : Es un parámetro que combina los dos factores de carga  $\zeta$  y  $\varphi$ , 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:

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

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:

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

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:

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

Y la deformación térmica:

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

Y así, tendremos los siguientes resultados:

Parámetro de carga ( $\Phi$ )	2,588
Fuerza de tracción (Ft,d) [N]	15089,501
Valor de $\Psi$	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:

$$D = a - 2b_h$$

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 MIE-RAT 12 e IEC-71 se proponen las siguientes distancias mínimas que deberán ser respetadas en la presente subestación:

DISTANCIAS FASE TIERRA .....	2,10 [m]
DISTANCIAS FASE-FASE .....	2,10 [m]

### 2.3.8 Efectos sobre conductores en haz

Se especifica 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:

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

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

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.

- Ya que 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 formulas 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 ( $F_{pi,d}$ ) [N]	30017,504
Condición de entrechoque efectivo	NO APLICA
Factor $V_1$ del conductor	2,722
Factor $V_2$ del conductor	2,625
Factor $V_3$ del conductor	0,232
Factor $V_4$ del conductor	12,509
Fuerza de la corriente de cortocircuito ( $F_v$ ) [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 $V_e$ 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]	13,60
Resistividad de la capa superficial (grava) ( $\rho$ ) [ $\Omega m$ ]	3.000
Coefficiente reductor (Cs)	0,676688453
Resistividad superficial aparente ( $\rho_{as}$ ) [ $\Omega m$ ]	2.030
Tensión aplicada admisible ( $U_{ca}$ ) [V]	204
Tensión aplicada admisible ( $U_{pa}$ ) [V]	2.040
Espesor de capa de gravilla ( $h_s$ ) [m]	0,1
Resistencia equivalente al calzado ( $R_{a1}$ ) [ $\Omega$ ]	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 MIE-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:  $U_c = U_{ca} \left[ 1 + \frac{R_{a1} + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right] [V]$

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

Donde:

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

$\rho_s$ : 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:

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

Donde:

$\rho$ : 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 ( $\rho$ ) [ $\Omega m$ ]	200
Longitud total del conductor enterrado (L) [m]	40.000
Profundidad de enterramiento del conductor (h) [m]	0,6
Superficie ocupada por la malla (A) [m2]	63.000

Resistencia de la red de tierras [ $\Omega$ ]	0,36
---	------

- 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:

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

$X$ : 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 líneas [ $kA$ ]

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

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

Con lo cual tabulando tendremos:

Resistencia de la red de tierras [ $\Omega$ ]	0,36
Impedancia equivalente de todos los hilos de guarda [ $\Omega$ ]	1,02
Variable X [ $kA$ ]	11,51
Intensidad disipada por la malla ( $I_g$ ) [ $kA$ ]	8,52

- Evaluación de tensiones de paso y contacto

Los datos iniciales utilizados para el cálculo son:

Resistividad del terreno ( $\rho$ ) [ $\Omega$ m]	200
Espaciado medio entre conductores (D) [m]	10
Profundidad del conductor enterrado (h) [m]	0,6
Diámetro del conductor (d) [m]	0,0142
Longitud del conductor enterrado (L) [m]	40000
Intensidad disipada por la malla (I <sub>g</sub> ) [kA]	8,52

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

Teniendo como resultado:

Parámetro Kh	1,264911064
Parámetro Ki	20,68760821
Parámetro Kii	0,920605828
Parámetro n	135,4297852
Parámetro na	79,20792079
Parámetro nb	1,002987577
Parámetro nc	0,945665837
Parámetro nd	1,802653775
Longitud del conductor de la malla (Lc) [m]	40000
Longitud del perímetro de la malla (Lp) [m]	1010
Longitud máxima de la malla en la dirección x (Lx) [m]	300
Longitud máxima de la malla en la dirección y (Ly) [m]	195
Distancia máxima entre dos puntos lejanos de la malla (Dm) [m]	645
Parámetro Km	0,530249213
Parámetro Ks	0,327117697
Tensión de paso de verificación (E_paso) [V]	384
Tensión de contacto de verificación (E_contacto) [V]	467

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<sup>2</sup> para el cobre.
- 72 A/mm<sup>2</sup> 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:

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

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 [ $J/cm^3 \cdot ^\circ C$ ] (Ver tabla 1 de "IEEE-80-2013")

$\alpha_r$ : Coeficiente térmico de resistividad a 20 [°C] [ $1/^\circ C$ ] (Ver tabla 1 de "IEEE-80-2013")

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

$K_0$ : 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.

A la vista de los resultados obtenidos los valores de las tensiones de paso y contacto están por debajo de los permitidos por el "MIE-RAT 13" y del "IEEE-80-2013", 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 2006" 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,  $U = 1.050$  [kV]

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

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

Sustituyendo y aplicando estos valores se obtiene:

Valor de la cresta de la corriente (kA)	5,775
Radio crítico de cebado (r)	31,261

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 4, 5 y 6 con vistas de secciones de la subestación en las cuales se puede apreciar el radio crítico aplicado.

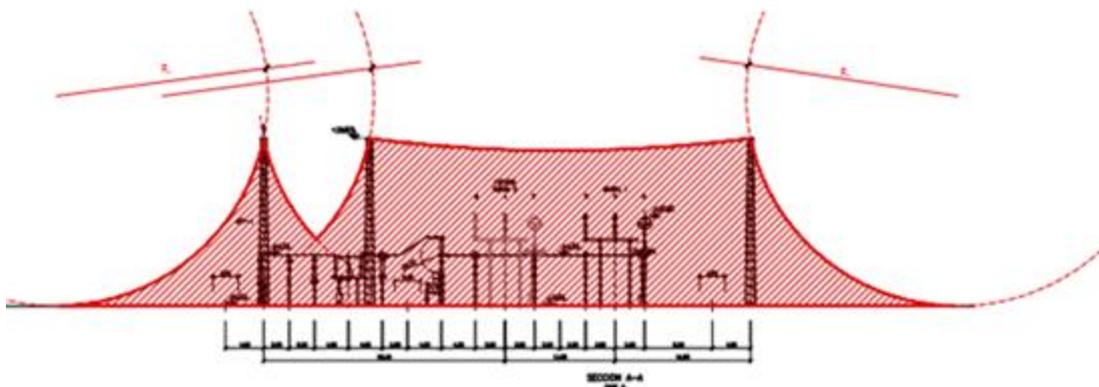


Figura 4. Vista sección A-A de la subestación.

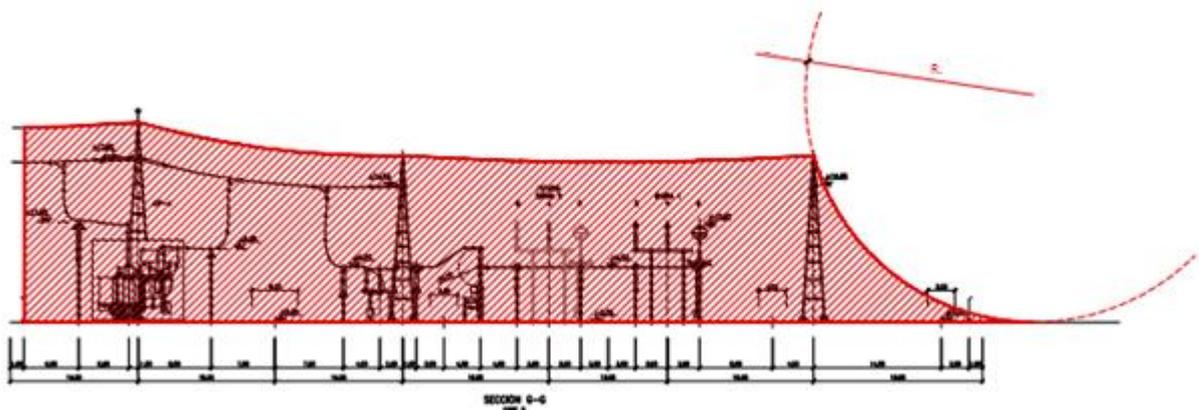


Figura 5. Vista sección G-G de la subestación.

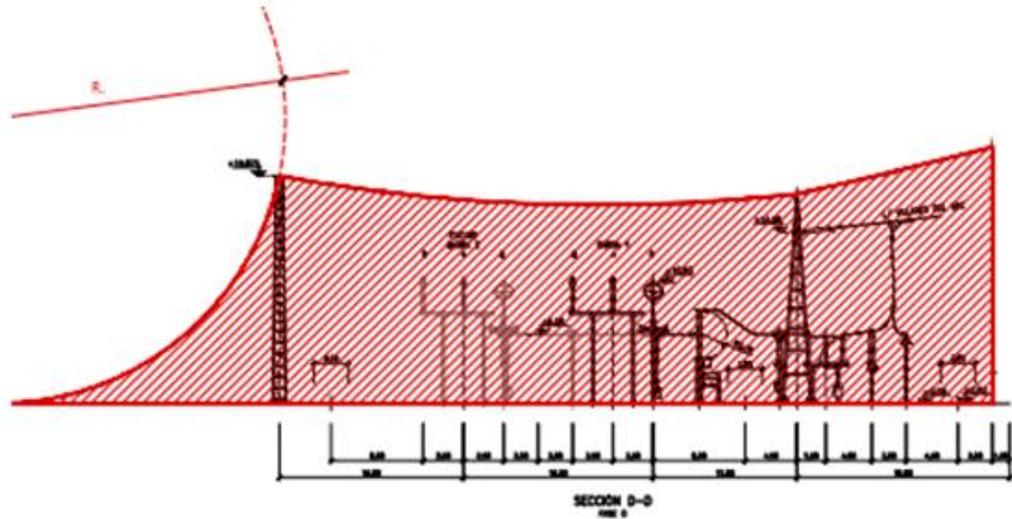


Figura 6. Vista sección D-O de la subestación.

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.

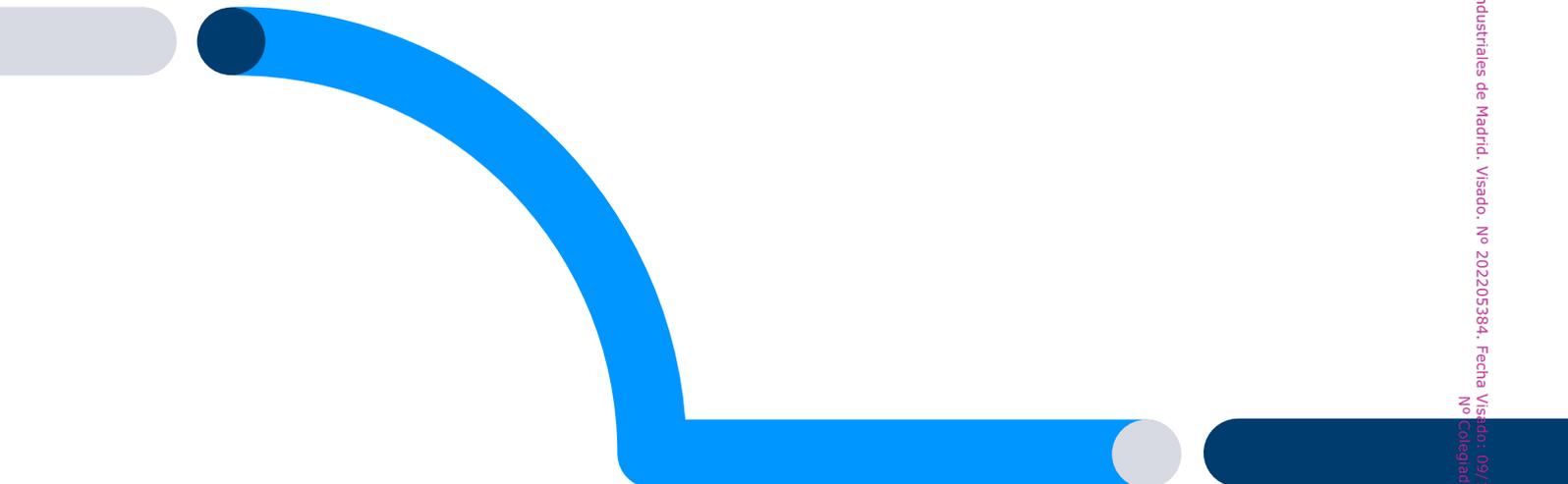
Madrid, Noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.



**PROYECTO TÉCNICO  
ADMINISTRATIVO**

**AMPLIACIÓN DE LA  
SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV**

DOCUMENTO 2

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

## Índice

---

1	OBJETO .....	3
2	NORMATIVA APLICABLE .....	4
2.1	EQUIPAMIENTO Y MONTAJE .....	4
2.2	OBRA CIVIL .....	4
2.2.1	Estructuras .....	4
2.2.2	Varios .....	5
3	GESTIÓN DE CALIDAD .....	6
4	GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL.....	7
5	SEGURIDAD EN EL TRABAJO.....	8
6	VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN .....	9

## 1 OBJETO

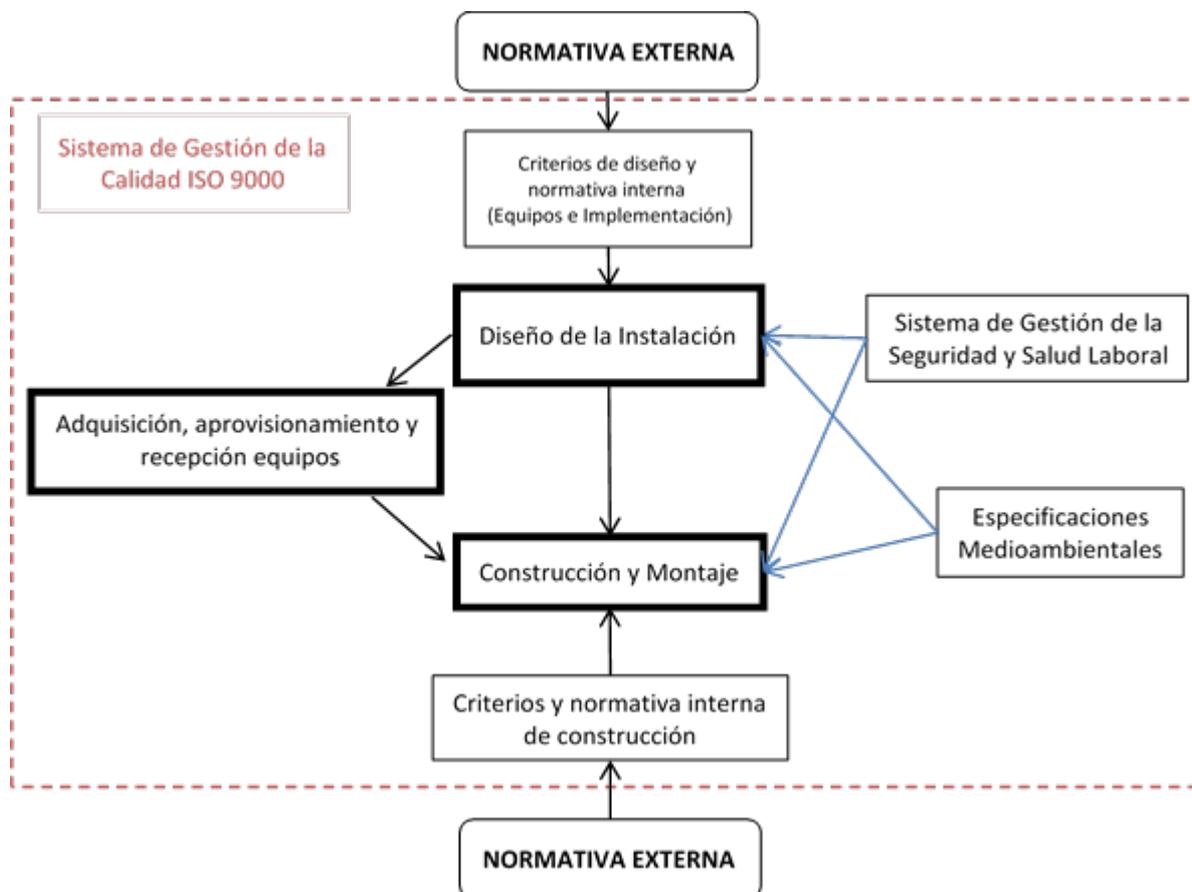
El objeto del presente Pliego de Condiciones es aportar la información necesaria para definir los materiales y equipos y su correcto montaje para lo que se han considerado los siguientes aspectos.

**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.



## 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 a 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.

### 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 a 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.
- 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.

