



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 220/30 KV PARA PLANTA INDUSTRIAL EN RIVABELLOSA

DOCUMENTO I: MEMORIA



Estudiante: García Quintas, Álvaro

Director/Directora: Valverde Santiago, Víctor

Curso: 2022-2023

Fecha: 04, 09, 2023

Resumen

En este documento se describe el diseño de una subestación de transformación de 220/30 kV para dar servicio a una planta de industrial de producción automovilística en Rivabellosa. Para ello, se especifican los elementos y equipos que componen la subestación, así como su ubicación en los planos.

La subestación cuenta con dos líneas de entrada y ocho de salida, siendo la configuración de 220 kV de barra simple en "H" y la de 30 kV de doble barra. Gracias a dichas configuraciones se consigue una alta fiabilidad de suministro. Además, cuenta con un edificio en el que se encuentran la sala de celdas de 30 kV, la sala de los transformadores de servicios auxiliares, la sala de control y protecciones y un almacén.

Los cálculos realizados justifican el diseño, la elección de los principales componentes y, además, aseguran la total seguridad de operación de la subestación de transformación.

Por último, se establecen las especificaciones que deben cumplir los participantes en la ejecución del proyecto en el pliego de condiciones y se detalla el presupuesto.

Palabras clave: Subestación de transformación, 220/30 kV, barra simple en "H", doble barra.

Abstract

In this document, the design of a 220/30 kV transformer substation to provide service to an automotive production plant in Rivabellosa is described. To achieve this, the elements and equipment that make up the substation are specified, as well as their location on the plans

The substation has two incoming lines and eight outgoing lines, with a single-bar 220 kV configuration in the "H" shape and a double-bar 30 kV configuration. These configurations ensure a high supply reliability. Additionally, there is a building that houses the 30 kV cell room, auxiliary service transformers room, control and protection room, and a warehouse.

The calculations performed justify the design, the choice of main components, and ensure the overall safety of the substation operation.

Finally, the specifications that participants in the project execution must meet are established in the bidding document, and the budget is detailed.

Key-words: Transformer substation, 220/30 kV, single-bar in "H", double-bar.

Laburpena

Dokumentu honetan 220/30 kV-ko transformazio-azpiestazio baten diseinua deskribatzen da, Rivabellosan automobil-ekoizpeneko industria-planta bati zerbitzua emateko. Horretarako, azpiestazioa osatzen duten elementuak eta ekipoak zehazten dira, baita planoetan duten kokapena ere.

Azpiestazioak bi sarrera-lerro eta zortzi irteera-lerro ditu. Konfigurazioa 220 kVkoa da, barra bakarrekoa, "H" tan, eta 30 kVkoa, barra bikoitzekoa. Konfigurazio horiei esker, hornidura-fidagarritasun handia lortzen da. Gainera, eraikin bat du, eta bertan daude 30 kV-ko gelaxka-gela, zerbitzu osagarrien transformadore-gela, kontrol- eta babes-gela eta biltegi bat.

Egindako kalkuluek diseinua eta osagai nagusien aukeraketa justifikatzen dute, eta, gainera, transformazio-azpiestazioaren eragiketa-segurtasun osoa ziurtatzen dute.

Azkenik, baldintza-agirian proiektua gauzatzeko parte-hartzaileek bete behar dituzten zehaztapenak ezartzen dira, eta aurrekontua zehazten da.

Hitz-gakoak: Transformazio-azpiestazio, 220/30 kV, barra bakarra H-tan, barra bikoitza.

Índice

1. Introducción y antecedentes	8
2. Objeto y Alcance.....	10
3. Situación y acceso.....	11
4. Hipótesis de partida	14
4.1 Especificaciones	14
4.1.1 Características de la red:	14
4.1.2 Intensidad de defecto a tierra:	14
4.1.3 Potencia de cortocircuito:	15
4.1.4 Tipo de subestación:	15
4.1.5 Terreno:	15
4.2 Especificaciones	15
4.2.1 Climatología:	15
4.2.3 Humedad:	15
4.2.4 Sismicidad:.....	16
4.3 Reglamento y normativa	16
5. Descripción general de la instalación.....	17
5.1. Sistema de 220 kV	17
5.2. Sistema de 30 kV	17
5.3. Transformadores de potencia	18
5.4. Reactancia de puesta a tierra	19
5.5. Servicios auxiliares	19
5.6. Sistema de control y comunicaciones	19
6. Descripción técnica de la instalación	21
6.1 Sistema de 220 kV	21
6.1.1 Diagrama unifilar de 220 kV	21