## 3 GESTIÓN DE CALIDAD

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

## 4 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.

## 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.

## 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

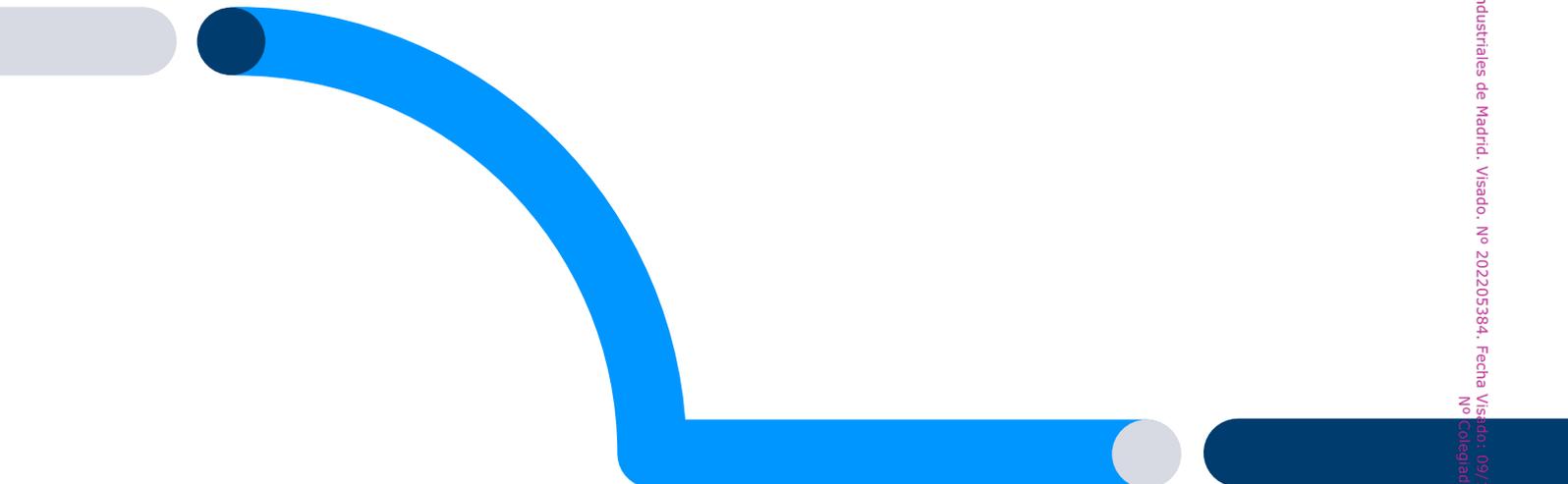
El Ingeniero industrial



**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.



# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

DOCUMENTO 2  
ANEXO 1

REQUISITOS AMBIENTALES  
ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y  
DEMOLICIÓN

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

## Índice

1	ÁMBITO DE APLICACIÓN .....	3
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 ELECTROMECAÁNICO .....	5
2.3.1	Llenado de equipos con aceite .....	5
2.3.2	Llenado de equipos con SF <sub>6</sub> .....	5
2.4	ACONDICIONAMIENTO FINAL DE LA OBRA.....	5
3	ESTUDIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE DEMOLICIÓN .....	5
3.1	ANTECEDENTES.....	5
3.1.1	Objeto.....	5
3.1.2	Situación y descripción general del proyecto .....	5
3.1.3	Descripción general de los trabajos .....	5
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.....	12
3.6	VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE GESTIÓN.....	14

## 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 HIJAR 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.

## 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, y estará a cubierto de la lluvia.

#### 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 medios de extinción adecuados, contemplando el cumplimiento de la Normativa interna de REE, respecto a la prevención de incendios forestales (ET239) en caso de que ésta sea de aplicación.

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, gestionándose los residuos preferentemente a través de Gestor autorizado y devolviéndola a su estado y forma inicial.

## 2.3 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA EL MONTAJE ELECTROMECAÁNICO

### 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<sub>6</sub>

El llenado de equipos con SF<sub>6</sub> se llevará a cabo por personal especializado, evitándose así fugas de gas a la atmósfera. Las botellas de SF<sub>6</sub> (vacías y con SF<sub>6</sub> 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.

Se procederá a la rehabilitación de todos los daños ocasionados sobre las propiedades derivadas 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.

## 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:

- Actuaciones y tareas previas de preparación de los terrenos: desbroces etc.
- Realización de acopios, campamento de obra e instalación de medios auxiliares.
- Movimiento de tierras: retirada de tierra vegetal, excavaciones (desmontes y terraplenes), accesos, 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
<b>RESIDUOS NO PELIGROSOS</b>	
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

Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (si se segregan)

150102/150104/150105/150106

Residuos vegetales (podas y talas)

200201

**Tipo residuo**

**Código LER**

## 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 (Ejemplo: Mezclas bituminosas -asfaltos/aglomerados-, materiales de construcción que contienen amianto (Uralitas), etc..). 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 220kV		TOTAL
			O.C.	MONTAJE	
Excedentes de excavación(*)	170101	m <sup>3</sup>	365,40	0,00	365
Restos de hormigón	170101	m <sup>3</sup>	1,62	0,00	2
Papel y cartón	200101	kg	4,06	40,00	44
Maderas	170201	kg	162,40	500,00	662
Plásticos (envases y embalajes)	170203	kg	5,68	40,00	46
Chatarras metálicas	170405	kg	28,42	600,00	628
	170407				
	170401				
	170402				
Restos asimilables a urbanos	200301	kg	6,50	45,00	51
Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (si se segregan)	150102	kg	1,62	45,00	47
	150104				
	150105				
	150106				
Trapos impregnados	150202*	kg	1,22	2,00	3
Tierras contaminadas	170503*	m <sup>3</sup>	0,97	0,10	1
Envases que han contenido sustancias peligrosas	150110*	kg			
	150111*				

Residuos vegetales (podas y talas) 200201 kg

(\*) La cantidad estimada se corresponde con los excedentes de excavación que no está previsto reutilizar en la propia obra.

### 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:

- Tierras de excavación:
  - Separar y almacenar adecuadamente la tierra vegetal para utilizarla posteriormente en la-bores de restauración. La tierra vegetal se acumulará en zonas no afectadas por los movi-mientos de tierra hasta que se proceda a su disposición definitiva y la altura máxima de los acopios será de dos metros para que no pierda sus características.
  - Minimizar, desde la fase de elección del emplazamiento y diseño del proyecto, de los mo-vimientos de tierras a llevar a cabo.
  - Utilizar de las tierras sobrantes de excavación en la propia obra: rampas de acceso, relle-nos, restauraciones etc. (De este modo se reduce el transporte para reutilización en otras zonas o para traslado a vertedero)
  - En los casos en que sea preciso el aporte de materiales de excavación, ajenos a la zona de la sube-tación, controlar que los volúmenes aportados sean exclusivamente los precisos para los rellenos.
- 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<sub>6</sub> 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.
- Buenas prácticas en los trasiegos.
- Residuos vegetales
  - Respetar todos los ejemplares arbóreos que no sean incompatibles con el desarrollo del proyecto
  - Facilitar la entrega de los restos de podas/talas a sus propietarios

### 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 personal implicado deberá estar adecuadamente formado (charlas de buenas prácticas ambientales) 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).

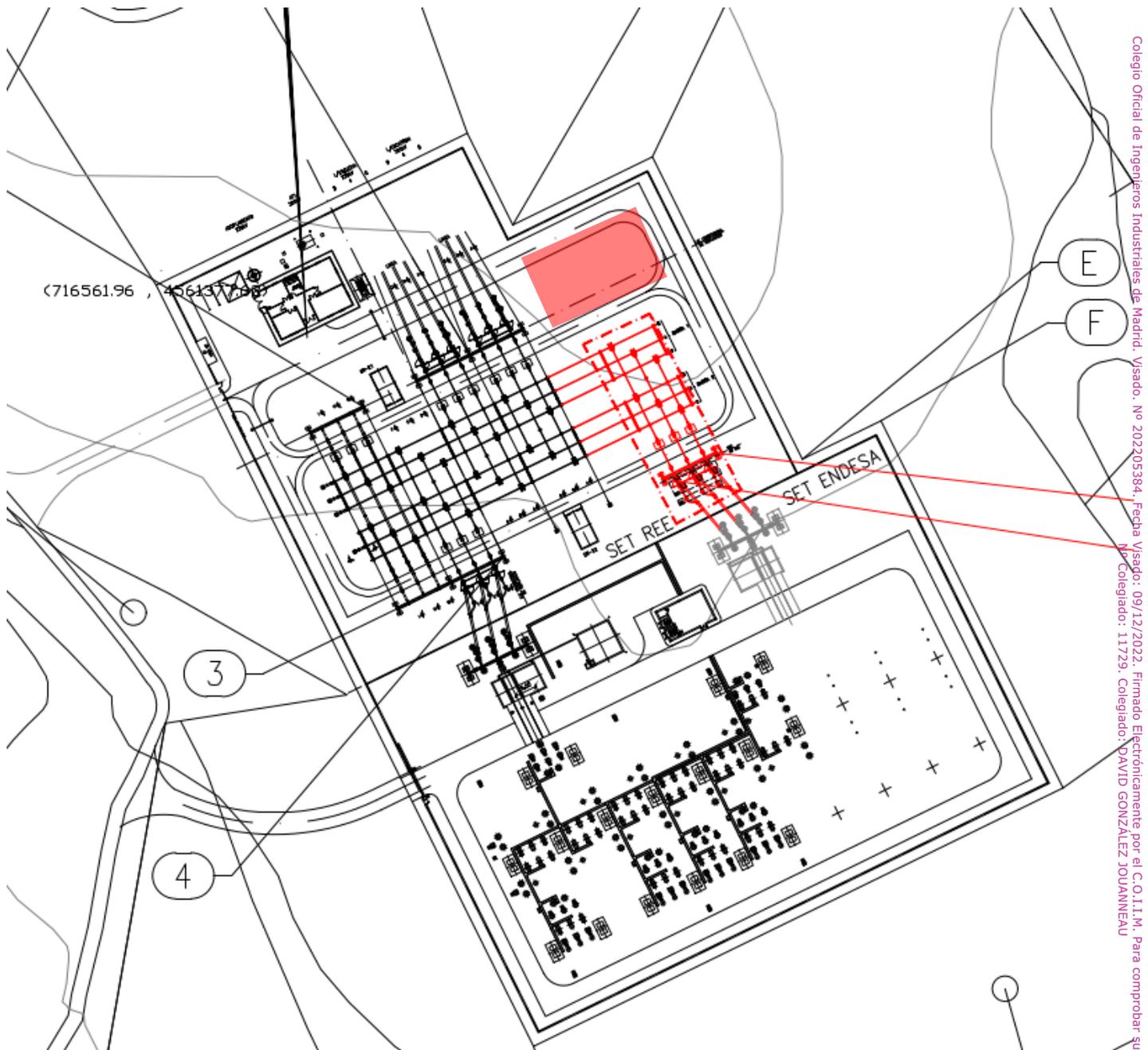
- Almacenamiento:

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:

- 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.
- 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 (incluido el NIMA) y fecha de inicio del depósito del residuo.
- 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, gestionando los residuos preferentemente a través de Gestor autorizado y devolviéndola a su estado y forma inicial.
- Se evitará el almacenamiento de excedentes de excavación en cauces y sus zonas de policía.

En el croquis siguiente se muestran las zonas destinadas al almacenamiento de residuos que deberá diferenciar claramente el espacio de Residuos Peligrosos del de Residuos No Peligrosos. Estas zonas podrán ser redefinidas por el contratista que reflejará los cambios en el correspondiente Plan de Gestión 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 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: [https://www.colim.es/Verificacion\\_CofV](https://www.colim.es/Verificacion_CofV). No Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU. CofV: 65020392.

## 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 autorizado 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 recogidos por gestor autorizado y como última opción entregados en vertedero. 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.
  - **Restos vegetales:** La eliminación de los residuos vegetales deberá hacerse de forma simultánea a las labores de talas y desbroce. Los residuos obtenidos se apilarán y retirarán de la zona con la mayor

brevidad, evitando así que se conviertan en un foco de infección por hongos, o que suponga un incremento del riesgo de incendios. Los residuos forestales generados se gestionarán según indique la autoridad ambiental competente. Con carácter general, y si no hubiera indicaciones, preferiblemente se entregarán a sus propietarios. Si no es posible se gestionará su entrega a una planta de compostaje y en último caso se trasladarán a vertedero autorizado.

- **Excedentes de excavación, escombros, y excedentes de hormigón:** se tratará de reutilizarlos en la obra, si no es posible y existe permiso de los Ayuntamientos afectados y de la autoridad ambiental competente, (y siempre con la aprobación de los responsables de Medio Ambiente y de Permisos de RED ELÉCTRICA), podrán gestionarse mediante su reutilización en firmes de caminos, rellenos etc. Si no son posibles las opciones anteriores se gestionarán preferentemente a través de Gestor autorizado y como última opción en vertedero autorizado.
  - **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.

En caso de que los hubiere, la gestión de residuos peligrosos resultantes del desmontaje de equipos se llevará a cabo directamente por RED ELÉCTRICA, siendo éstos gestionados por gestores autorizados para tal fin.

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.
- Autorizaciones de los transportistas y gestores de residuos.
- Autorizaciones de vertederos y depósitos.
- Contratos de tratamiento de los residuos que se prevé generar.

Al final de los trabajos, el contratista proporcionará la documentación acreditativa de las gestiones de residuos realizadas:

- Documentos de identificación.
- Notificaciones de traslado (si aplica).
- Permisos de vertido/reutilización de excedentes de excavación.

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 8 semanas a contabilizar desde la fecha de gestión del residuo.

## 3.6 VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE GESTIÓN

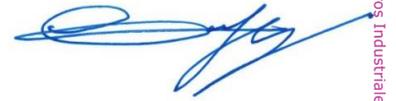
En la tabla siguiente se incluye una estimación de los costes de la gestión de los residuos. Se resalta que el coste es muy aproximado pues los precios están sometidos a bastante variación en función de los transportistas y gestores utilizados y las cantidades estimadas en este estado del proyecto también se irán ajustando con el desarrollo del mismo.

TIPO DE RESIDUO	CÓDIGO	UNIDAD	COSTE (€)
Excedentes de excavación	170504	m <sup>3</sup>	987
Restos de hormigón	170101	m <sup>3</sup>	12
Papel y cartón	150101 - 200101	kg	1
Maderas	170201	kg	17
Plásticos (envases y embalajes)	170203	kg	3
Chatarras metálicas	170405/170407/170401/170402	kg	4
Restos asimilables a urbanos	200301	kg	0
Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (si segregan)	150102/150104/150105/150106	kg	0
Trapos impregnados	150202*	kg	4
Tierras contaminadas	170503*	m <sup>3</sup>	123
Envases que han contenido sustancias peligrosas	150110*/150111*	kg	12
Residuos vegetales (podas y talas)	200201	kg	0
<b>Totales</b>			<b>1.161</b>

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.

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial

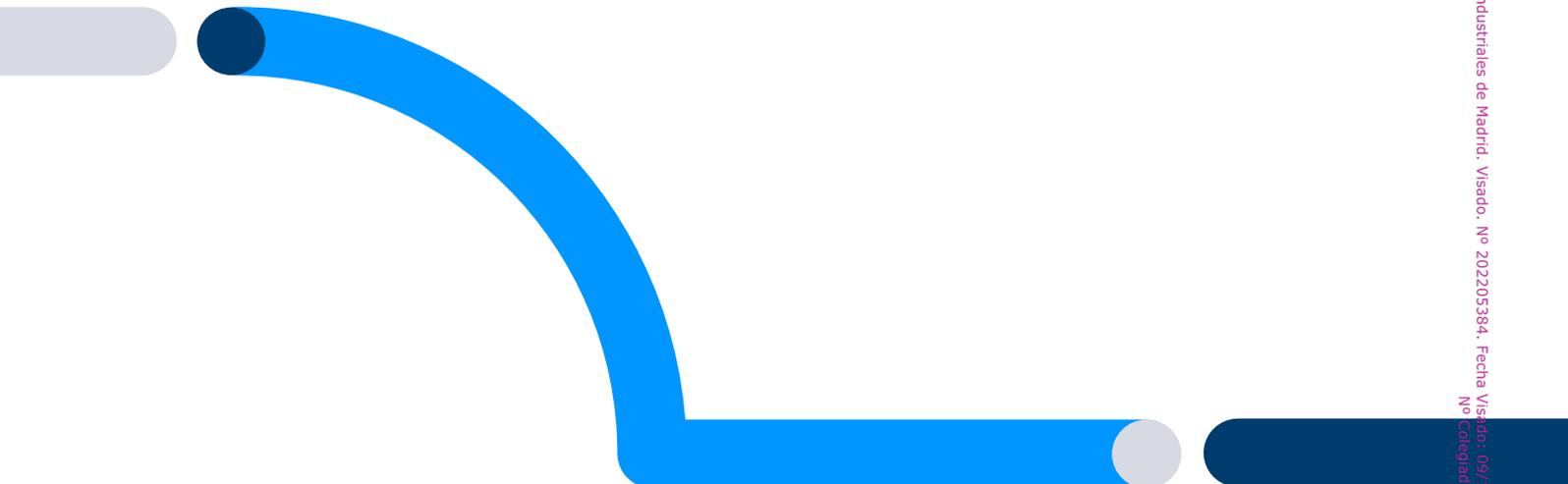


**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: No 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: <https://www.colim.es/Verificacion>. Cod.Ver: 65020392. No Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU



# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

DOCUMENTO 2  
ANEXO 2

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

## Índice

1	OBJETO DE ESTE ESTUDIO .....	3
2	CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA.....	4
2.1	SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA OBRA .....	4
2.2	PRESUPUESTO, PLAZO DE EJECUCIÓN Y MANO DE OBRA .....	5
2.3	CONTROL DE ACCESOS .....	5
2.4	TRABAJOS PREVIOS, INTERFERENCIAS Y SERVICIOS AFECTADOS .....	6
2.5	UNIDADES CONSTRUCTIVAS QUE COMPONEN LA OBRA .....	6
2.5.1	Movimiento de tierras .....	6
2.5.2	Obra civil .....	6
2.5.3	Montaje de estructuras y equipos .....	6
2.6	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS .....	6
2.6.1	Organización de la seguridad .....	6
2.6.2	Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra .....	6
2.6.3	Formación .....	6
2.6.4	Medicina preventiva.....	6
2.6.5	Medios de protección.....	6
2.7	LOCALES DE DESCANSO Y SERVICIOS HIGIÉNICOS .....	10
2.8	DISPOSICIONES DE EMERGENCIA.....	10
2.8.1	Vías de evacuación .....	10
2.8.2	Iluminación .....	10
2.8.3	Ventilación.....	10
2.8.4	Ambientes nocivos y factores atmosféricos .....	11
2.8.5	Detección y lucha contra incendios.....	11
2.8.6	Primeros auxilios .....	11
2.9	PLAN DE SEGURIDAD .....	11
3	PLIEGO DE CONDICIONES .....	12
3.1	NORMATIVA LEGAL DE APLICACIÓN.....	12
3.2	NORMATIVA INTERNA DE RED ELÉCTRICA.....	12
4	PRESUPUESTO DE SEGURIDAD.....	13

## 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 HIJAR 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.

## 2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

### 2.1 SITUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La subestación de HIJAR 220 kV está situada en el término municipal de Híjar, provincia de Teruel, Aragón. 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..... 295 m
- Temperaturas extremas..... + 40° C/-20° 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 la nueva posición del parque de 220 kV se realizará quedando este parque con la siguiente distribución:

Calle	Existente		Con la ampliación		
	Posición	Nº de interruptores	Posición	Nº de interruptores	Nº de interruptores nuevos
1	ACP	1	ACP	1	0
2	TR-1 220/132	1	TR-1 220/132	1	0
3	ESCUCHA	1	ATP1 220/132	1	0
4	ESCATRON	1	ATP2 220/132	1	0
5	RESERVA	0	RESERVA	0	0
6	<b>TR-2 220/132</b>	1	<b>TR-2 220/132</b>	1	1

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 y embarrado altos.
- 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.

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	134	60	2,0
Montaje de la estructura	2,5	30	0,5
Montaje de la aparamenta	49	50	2,0
Montaje en b.t.	2,5	30	0,5
Presupuesto adjudicado	<b>188</b>	Kilo €uros	
Volumen mano de obra estimada	<b>170</b>	Jornadas - hombre	
Punta de trabajadores	<b>8</b>	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

Al realizarse la ampliación en la calle externa al resto del parque no se prevé interferencias con las tareas de explotación del parque, salvo las referentes a las ampliaciones de los embarrados principales y a las pruebas de la protección diferencial de barras, para las cuales se solicitarán cuantos descargos sean pertinentes.

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

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

## 2.5 UNIDADES CONSTRUCTIVAS QUE COMPONEN LA OBRA

### 2.5.1 Movimiento de tierras

No se requieren trabajos de movimiento de tierras para las obras objeto de este proyecto.

### 2.5.2 Obra civil

Consiste en la realización de cimentaciones, canales de cables y drenajes.

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

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

- Cimentaciones de soportes

Las cimentaciones para las estructuras soportantes de la nueva apartamenta se realizarán en hormigón.

- 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 apartamenta 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.
- 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.

## Situaciones pormenorizadas de riesgo

Contactos eléctricos	Contactos directos, indirectos o descargas eléctricas
Arcos eléctricos	Calor, proyecciones o radiaciones no ionizantes.
Sobreesfuerzos	Esfuerzos al empujar, tirar de objetos. Esfuerzos al levantar, sostener o manipular cargas.
Explosiones	Máquinas, equipos y botellas de gases.
Incendios	Acumulación de material combustible. Almacenamiento y trasvase de productos inflamables. Focos de ignición, proyecciones de chispas o partículas calientes.
Confinamiento	Golpes, choques, cortes o atrapamientos por espacio reducido. Dificultades para rescate.
Tráfico	Choques entre vehículos o contra objetos fijos Atropello de peatones o en situaciones de trabajo Vuelco de vehículos por accidente de tráfico.
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.
- 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.

## 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 oxígeno son suficientes o si los niveles de contaminantes tóxicos o inflamables están por encima de los niveles máximos permitidos.

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

Dado que será necesario utilizar herramientas o máquinas que producen gases o vapores que reducen de forma peligrosa la concentración de oxígeno (<18%), y no 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 planificarán para que no coincidan con los periodos de temperatura extremos.

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

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

## 2.8.5 Detección y lucha contra incendios

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

La obra dispondrá de extintores 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.

## 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 mantenimiento manual y mecánica.
- IC-003. Subcontratación por proveedores de RED ELÉCTRICA a terceros.

4 PRESUPUESTO DE SEGURIDAD

**SE HIJAR. Ampliación ApD 220/132**

Duración del trabajo: (meses) 5  
Operarios previstos: 8

**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	7	5,11	36
2	Botas de seguridad	4	13	46,58	606
3	Botas de agua.	2	7	38,43	269
4	Guantes de trabajo.	36	120	4,38	526
5	Arnés de cintura o completo	0,5	2	146,12	292
6	Dispositivos anticaida y compl.	0,5	2	90,29	181
7	Trajes impermeables.	2	7	28,33	198
8	Gafas antiimpactos.	6	20	4,78	96
9	Pantalla de protección facial	2	7	9,44	66
10	Pantallas y gafas para soldadura	1	3	7,81	23
11	Mandiles, polaina, guantes soldadura	1	3	26,38	79
12	Ropa de trabajo	2	7	69,20	484
				<b>Coste Parcial</b>	<b>2.856</b>

**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	2	107,94	216
2	Complementos uso Lín. Seg.	10	4	120,05	480
3	Malla perforada de delimitación	1.000	417	0,49	204
4	Cinta o cadena de delimitación	1000	417	0,04	17
5	Señales de obligación e informativas	60	25	3,01	75
6	Botiquín primeros auxilios	2	1	18,06	18
7	Tablero o camilla evac. accidentados	1	0	253,80	0
8	Extintores	4	2	30,80	62
				<b>Coste Parcial</b>	<b>1.072</b>

**Formación + Medicina preventiva**

Nº de orden	Concepto	Unidades	Precio Udad (€uros)	Coste total (€uros)
1	Charla informativa seg. y prim.auxilios	8	34,00	272
2	Reconocimientos médicos	8	30,50	244
			<b>Coste Parcial</b>	<b>516</b>

**Total 4.444**

Asciende este Presupuesto de Seguridad a la cantidad de: Cuatro mil cuatrocientos cuarenta y cuatro Euros.

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



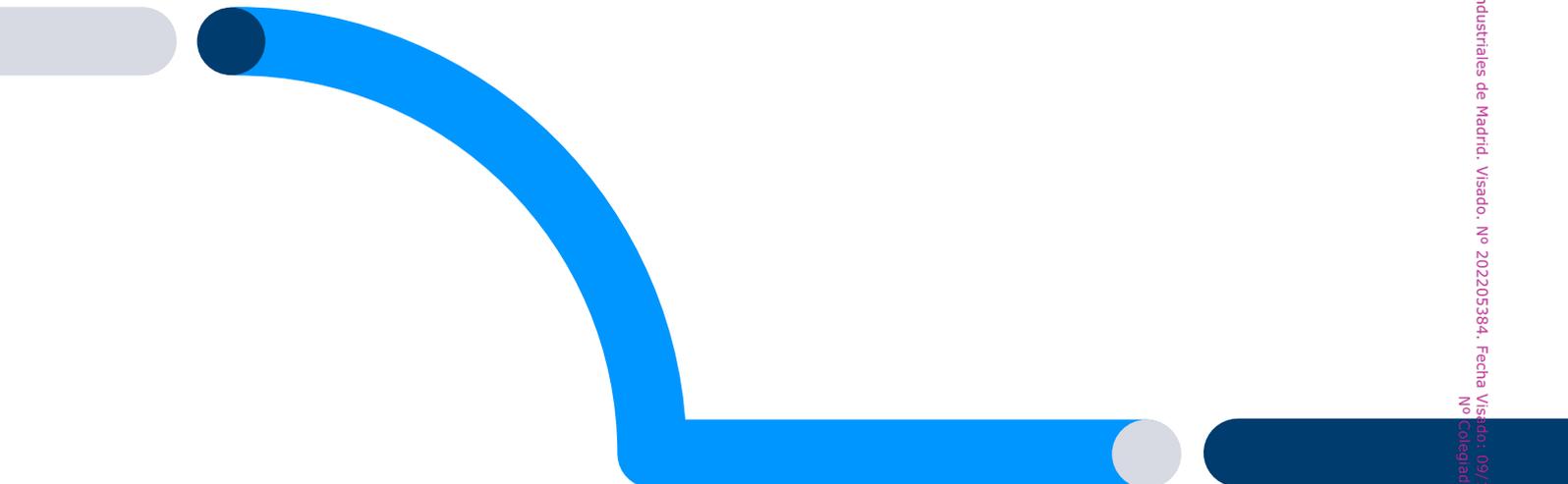
**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. Nº 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.colim.es/Verificacion. Cod.Ver: 65020392. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZÁLEZ JOUANNEAU

**red eléctrica**  
Una empresa de Redeia



# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

DOCUMENTO 3

PLANOS

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

## ÍNDICE DE PLANOS

1. Situación y emplazamiento
2. Esquema unifilar simplificado. Parque de 220
3. Implantación general
4. Planta general
5. Secciones generales. Parque de 220
6. Planta fundaciones y canales
7. Planta general de red de tierras
8. Caseta de relés prefabricada

Madrid, noviembre de 2022

El Ingeniero industrial



**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.

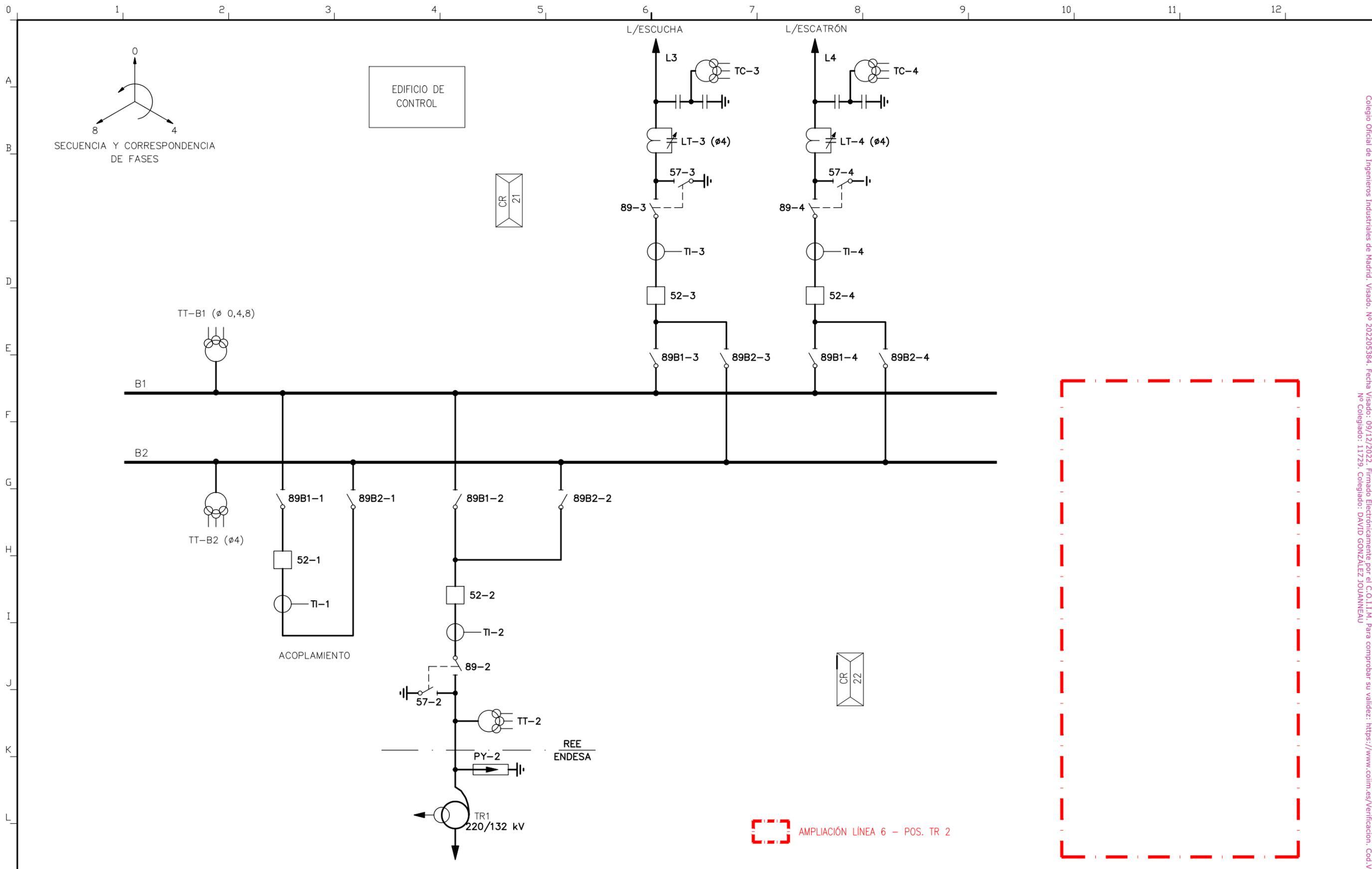
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual del presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supondrá en forma alguna, licencia para su reproducción total o parcial, modificación o distribución que, en todo caso, estarán prohibidos salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., no asumiendo ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.



POSICIÓN SET HIJAR

POSICIÓN SET HIJAR

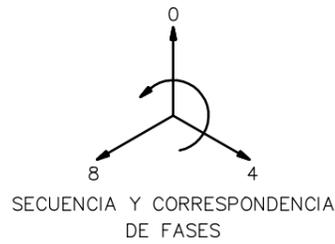
A	NOV-21	A.G.M.	R.E.E.	AMPLIACIÓN LÍNEA 6 – POS. TR 2	
O	ENE-11	R.H.A.	R.E.E.	ESTADO INICIAL	
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN	
 <b>RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA</b> Grupo Red Eléctrica			INSTALACIÓN	220 kV HIJAR	VÁLIDO PARA PTA 0
			TÍTULO	SITUACION GENERAL	COORD. ETRS89
					HUSO 30
					CODIGO
					A3
					S/E
					Nº P-HJRB10002
					HOJA 001



REV.	FECHA	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.	REV.	FECHA	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.	ESCALA	FECHA	NOMBRE	RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA	INSTALACION	idom	INGENIERIA IDOM INTERNACIONAL S.L. C/ JOSE ABASCALA 28003-MADRID Telf. 914441150
										PROYECTADO	12-09	J.M.R.		SUBESTACIÓN DE HIJAR PARQUE DE 220 kV		N° P-HJRA2001 Rev.
										DIBUJADO	12-09	C.I.A.				
										COMPROBADO	12-09	J.M.R.				
										APROBADO POR R.E.E.	12-09	N.B.A.				
										S/E			TITULO	ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DE 220 kV (SITUACIÓN ACTUAL)	FORMATO:	A3
															N°	P-HJRA2001
															HOJA	SIGUE

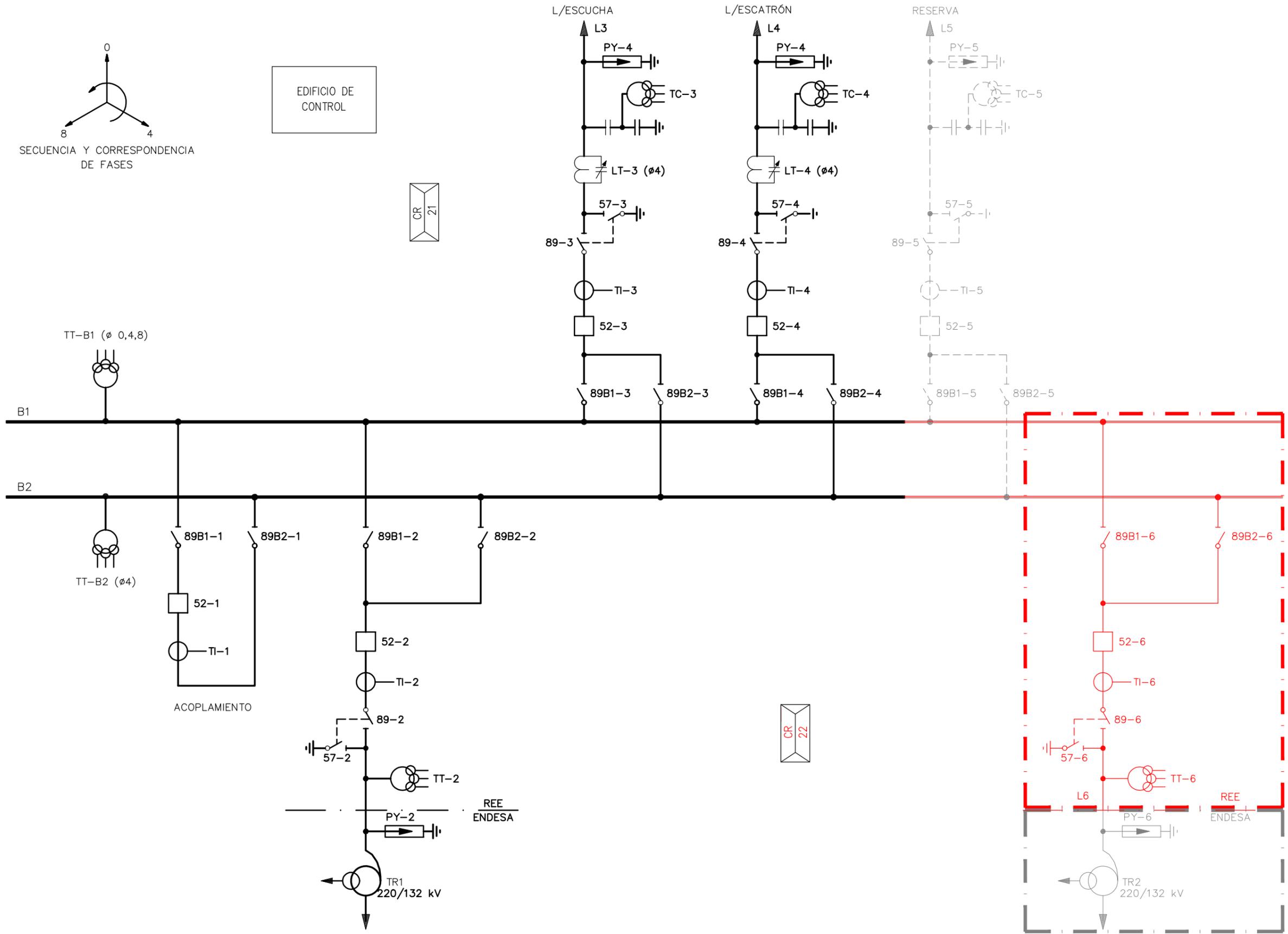
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: <https://www.colim.es/Verificacion>. Cod:V. 592020392. Nº Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

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, estará prohibida salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., no asumiendo ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.



EDIFICIO DE CONTROL

CR 21



CR 22

  AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2  
  AMPLIACIÓN ENDESA

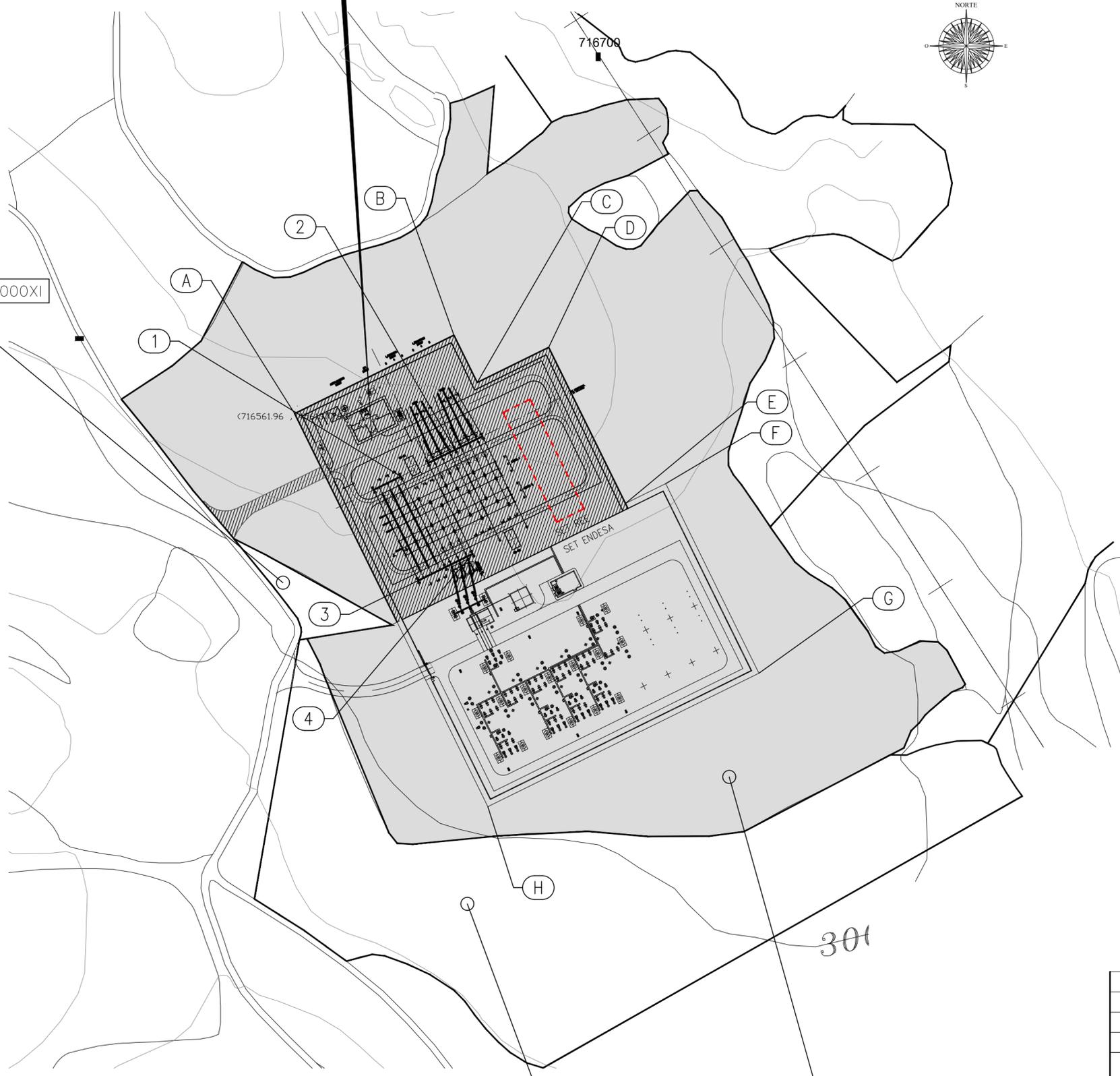
A	NOV-21	A.G.M.	R.E.E.	AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2	
0	DIC-09	N.B.A.	R.E.E.	ESTADO INICIAL	
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN	
			INSTALACIÓN 220 kV HIJAR		VÁLIDO PARA PTA 0
Grupo Red Eléctrica			TÍTULO ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DE 220 kV (SITUACION FUTURA)		COORD. ETRS89 HUSO 30
					CODIGO A3 S/E
					Nº P-HJRA2001 HOJA 001

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.colim.es/Verificacion. Cod.Vr: 65026392  
 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 prohibidos 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.

44128A035000330000XI

SUBESTACIÓN DE HIJAR  
SUPERFICIE DE OCUPACIÓN  
11022 m<sup>2</sup>



44128A035000320000XX

44128A035000370000XZ

AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2

COORDENADAS UTM PORTICOS		
PUNTOS	X	Y
1	716.609,28	4.561.349,63
2	716.633,51	4.561.361,55
3	716.617,03	4.561.303,30
4	716.641,25	4.561.315,21

COORDENADAS UTM PLATAFORMA		
PUNTOS	X	Y
A	716.561,96	4.561.377,63
B	716.632,94	4.561.412,55
C	716.643,31	4.561.391,47
D	716.675,16	4.561.407,14
E	716.709,36	4.561.337,64
F	716.727,30	4.561.346,47
G	716.768,83	4.561.262,06
H	716.648,05	4.561.202,64

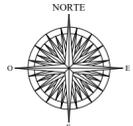
REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
B	08-14	L.R.G.	J.R.H.	D.M.G.	AS BUILT	R.H.A.
A	02-11	L.R.G.	J.R.H.		SE HA MODIFICADO INFORMACION CARTOGRAFICA	

	<b>RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA</b>		INSTALACION <b>SUBSTACION HIJAR</b> <b>PARQUE DE 220 kV</b>	
	FECHA 01-11	NOMBRE L.R.G.	TITULO IMPLANTACION GENERAL (SITUACION ACTUAL)	N° ---
DIBUJADO 01-11	J.R.H.		FORMATO: DIN A2	
COMPROBADO 01-11	L.R.G.		ESCALA: 1:1500	
APROBADO POR R.E.E. 01-11	R.H.A.		N° P-1HJRB10003	B Rev.
			HOJA 001	SIGUE -

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el COLIJM. Para comprobar su validez: https://www.colijm.es/verificacion. Cod. Ver: 65020392. No Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

SUBESTACIÓN DE HIJAR  
SUPERFICIE DE OCUPACIÓN  
11022 m<sup>2</sup>



44128A035000330000XI

716561.96

716700

301

44128A035000320000XX

44128A035000370000XZ

AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2

COORDENADAS UTM PORTICOS		
PUNTOS	X	Y
1	716.609,28	4.561.349,63
2	716.635,51	4.561.361,55
3	716.617,03	4.561.303,30
4	716.641,25	4.561.315,21
5	716.689,71	4.561.339,05
6	716.677,60	4.561.333,09

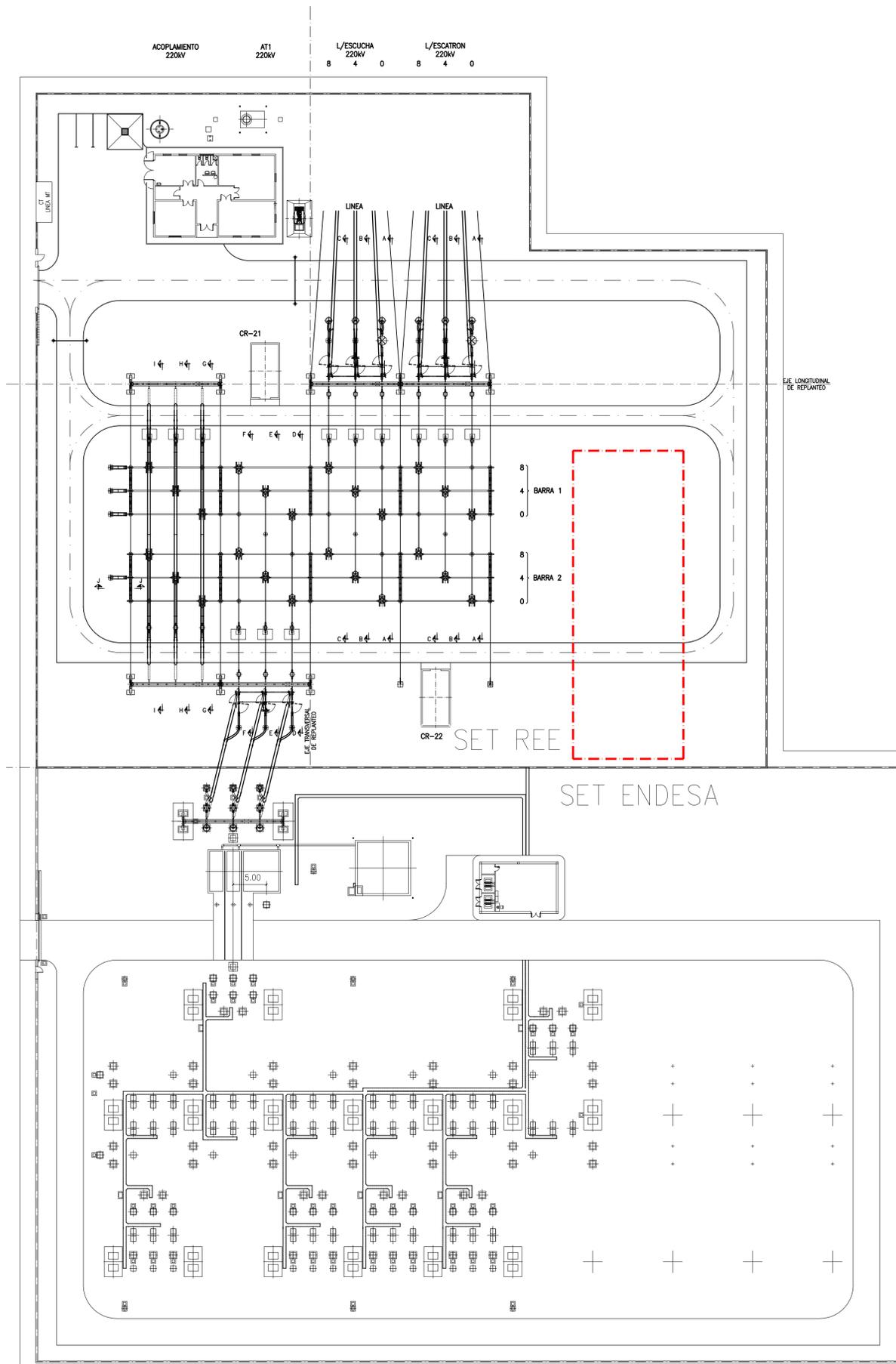
COORDENADAS UTM PLATAFORMA		
PUNTOS	X	Y
A	716.561,96	4.561.377,63
B	716.632,94	4.561.412,55
C	716.643,31	4.561.391,47
D	716.675,16	4.561.407,14
E	716.709,36	4.561.337,64
F	716.727,30	4.561.346,47
G	716.768,83	4.561.262,06
H	716.648,05	4.561.202,64

C	NOV-21	A.G.M.	R.E.E.	AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2
B	AGO-14	R.H.A.	R.E.E.	AS BUILT
O	ENE-11	R.H.A.	R.E.E.	PRIMERA EDICIÓN
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN
				INSTALACIÓN 220 kV HIJAR
				VÁLIDO PARA PTA 0
				COORD. ETRS89 HUSO 30
				CODIGO
				A1 1:1500
				Nº P=HJRB10003 HOJA 001
TÍTULO PLANTA GENERAL 220kV (SITUACION FUTURA)				

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U., en la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual de presente documento. Toda su actividad está respaldada y por tanto su contenido pertenece única y exclusivamente a RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. El acceso a este documento no supone en forma alguna, derecho para su reproducción, total o parcial, modificación o distribución que, en todo caso, estarán prohibidos salvo previo y expreso consentimiento por escrito de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. no asume ninguna responsabilidad derivada del uso no autorizado del contenido del presente documento.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid, Visado: No 202205384, Fecha Visado: 09/12/2022, Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M., Para comprobar su validez: https://www.com.es/verificacion, Cod.Ver: 65020392, Nº Colegiado: 11729, Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU

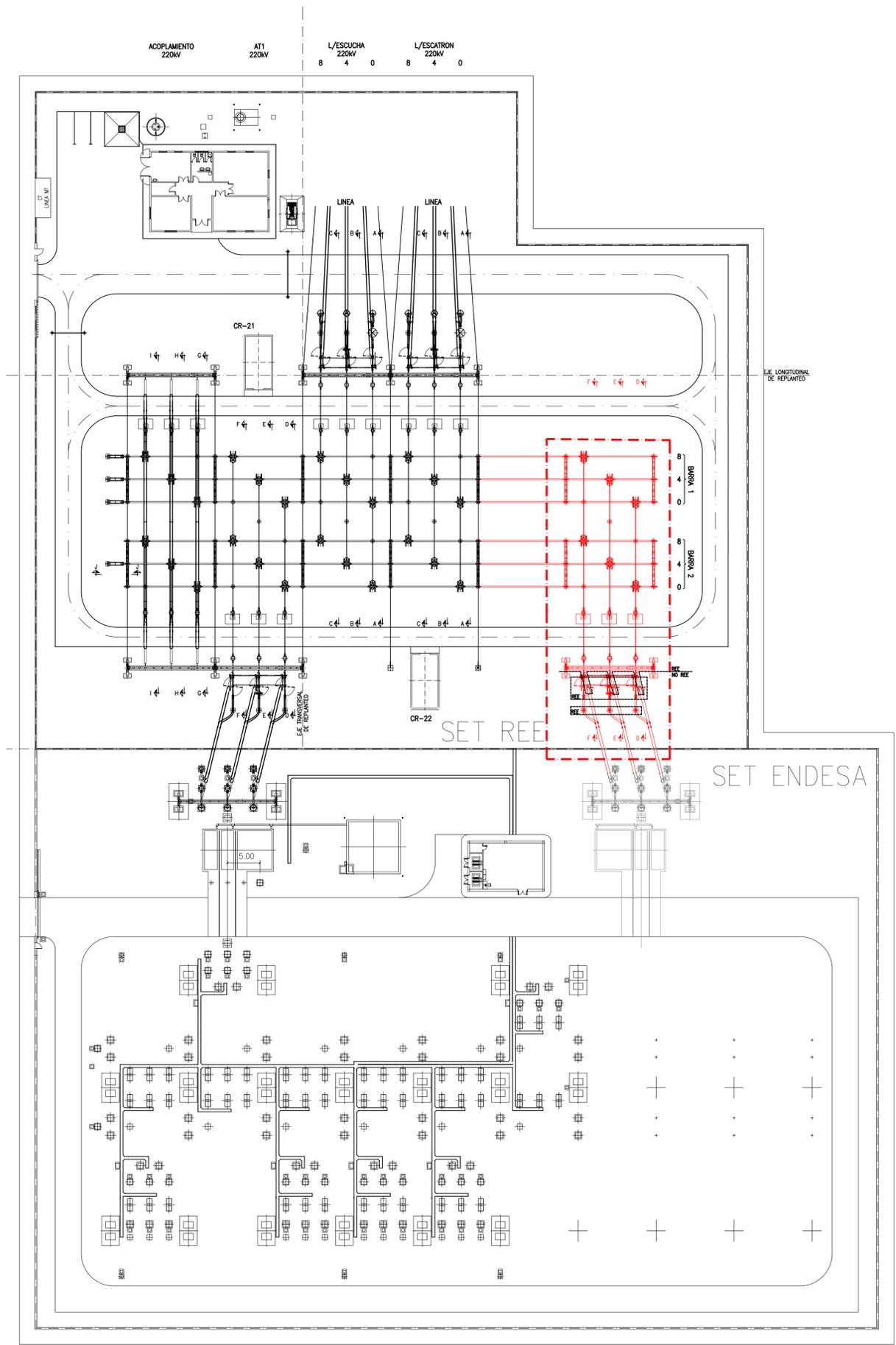
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. es la única titular de todos los derechos de propiedad intelectual de presente documento. Todos los derechos están reservados y por tanto no está permitida su reproducción, transformación, distribución, comunicación pública, ni la explotación económica o el alquiler de los derechos de explotación de este documento, ni la transformación de este documento en cualquier forma o soporte, ni la explotación económica o el alquiler de los derechos de explotación de este documento, ni la transformación de este documento en cualquier forma o soporte, ni la explotación económica o el alquiler de los derechos de explotación de este documento.



   AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2

**NOTAS:**  
 1. DIMENSIONES EN METROS.  
**PLANOS DE REFERENCIA:**  
 P-HJB20002.- SECCIONES GENERALES.

D	10-14	D.M.G.	A.J.B.G.	D.M.G.	NUEVAS DIMENSIONES C.T.	
C	05-12	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	SE REPRESENTAN LOS SECCIONADORES ROTATIVOS A INSTALAR (HAPAM)	
B	03-12	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	NUEVA SOLUCIÓN ACOMETIDA Y TRATAMIENTO DE AGUAS	
A	11-11	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	SE HA PASADO LA BOBINA DE BLOQUEO A LA FASE 0	
REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
				SUBSTACION HIJAR PARQUE DE 220 kV		
PROYECTADO	01-11	L.R.G.	TITULO			FORMATO: DIN A1
DIBUJADO	01-11	J.R.H.	PLANTA GENERAL			ESCALA: 1:400
COMPROBADO	01-11	L.R.G.	(SITUACIÓN ACTUAL)			Nº P-HJB20001 D
APROBADO POR R.E.E.	01-11	R.H.A.	HOJA 001 SIGUE -			Rev



     AMPLIACIÓN LINEA 6 - POS. TR 2

NOTAS:  
 1. DIMENSIONES EN METROS.  
 PLANOS DE REFERENCIA:  
 P-HJRB20002.- SECCIONES GENERALES

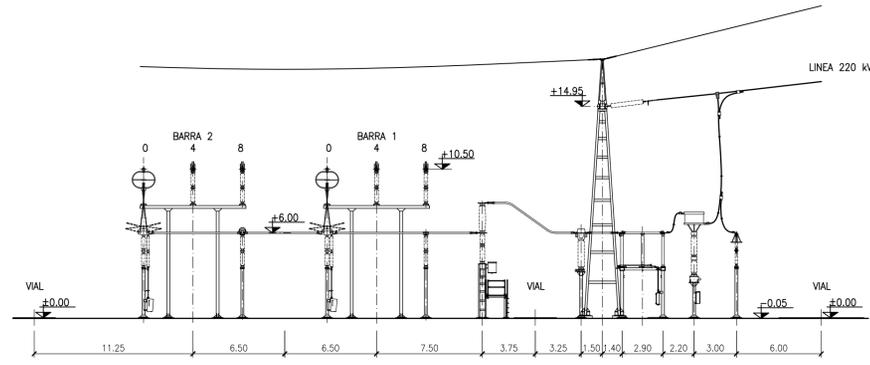
E	NOV-21	AG.M.	R.E.E.	AMPLIACIÓN LINEA 6 - POS. TR 2	VÁLIDO PARA PTA. 0
D	OC-14	R.H.A.	R.E.E.	NUEVAS DIMENSIONES C.T.	COORD. ETRS89 HUSO 30
C	MAY-12	R.H.A.	R.E.E.	SE REPRESENTAN LOS SECCIONADORES ROTATIVOS A INSTALAR (HAPAM)	CODIGO
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN	
				INSTALACIÓN	220 kV HUIAR
				TÍTULO	PLANTA GENERAL 220kV (SITUACIÓN FUTURA)
					Nº P-HJRB20001 HOJA 001

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 se prohíbe expresamente toda y cualquier reproducción, total o parcial, sin el consentimiento expreso de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A.U. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad en su forma original.

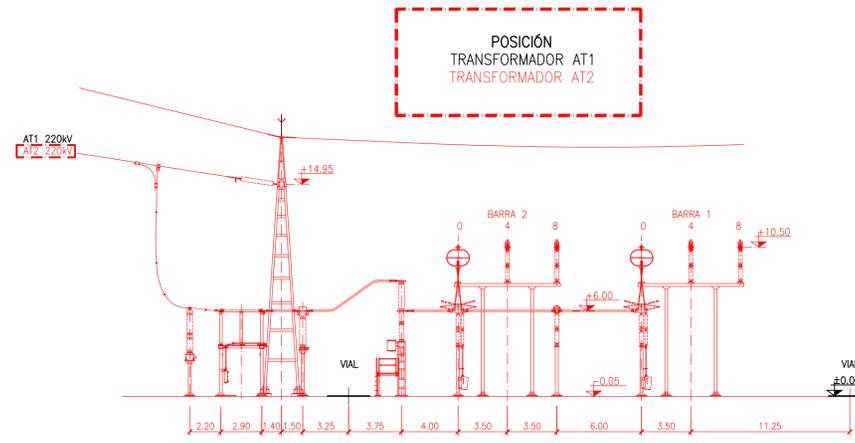
Código Oficial de Registro Industrial de Madrid, Madrid, Nº 202020384. Fecha Madrid: 09/12/2021. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.L.M. Fecha comprobada su validez: https://www.cadma.es/verificacion. Cad. I.M.V. E03020384. Nº Compases: 11779. Compases: 04100 DANIELZ RODRIGUEZ



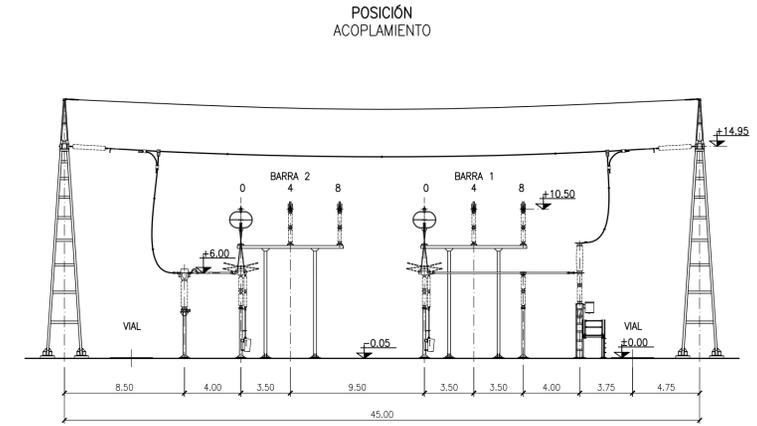
POSICIONES LINEA:  
L/ ESCUCHA 220 kV  
L/ ESCATRÓN 220 kV



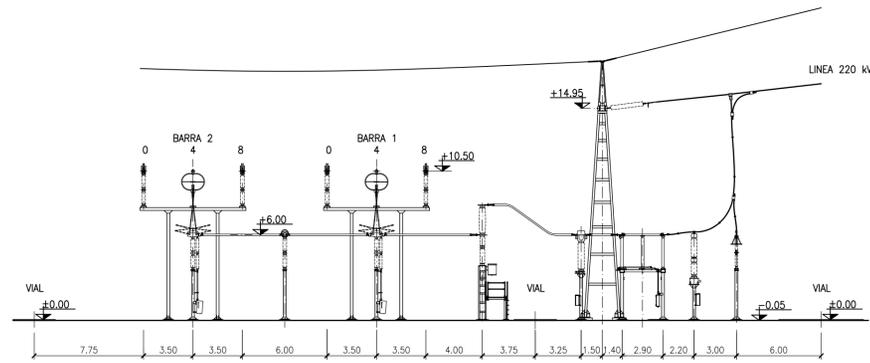
SECCION A-A  
FASE 0



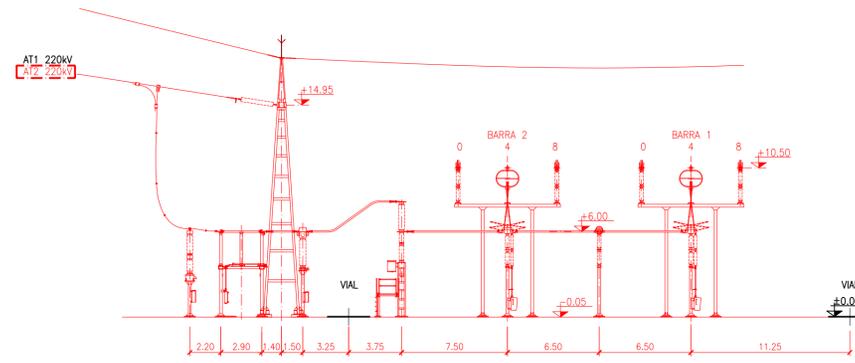
SECCION D-D  
FASE 0



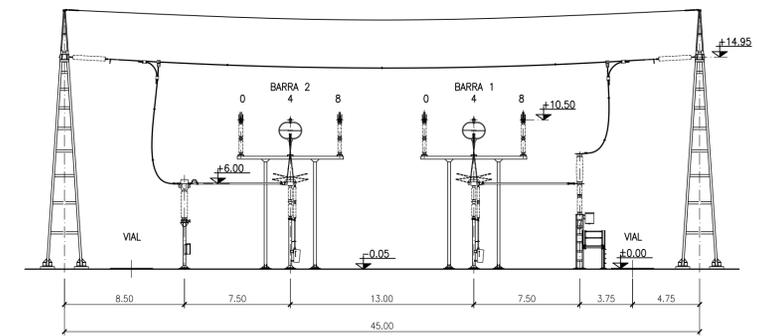
SECCION G-G  
ACOPLAMIENTO  
FASE 0



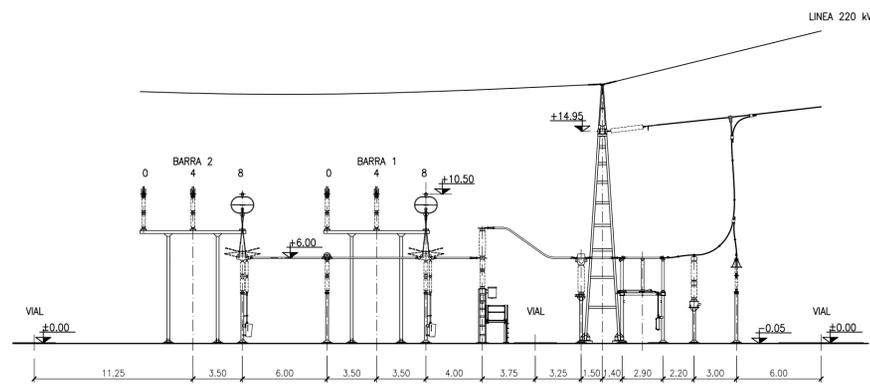
SECCION B-B  
FASE 4



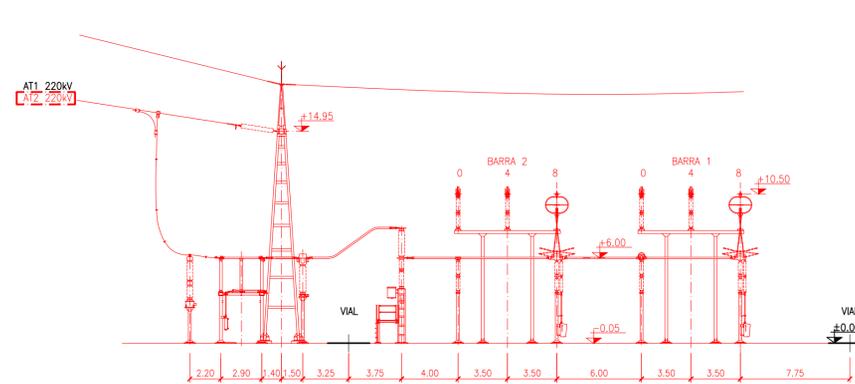
SECCION E-E  
FASE 4



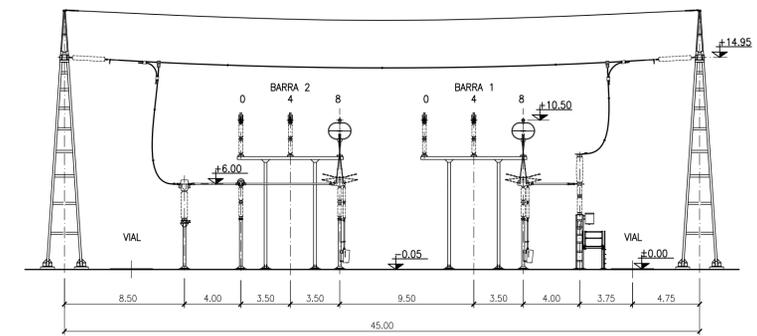
SECCION H-H  
ACOPLAMIENTO  
FASE 4



SECCION C-C  
FASE 8

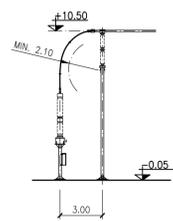


SECCION F-F  
FASE 8



SECCION I-I  
ACOPLAMIENTO  
FASE 8

POSICIÓN  
TRANSFORMADOR DE  
TENSION BARRAS



SECCION J-J

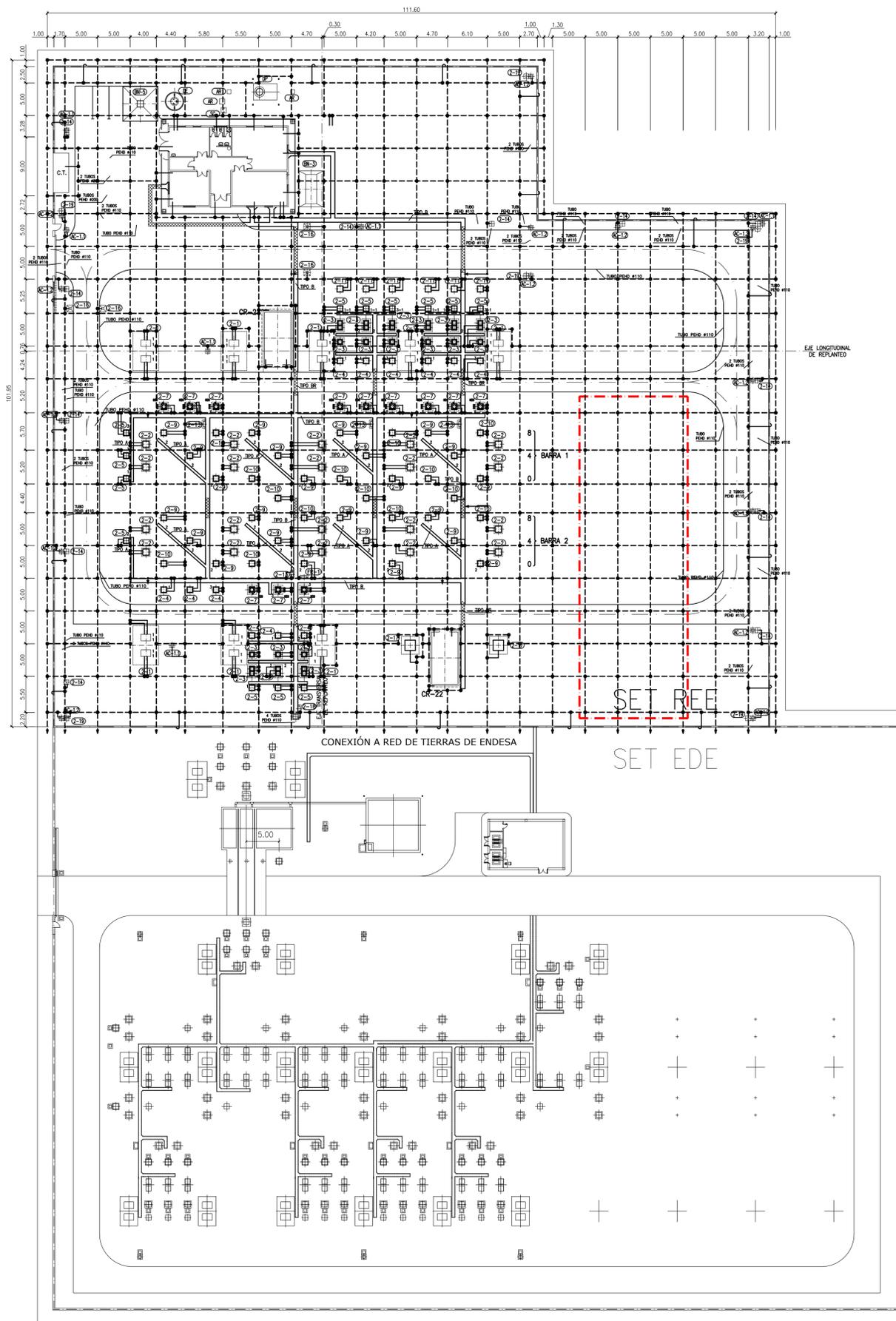
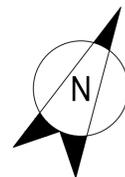
AMPLIACIÓN LINEA 6 - POS. TR 2

PLANOS DE REFERENCIA:  
P-HRB20001.- PLANTA GENERAL

C	OCT-21	AG.M.	R.E.E.	AMPLIACIÓN LINEA 6 - POS. TR 2	VALIDO PARA PTA. 0
B	MAY-12	R.H.A.	R.E.E.	SE REPRESENTAN LOS SECCIONADORES ROTATIVOS A INSTALAR (HAPAM)	COORD. ETR589 HUSO 30
A	NOV-11	R.H.A.	R.E.E.	SE HA PASADO LA BOBINA DE BLOQUEO A LA FASE 0	CODIGO
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN	
INSTALACIÓN				220 kV HIJAR	
TÍTULO				SECCIONES GENERALES 220kV (SITUACION FUTURA)	
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA Grupo Red Eléctrica					
				A1	1:250
				P-HRB20002	HOJA 001







RELACION DE MATERIALES					
CODIGO/LOTE	POS.	CANT.	DENOMINACIÓN	OBSERVACIONES	SUMINISTRO
--	C-5	4445m	CABLE DE Cu DESNUDO DE 120mm2 #14.2mm	--	--
--	T-31	517	SOLDADURA EXOTERMICA EN "T" PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm2 (#14.2mm)	--	--
--	T-32	362	SOLDADURA EXOTERMICA EN CRUZ PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm2 (#14.2mm)	--	--

- SIMBOLOS**
- SOLDADURA ALUMINOTERMICA EN CRUZ O EN "T"
  - CONEXION A ESTRUCTURA
  - CONEXION A CERRAMIENTO
  - CONEXION 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 OBRA CIVIL):
    - PARA LOS SOPORTES DE APARAMENTA SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 1.50 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACION.
    - PARA LAS COLUMNAS PRINCIPALES SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 2.0 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACION.
    - PARA LAS TIERRAS INTERIORES DE CASSETAS Y EDIFICIOS DEJAR LATIGUILLOS DE 1.50 m EN EL INTERIOR.

AMPLIACIÓN LINEA 6 - POS. TR. 2

- NOTAS:**
- LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DEBERÁN SER CONECTADOS A LA MALLA DE TIERRAS DENTRO DE LOS TRABAJOS DE OBRA CIVIL:
    - PUERTAS CASSETAS
    - CERCOS METÁLICOS DE ARQUETAS (TANTO DE CABLES COMO DE DRENAJE) Y CANALES REFORZADOS
    - CERRAMIENTO APROXIMADAMENTE CADA 20 m
    - CIMENTACIONES DE CASSETAS
  - SE DARÁ CONTINUIDAD EN LAS CASSETAS A LAS ARMADURAS DE MURO DE CIMENTACIÓN Y SOLERA

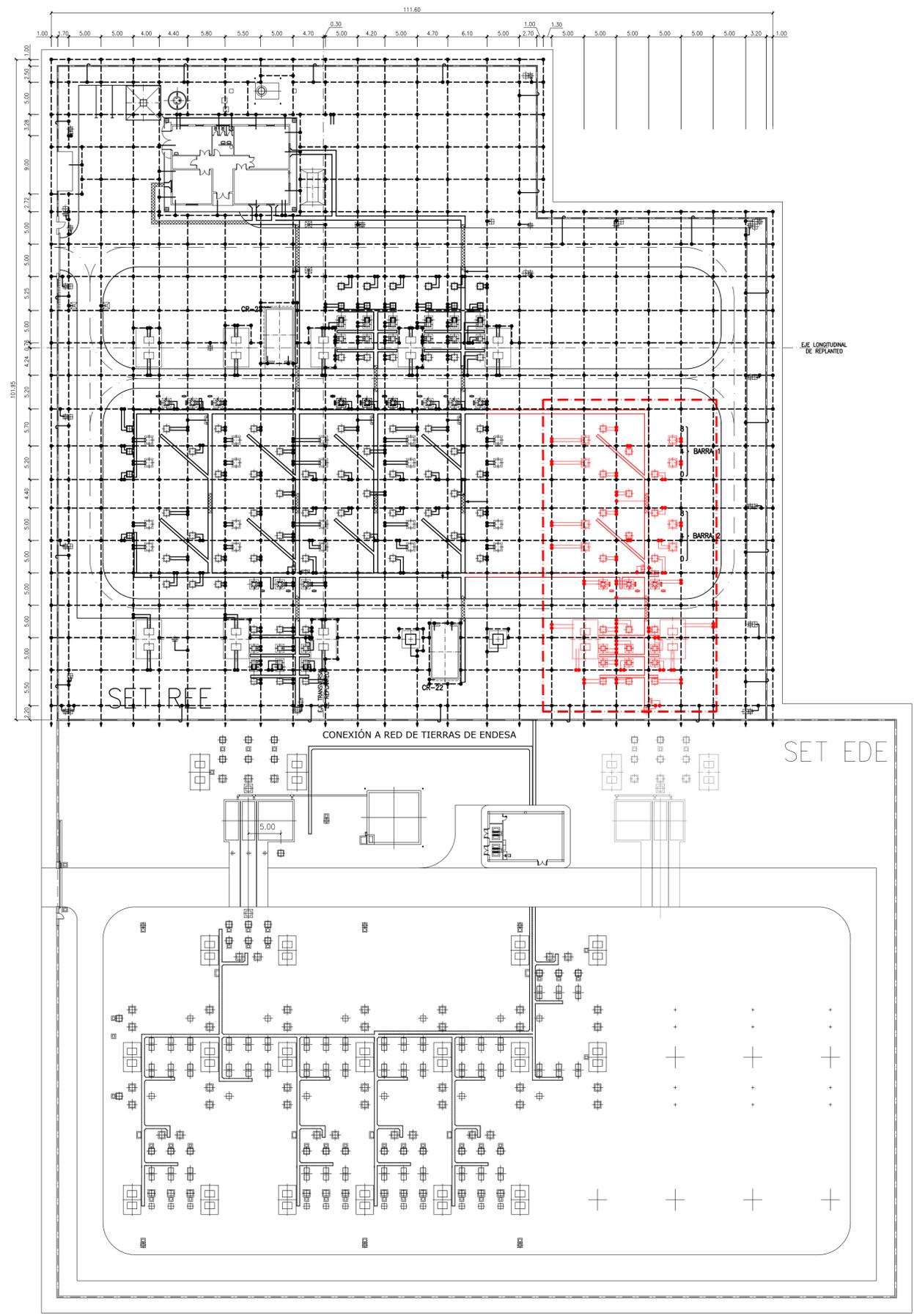
**PLANOS DE REFERENCIA:**  
 HURF10002 PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO

F	10-14	D.M.G.	A.J.B.G.	D.M.G.	NUEVAS DIMENSIONES C.T.	R.H.A.
E	05-12	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	SE HAN INCLUIDOS FUNDACIONES DE BACULOS	R.H.A.
D	05-12	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	AMPLIACION CIMENTACIONES SECCIONADORES ROTATIVOS HAPAM	R.H.A.
C	03/12	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	NUEVA SOLUCION ACOMETIDA Y TRATAMIENTO DE AGUAS	R.H.A.
REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
		INSTALACION <b>SUBSTACION HIJAR</b> <b>PARQUE DE 220 kV</b>				N°
PROYECTADO	01-11	L.R.G.	PLANTA GENERAL			FORMATO: DIN A1
DIBUJADO	01-11	J.R.H.	RED DE TIERRAS			ESCALA: 1:400
COMPROBADO	01-11	L.R.G.	(SITUACION ACTUAL)			N° HURF10001 F Rev
APROBADO POR R.E.E.	01-11	R.H.A.				HOJA 001 SIGUE --

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 no podrán ser reproducidos, almacenados en un sistema de recuperación, ni transmitidos en ninguna forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento 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.

Código de identificación de documentos: Estación de Hija, Madrid, España, Nº: 202302384. Fecha: 01/12/2023. Formato: Estándar de ingeniería para el A3/C3/L3. No se permite su uso en otros programas de ingeniería sin el consentimiento escrito de RED ELECTRICA DE ESPAÑA, S.A.U.

RELACION DE MATERIALES		OBSERVACIONES	SUMINISTRO
CODIGO/LOTE	POS. CANT.	DENOMINACION	
---	C-5 4445m	CABLE DE Cu DESNUDO DE 120mm <sup>2</sup> ø14.2mm	---
---	T-31 517	SOLDADURA EXOTERMICA EN "T" PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm <sup>2</sup> (ø14.2mm)	---
---	T-32 362	SOLDADURA EXOTERMICA EN CRUZ PARA CABLES DE Cu DESNUDOS 120mm <sup>2</sup> (ø14.2mm)	---



**SIMBOLOS**

- SOLDADURA ALUMINOTERMICA EN CRUZ O EN "T"
- CONEXION A ESTRUCTURA
- CONEXION A CERRAMIENTO
- CONEXION A RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO (HASTA DENTRO DE CANAL DE CABLES CERCANO)
- MALLA PRINCIPAL DE CABLE DE Cu DE 120 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> (SE REALIZARAN DURANTE LOS TRABAJOS DE OBRA CIVIL):
  - PARA LOS SOPORTES DE APARAMENTA SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 1.50 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACION.
  - PARA LAS COLUMNAS PRINCIPALES SE DEJARAN LATIGUILLOS DE 2.0 m DE LONGITUD EN LA CIMENTACION.
  - PARA LAS TIERRAS INTERIORES DE CASETAS Y EDIFICIOS DEJAR LATIGUILLOS DE 1.50 m EN EL INTERIOR.

AMPLIACION LINEA 6 - POS. TR 2

- NOTAS:**
- LOS SIGUIENTES ELEMENTOS DEBERAN SER CONECTADOS A LA MALLA DE TIERRAS DENTRO DE LOS TRABAJOS DE OBRA CIVIL:
    - PUERTAS CASETAS
    - CERCOS METALICOS DE ARQUETAS (TANTO DE CABLES COMO DE DRENAJE) Y CANALES REFORZADOS
    - CERRAMIENTO APROXIMADAMENTE CADA 20 m
    - CIMENTACIONES DE CASETAS.
  - SE DARÁ CONTINUIDAD EN LAS CASETAS A LAS ARMADURAS DE MURO DE CIMENTACION Y SOLERA

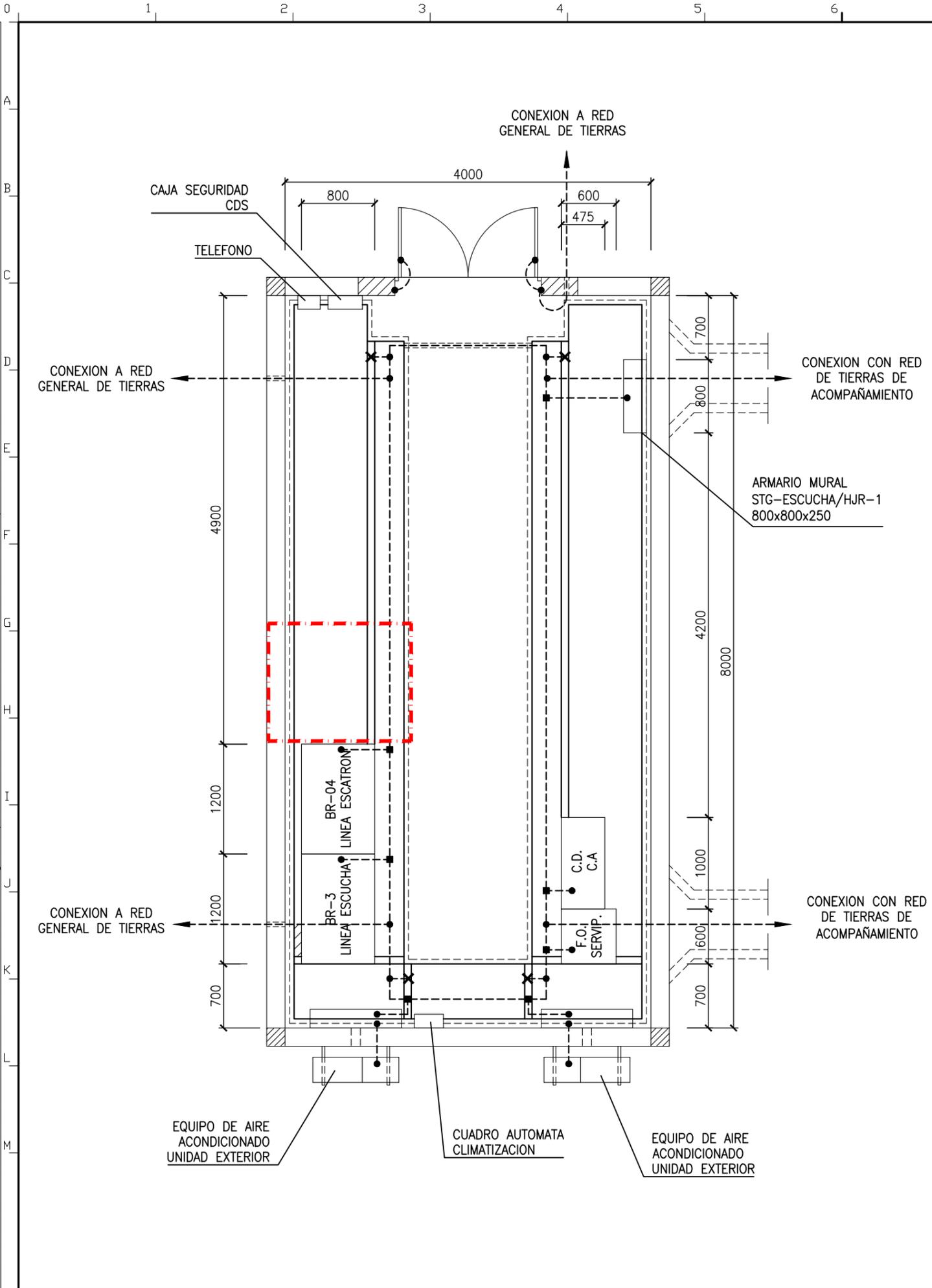
**PLANOS DE REFERENCIA:**  
HURF10002 PLANTA GENERAL. RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO

G	NOV-21	AG.M.	R.E.E.	AMPLIACION LINEA 6 - POS. TR 2
F	OCT-14	R.H.A.	R.E.E.	NUEVAS DIMENSIONES C.T.
O	ENE-11	R.H.A.	R.E.E.	PRIMERA EDICION
EDICION	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCION
				INSTALACION 220 kV HIJAL TÍTULO PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS (SITUACION FUTURA)
VÁLIDO PARA PTA. 0 COORD. ETRS89 HUSO 30 CÓDIGO A1 1:400 Nº P-HURF10001 HOJA 001				

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, S.A. es una empresa del grupo de empresas de ENDESA, S.A. y de ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. (ENEF). ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. es una sociedad de inversión de ENDESA, S.A. y de ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. (ENEF). ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. es una sociedad de inversión de ENDESA, S.A. y de ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. (ENEF). ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. es una sociedad de inversión de ENDESA, S.A. y de ENDESA ENERGÍA FINANCIERA, S.A. (ENEF).

Código oficial de planos: Instalación de Redes, Redes, Nº 20200384 - Fecha: 09/12/2023. Firmado Electrónicamente por el C.O.T.E.M. Para consultar su validez: https://www.coma.es/verificacion. Cód. Ver: E000392.

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 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.



   AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2

**SIMBOLOS:**

- CABLE DESNUDO DE Cu de 120mm<sup>2</sup>
- + DERIVACION EN "T" MEDIANTE GRAPA DE CONEXION
- DERIVACION EN "T" MEDIANTE SOLDADURA EXOTERMICA
- CONEXION A EQUIPO O CUADRO MEDIANTE TERMINAL DE PRESION
- PUESTA A TIERRA PUERTAS Y MARCO CON CABLE AISLADO DE Cu 16mm<sup>2</sup>
- X PUESTA A TIERRA SOPORTES METALICOS DE ARMARIOS
- PANEL LAMINADO COMPACTO TIPO PARKLEX O SIMILAR

**NOTAS:**

1. LOS CABLES DE ACOMPAÑAMIENTO SE UTILIZARAN PARA LA CONEXION A TIERRA DE TODAS LAS PANTALLAS DE LOS CABLES DE FUERZA, MANDO Y CONTROL, REALIZADA EN LOS RESPECTIVOS CUADROS DE LA APARAMENTA Y EN LAS CASSETAS DE RELES.
2. PANEL SERA SUMINISTRADO EN LA OBRA CIVIL Y MONTADO POR EL CONTRATISTA DE MONTAJE.

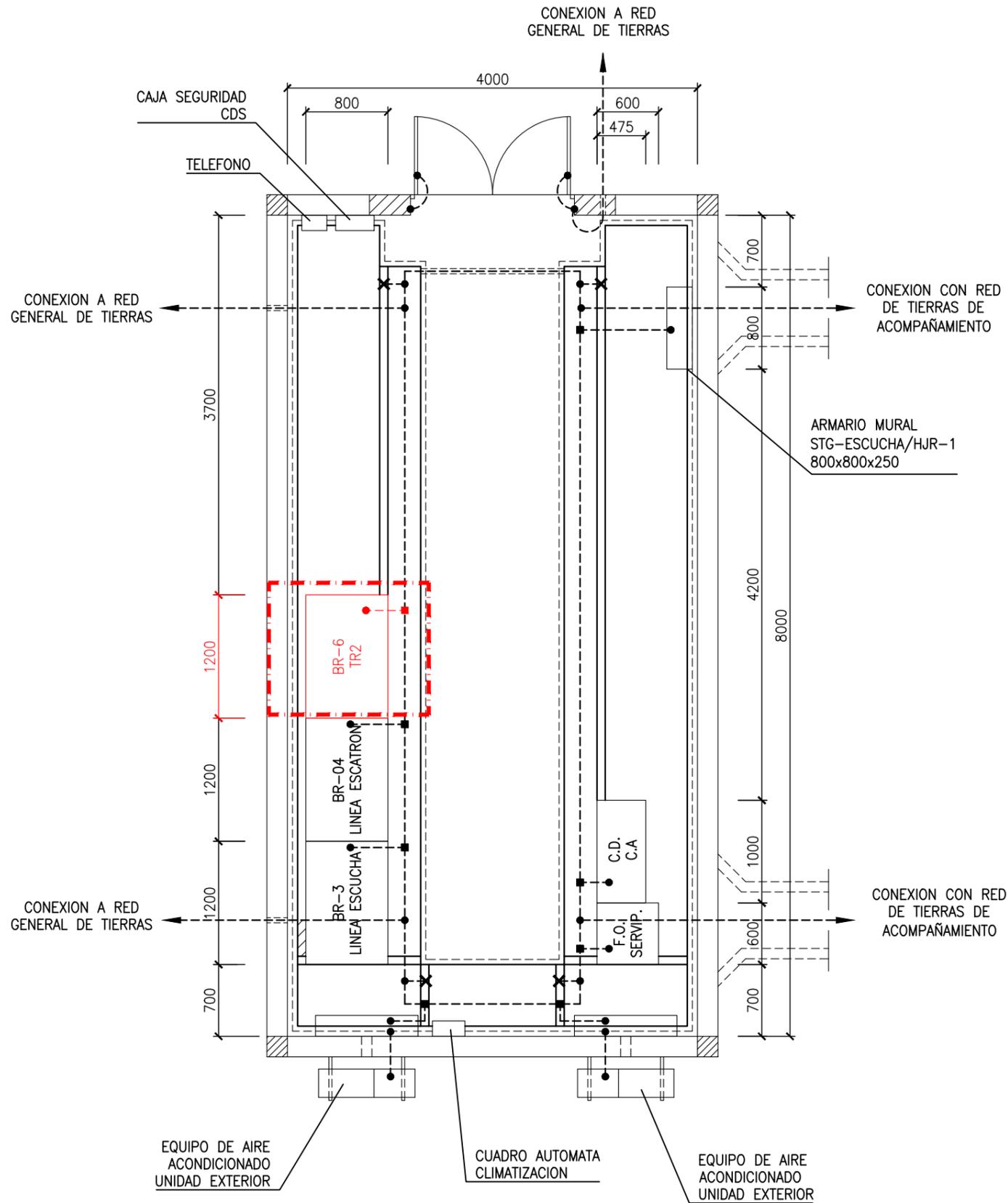
**PLANOS DE REFERENCIA:**

P-HJRF10002 PLANTA GENERAL. RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO

REVISION	FECHA	PROYECT.	DIBUJADO	COMPROB.	MODIFICACION	APROBADO POR R.E.E.
B	AGO-15	S.G.S.	M.I.M.	S.G.S	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO	M.S.M.
A	MAR-15	M.I.M.	M.I.M.	M.S.M.	STG-ESCUCHA/HJR-1	M.S.M.
0	11-11	M.B.L.	J.R.H.	M.B.L.	PROCEDE DE PLANO DYESJ2015-E	R.H.A.

	<b>INSTALACION</b> SUBESTACION HIJAR PARQUE 220 kV		
	N° ---		
PROYECTADO 11-11 M.B.L. DIBUJADO 11-11 J.R.H. COMPROBADO 11-11 M.B.L. APROBADO POR R.E.E. 11-11 R.H.A.	TITULO CASETA DE RELES CR-22 IMPLANTACION DE EQUIPOS		FORMATO: DIN A3 ESCALA: 1:50
		N° P-HJRJ20004 HOJA 001 SIGUE --	B Rev.

Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado: Nº 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: <https://www.firmas.com/ver/11729>. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU



AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2

**SIMBOLOS:**

- CABLE DESNUDO DE Cu de 120mm<sup>2</sup>
- +--- DERIVACION EN "T" MEDIANTE GRAPA DE CONEXION
- DERIVACION EN "T" MEDIANTE SOLDADURA EXOTERMICA
- CONEXION A EQUIPO O CUADRO MEDIANTE TERMINAL DE PRESION
- PUESTA A TIERRA PUERTAS Y MARCO CON CABLE AISLADO DE Cu 16mm<sup>2</sup>
- X--- PUESTA A TIERRA SOPORTES METALICOS DE ARMARIOS
- PANEL LAMINADO COMPACTO TIPO PARKLEX O SIMILAR

**NOTAS:**

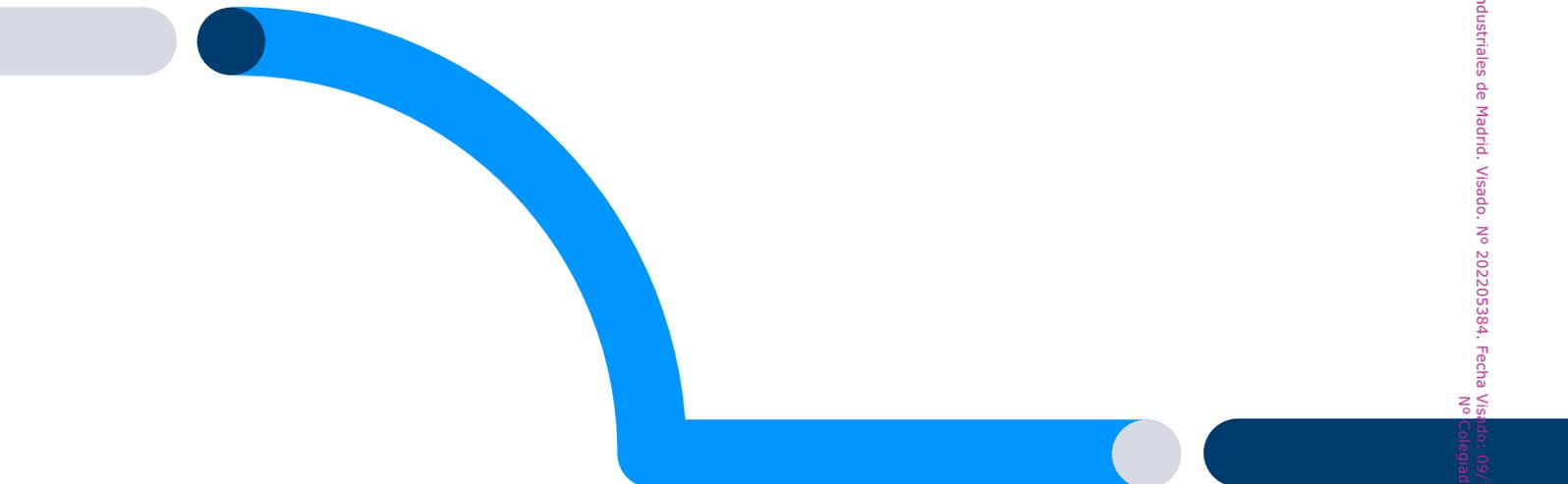
1. LOS CABLES DE ACOMPAÑAMIENTO SE UTILIZARAN PARA LA CONEXION A TIERRA DE TODAS LAS PANTALLAS DE LOS CABLES DE FUERZA, MANDO Y CONTROL, REALIZADA EN LOS RESPECTIVOS CUADROS DE LA APARAMENTA Y EN LAS CASSETAS DE RELES.
2. PANEL SERA SUMINISTRADO EN LA OBRA CIVIL Y MONTADO POR EL CONTRATISTA DE MONTAJE.

**PLANOS DE REFERENCIA:**

P-HJR10002PLANTA GENERAL. RED DE TIERRAS DE ACOMPAÑAMIENTO

C	NOV-21	A.G.M.	R.E.E.	AMPLIACIÓN LÍNEA 6 - POS. TR 2	
B	AGO-15	M.S.M.	R.E.E.	DEFINITIVO CONFORME A LO CONSTRUIDO	
O	NOV-11	R.H.A.	R.E.E.	PRIMERA EDICION	
EDICIÓN	FECHA	PROYECTADO	VERIFICADO	DESCRIPCIÓN	
RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA Grupo Red Eléctrica			INSTALACIÓN 220 kV HIJAR	VÁLIDO PARA PTA 0 COORD. ETRS89    HUSO 30 CODIGO A3    1:50	
			TÍTULO PLANTA GENERAL RED DE TIERRAS (SITUACION FUTURA)	Nº P-HJR20004    HOJA 001	

**red eléctrica**  
Una empresa de Redeia



# PROYECTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO

## AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV

DOCUMENTO 4

PRESUPUESTO

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

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 HIJAR 220 kV (en euros)

Ingeniería de proyecto .....	40.827
<b>Materiales .....</b>	<b>565.745</b>
<b>Aparamenta y materiales de alta tensión.....</b>	<b>474.500</b>
<b>Protecciones, control y comunicaciones.....</b>	<b>88.830</b>
<i>Bastidores cuadros y convertidores .....</i>	<i>12.782</i>
<i>Sistemas de control .....</i>	<i>10.834</i>
<i>Sistemas de comunicación .....</i>	<i>20.000</i>
<i>Protecciones .....</i>	<i>20.138</i>
<i>Servicios auxiliares, baterías y alumbrado .....</i>	<i>2.487</i>
<i>Cables .....</i>	<i>22.589</i>
<b>Estructura metálica .....</b>	<b>2.415</b>
<b>Construcción.....</b>	<b>227.904</b>
<b>Obra civil y montaje electromecánico .....</b>	<b>148.989</b>
<b>Pruebas y puesta en servicio.....</b>	<b>36.000</b>
<b>Servicios diversos .....</b>	<b>42.915</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO 1.1 .....</b>	<b>834.476 euros</b>

## 2 PRESUPUESTO DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL (en euros)

Seguridad y salud laboral .....	4.444
<b>TOTAL PRESUPUESTO 2.1 .....</b>	<b>4.444 euros</b>

## 3 PRESUPUESTO TOTAL

3.1 SUBESTACIÓN.....	834.476
3.2 SEGURIDAD Y SALUD LABORAL.....	4.444
<b><u>Total</u> .....</b>	<b><u>838.920 euros</u></b>

El presupuesto total de la ampliación de la Subestación Híjar 220 KV asciende a OCHOCIENTOS TREINTA Y OCHO MIL NOVECIENTOS VEINTE EUROS.

Madrid, noviembre de 2022

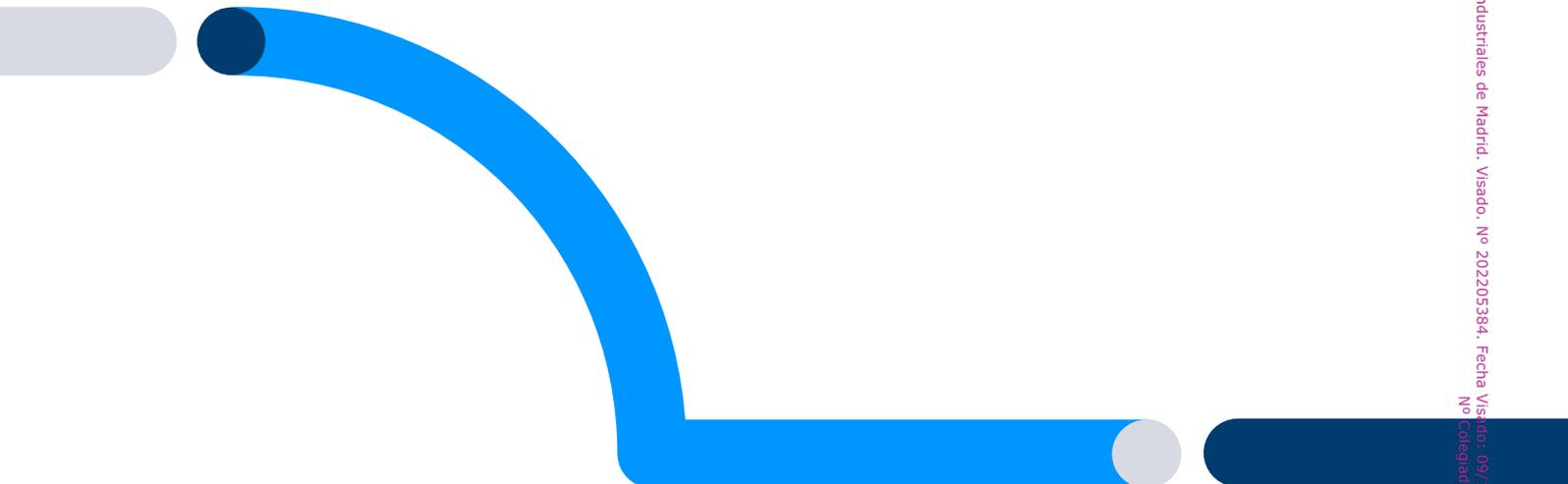
El Ingeniero industrial



**David González Jouanneau**

Jefe del Departamento de Ingeniería de Subestaciones

Red Eléctrica de España, S.A.U.



**PROYECTO TÉCNICO  
ADMINISTRATIVO**

**AMPLIACIÓN DE LA  
SUBESTACIÓN HIJAR 220 kV**

DOCUMENTO 5

ESTUDIO DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Dirección de **Ingeniería y Construcción**  
Departamento de **Ingeniería de Subestaciones**  
noviembre de 2022

## Índice

---

1 OBJETO .....	3
2 NORMATIVA VIGENTE.....	3
3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAMPOS MAGNÉTICOS .....	4
4 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN Y DATOS DE CÁLCULO .....	5
5 RESULTADOS .....	10
6 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	11
7 CONCLUSIONES.....	11
8 REFERENCIAS .....	12

## 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 AIS 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 AIS 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 frecuencia industrial de 50 Hz, el límite establecido es de 100 microteslas (100  $\mu$ T).

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.

La aplicación desarrollada está realizada sobre Matlab/Octave. 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 dan 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 AIS del proyecto tipo tiene las siguientes características:

### Nivel de 220 kV.

- Tipo..... Intemperie convencional
- Topología..... Doble barra
- Posiciones de línea..... 4
- Posiciones de barras..... 2
- Posiciones de acoplo..... 1
- Superficie aprox. del parque..... 14852 m<sup>2</sup>

El estado de carga considerado consiste en considerar los dos transformadores 400/220 kV a potencia máxima y conectados a la barra 1. Las líneas se conectan a la barra 2, estando el acoplamiento cerrado, por tanto, por el acoplamiento pasa toda la potencia aportada por los transformadores. La línea 1 evacúa su potencia máxima y la línea 2 la restante hasta completar la aportada por los transformadores.

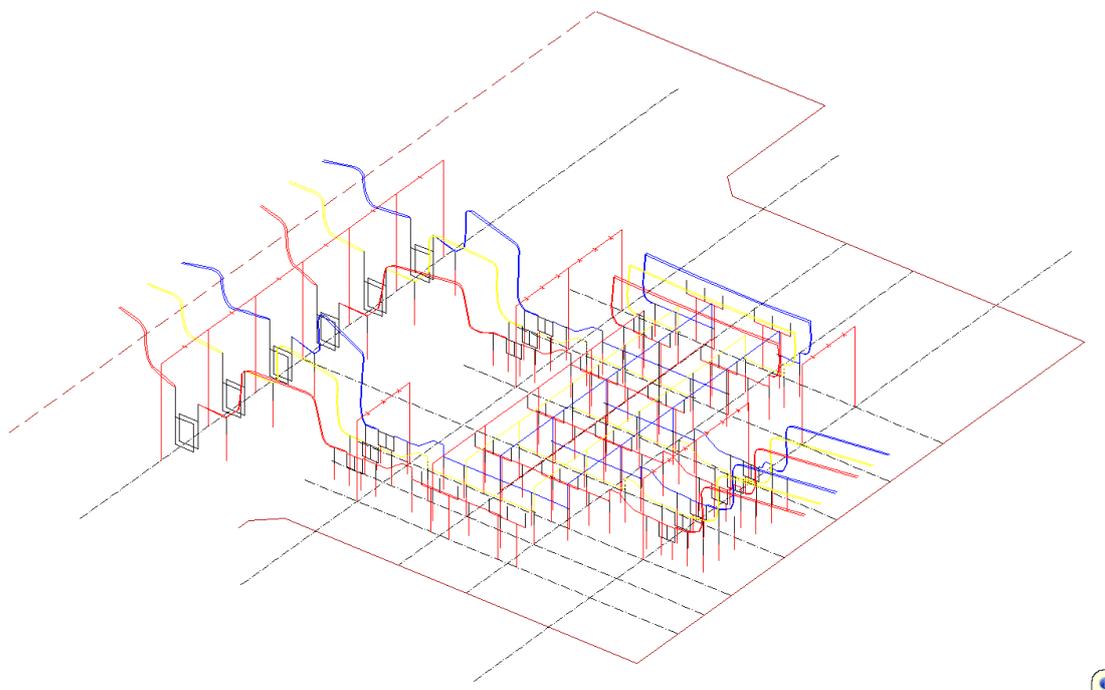


Figura 1. Modelo 3D de los cables de la instalación.

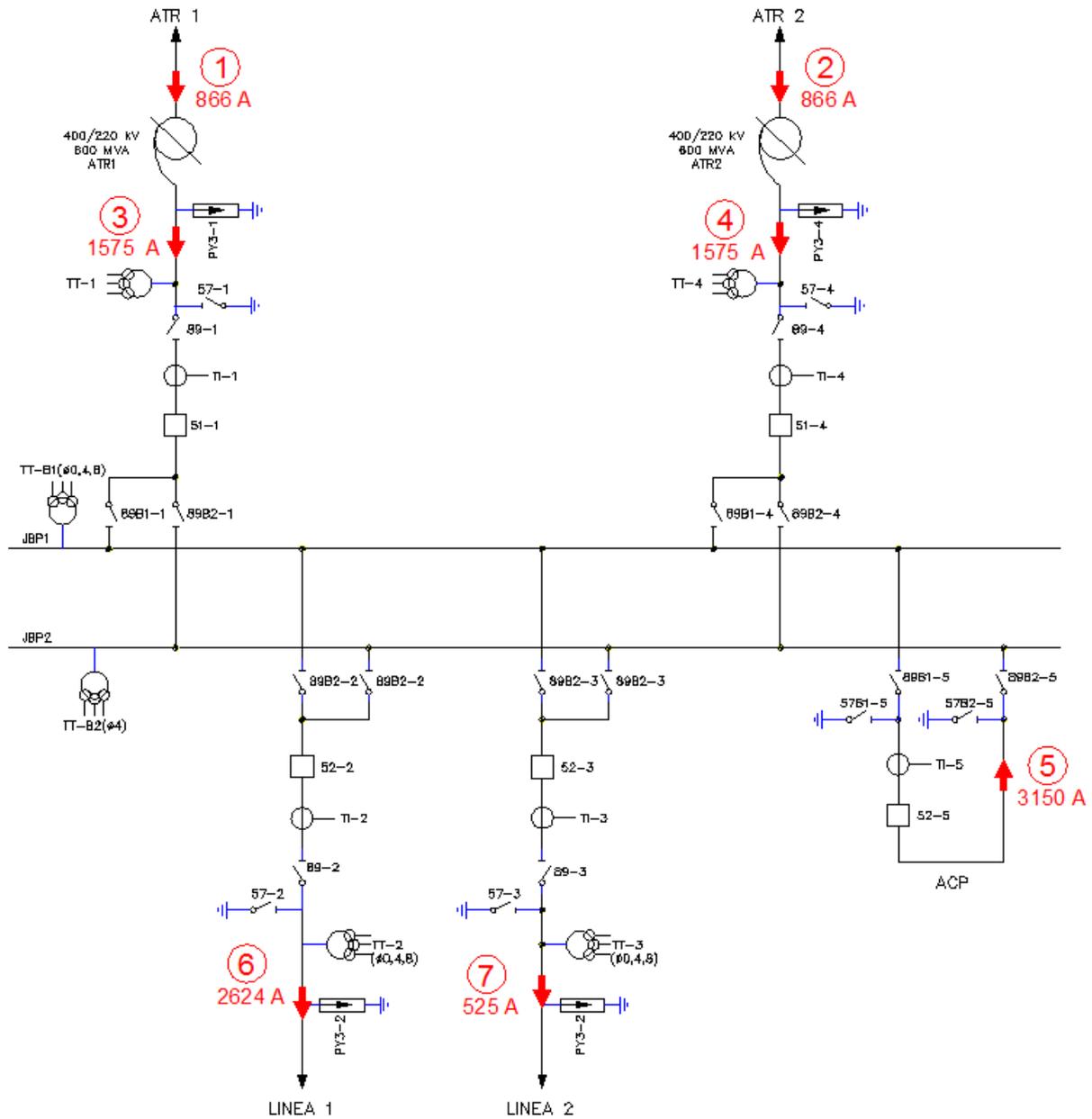


Figura 2. Unifilar con intensidades consideradas

Las intensidades consideradas para el cálculo del campo magnético son las siguientes:

POSICIÓN O TRAMO	REF.	INTENSIDAD (A)	FASE (°)	TIPO
TRAFO 1 400 kV	1	866 <sub>(2)</sub>	0	Trifásica equilibrada
TRAFO 2 400 kV	2	866 <sub>(2)</sub>	0	Trifásica equilibrada
TRAFO 1	3	1575 <sub>(2)</sub>	0	Trifásica equilibrada
TRAFO 2	4	1575 <sub>(2)</sub>	0	Trifásica equilibrada
UNIÓN DE BARRAS	5	3150	0	Trifásica equilibrada <sub>(1)</sub>
LÍNEA 1	6	2624 <sub>(1)</sub>	0	Trifásica equilibrada
LÍNEA 2	7	525	0	Trifásica equilibrada

(1) Intensidad correspondiente a la capacidad de transporte máxima de la línea, 1000 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, las distancias existentes entre los equipos eléctricos y el cierre de la instalación, permiten reducir los niveles de exposición al público en general por debajo de los límites establecidos en el Real Decreto.

No se han tenido en cuenta las aportaciones del parque adyacente de 400 kV, salvo el de los conductores representados en la figura 3.

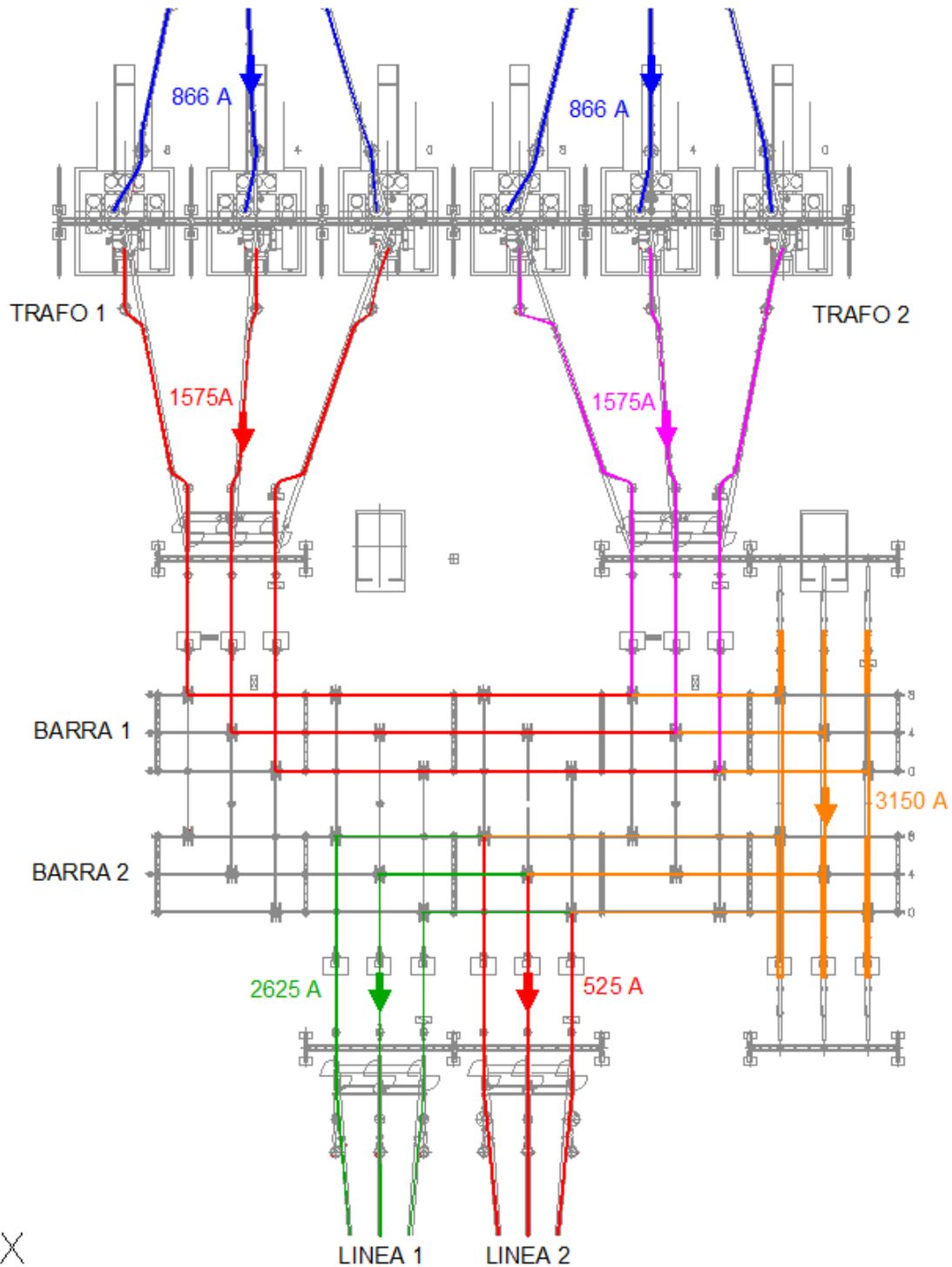


Figura 3. Intensidades estimadas para cálculo de campo magnético

Para la introducción de la topología del parque se ha partido de los planos de planta general del parque y cortes de las calles, así como la potencia de los transformadores y potencia máxima de las líneas.

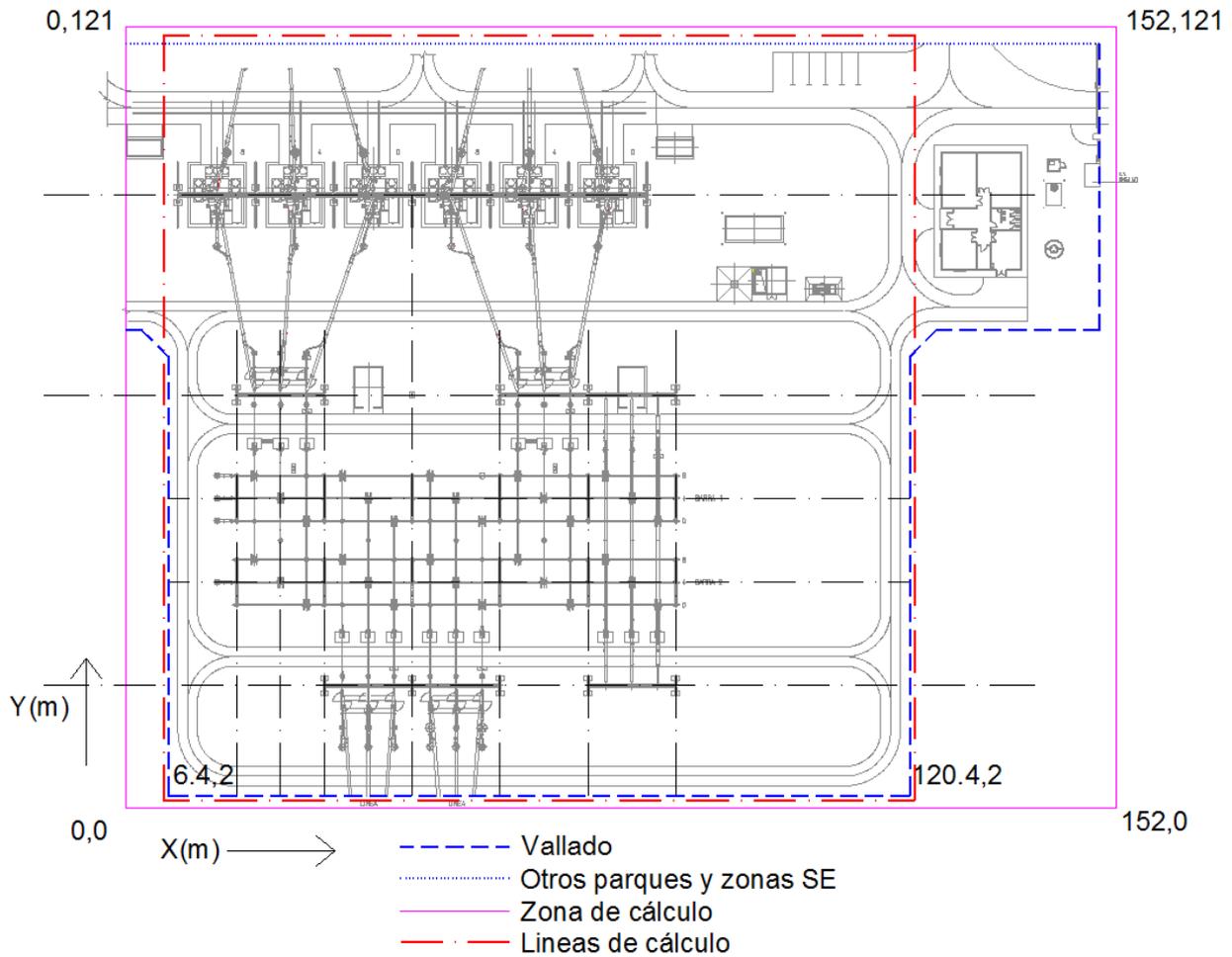


Figura 4. Vallado y zonas límite del cálculo

## 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.

Los valores más elevados de campo en el exterior se producen en la zona de entrada de las líneas de 220 kV, siendo de **18  $\mu$ T**.

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 17, correspondiendo a una separación de 7.6 x 7.56 m. La resolución utilizada para el cálculo es de 0.2 m.

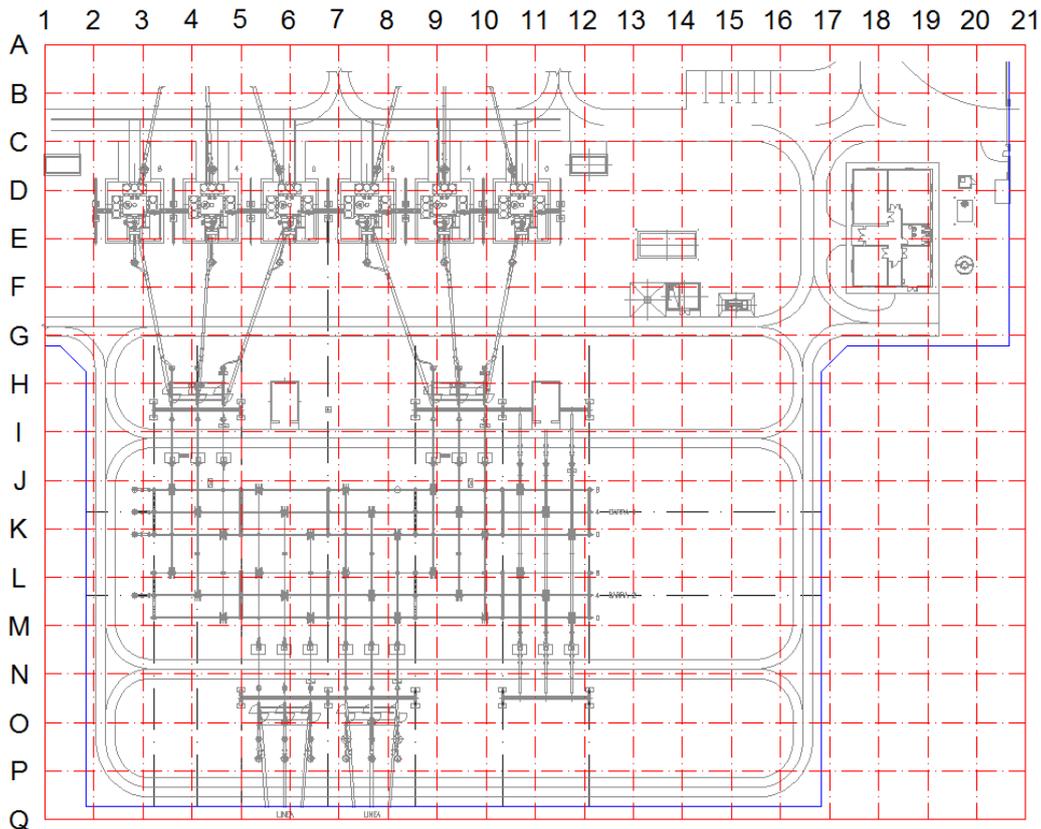


Figura 5. Cuadrícula para resumen de los resultados

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
A	0,97	1,58	2,36	2,87	2,70	2,05	1,88	2,52	2,94	2,66	1,90	1,16	0,69	0,44	0,32	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14
B	2,29	4,20	7,50	9,23	8,39	4,49	2,87	7,22	9,19	8,60	5,24	2,62	1,54	1,05	0,78	0,60	0,48	0,39	0,33	0,28	0,23
C	3,35	6,20	12,65	15,37	14,74	8,28	4,64	12,64	15,00	15,08	8,43	3,96	2,37	1,57	1,12	0,83	0,64	0,51	0,42	0,34	0,29
D	4,90	10,57	22,66	24,30	23,63	17,26	10,52	21,81	23,64	24,76	16,32	6,71	3,50	2,15	1,46	1,06	0,80	0,63	0,50	0,41	0,34
E	6,09	12,90	23,65	24,82	23,58	17,34	12,23	22,28	24,20	24,78	18,15	8,52	4,32	2,59	1,75	1,26	0,95	0,74	0,58	0,47	0,39
F	6,15	11,73	21,46	27,42	24,63	15,42	12,30	19,78	26,74	26,38	17,41	8,42	4,28	2,70	1,92	1,42	1,07	0,83	0,66	0,53	0,43
G	5,61	10,03	22,15	45,38	28,66	15,47	13,19	18,52	38,73	40,98	20,17	8,81	3,39	2,58	2,03	1,54	1,17	0,91	0,71	0,57	0,46
H	4,98	8,66	20,88	46,76	29,81	15,91	13,77	17,55	41,00	46,30	38,08	17,34	4,49	3,02	2,23	1,66	1,25	0,96	0,76	0,61	0,49
I	4,96	8,62	20,79	46,50	29,82	16,00	13,85	17,58	40,81	46,26	39,08	17,86	4,63	3,05	2,24	1,66	1,25	0,97	0,76	0,61	0,49
J	4,31	6,95	15,19	36,79	35,38	25,33	22,70	23,71	28,04	44,87	75,65	42,29	10,51	4,37	2,57	1,78	1,31	1,00	0,79	0,63	0,51
K	3,75	5,39	8,32	14,08	32,16	36,21	35,65	33,72	22,63	39,62	52,78	30,67	10,36	4,77	2,74	1,83	1,33	1,01	0,80	0,64	0,52
L	3,39	4,66	6,59	10,55	32,04	54,69	40,77	42,92	43,14	56,80	32,64	8,22	6,96	4,30	2,66	1,80	1,31	1,00	0,79	0,63	0,52
M	3,20	4,54	7,18	14,74	48,18	75,94	22,87	34,57	34,69	51,50	58,06	16,26	7,00	3,80	2,41	1,68	1,24	0,96	0,76	0,62	0,51
N	3,07	4,50	7,51	15,92	49,85	78,10	21,32	17,78	18,11	21,55	24,36	10,61	4,73	3,00	2,06	1,51	1,15	0,90	0,72	0,59	0,49
O	2,89	4,31	7,20	14,64	44,73	77,87	21,11	13,86	11,68	9,81	8,87	5,53	3,20	2,30	1,73	1,32	1,04	0,83	0,67	0,56	0,46
P	2,63	3,94	6,46	11,97	25,77	36,59	14,82	10,29	8,50	6,48	5,14	3,68	2,54	1,88	1,45	1,15	0,92	0,75	0,62	0,52	0,44
Q	2,27	3,36	5,40	9,15	13,99	14,85	11,15	8,17	6,37	4,75	3,58	2,67	2,00	1,54	1,22	0,98	0,81	0,67	0,56	0,47	0,40

Figura 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 AIS del proyecto tipo, no se ocasionan efectos adversos para la salud, ya que son unos niveles de radiación muy inferiores a las 100  $\mu\text{T}$ ., 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 transcripción al ámbito nacional queda recogida 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 AIS 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  $\mu\text{T}$  para el campo magnético a la frecuencia de la red, 50Hz.

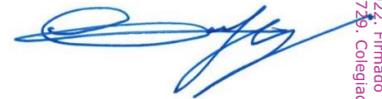
Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid. Visado. No 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: https://www.colim.es/Verificacion. Cód. Ver: 65020392. No Colegiado: 11729. Colegiado: DAVID GONZALEZ MARTINEZ

## 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. 202205384. Fecha Visado: 09/12/2022. Firmado Electrónicamente por el C.O.I.I.M. Para comprobar su validez: <https://www.colim.es/Verificacion>. Cod.Ver: 65020392. No. Colegiado: 1729. Colegiado: DAVID GONZALEZ JOUANNEAU