6.1.2 Transformadores de potencia.....	21
6.1.2.1 Características	21
6.1.2.2 Grupo de conexión	22
6.1.2.3 Protecciones	22
6.1.2.4 Transformadores de intensidad para protecciones en transformadores	22
6.1.3 Embarrados y conductores de 220 kV.....	23
6.1.4 Aisladores de 220 kV	25
6.1.5 Interruptores de 220 kV.....	26
6.1.6 Seccionadores de 220 kV	27
6.1.7 Transformadores de intensidad de 220 kV	28
6.1.8 Transformadores de tensión de 220 kV.....	29
6.1.9 Pararrayos autoválvula de 220 kV.....	30
6.2 Diagrama unifilar de 30 kV.....	31
6.2.1 Celdas de media tensión.....	31
6.2.1.1 Celdas de transformador	32
6.2.1.2 Celdas de línea	32
6.2.1.3 Celdas de medida	32
6.2.1.4 Celda de enlace de barras	33
6.2.1.5 Celdas de servicios auxiliares	33
6.2.2 Características de la aparamenta de las celdas	33
6.2.2.1 Interruptores.....	33
6.2.2.2 Seccionadores	34
6.2.2.3 Transformadores de intensidad	34
6.2.2.4 Transformadores de tensión.....	35
6.2.3 Embarrados de 30 kV	36
6.2.4 Aisladores de 30 kV	36
6.2.5 Pararrayos autoválvula de 30 kV.....	37
6.3 Reactancia de puesta a tierra	37
6.4 Sistema de control y protección	39

6.4.1 Protecciones del sistema de 220 kV.....	40
6.4.2 Protecciones del sistema de 30 kV	43
6.5 Servicios auxiliares	46
6.5.1 Servicios auxiliares de Corriente Alterna.....	46
6.5.2 Servicios auxiliares de Corriente Continua.....	47
6.5.3 Transformadores de los servicios auxiliares.....	47
6.5.4 Armarios de los servicios auxiliares.....	48
6.6 Red de tierras	48
6.7 Instalaciones complementarias	49
6.7.1 Alumbrado exterior e interior	49
6.7.2 Climatización y ventilación	49
6.7.3 Sistema de protección contra incendios (PCI).....	50
6.7.4 Sistema de protección contra intrusismo	50
6.8 Obra civil.....	50
6.8.1 Acondicionamiento del terreno.....	50
6.8.2 Viales Interiores	51
6.8.3 Cerramiento	51
6.8.4 Sistema de drenaje	51
6.8.5 Cimentaciones y bancadas de transformadores.....	52
6.8.6 Edificio prefabricado.....	52
6.8.6.1 Sala de celdas de Media Tensión.....	53
6.8.6.2 Sala de transformadores de servicios auxiliares.....	53
6.8.6.3 Sala de control y comunicaciones	53
6.8.7 Estructura metálica	54
7. Plan de proyecto y planificación: Diagrama de Gantt.....	55

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Esquema del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)</i>	8
<i>Figura 2. Ubicación de la planta de producción</i>	11
<i>Figura 3. Calificación del suelo de las parcelas</i>	12
<i>Figura 4. Accesos al Polígono Industrial La Coba.....</i>	12
<i>Figura 5. Ubicación de la subestación dentro de la planta y ubicación de las líneas eléctricas.....</i>	13
<i>Figura 6. Mapa de peligrosidad sísmica de España.....</i>	16

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Transformadores de potencia. Características técnicas principales.</i>	22
<i>Tabla 2. Transformadores de intensidad del transformador de potencia en el lado de 220 kV. Características técnicas principales.....</i>	23
<i>Tabla 3. Transformadores de intensidad del transformador de potencia en el lado de 30 kV. Características técnicas principales.....</i>	23
<i>Tabla 4. Embarrados de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	24
<i>Tabla 5. Cables de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	25
<i>Tabla 6. Aisladores de 220 kV. Características técnicas principales.....</i>	26
<i>Tabla 7. Interruptores de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	26
<i>Tabla 8. Seccionadores de 220 kV. Características técnicas principales.....</i>	27
<i>Tabla 9. Transformadores de intensidad de línea de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	28
<i>Tabla 10. Transformadores de intensidad de posiciones de transformadores de 220 kV. Características técnicas principales.....</i>	29
<i>Tabla 11. Transformadores de tensión de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	30
<i>Tabla 12. Pararrayos autoválvula de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	31
<i>Tabla 13. Celdas de media tensión. Características técnicas principales.</i>	32
<i>Tabla 14. Interruptores de 30 kV. Características técnicas principales.</i>	33
<i>Tabla 15. Seccionadores de 30 kV. Características técnicas principales.....</i>	34

<i>Tabla 16. Transformadores de intensidad para celdas de transformador. Características técnicas principales.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 17. Transformadores de intensidad para celdas de línea. Características técnicas principales.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 18. Transformadores de intensidad para celda de enlace de barras. Características técnicas principales.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 19. Transformadores de intensidad para celdas de servicios auxiliares. Características técnicas principales.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 20. Transformadores de tensión para celdas de medida. Características técnicas principales.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 21. Embarrados de 30 kV. Características técnicas principales.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 22. Aisladores de 30 kV. Características técnicas principales.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 23. Pararrayos de 30 kV. Características técnicas principales.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 24. Reactancias de puesta a tierra. Características técnicas principales.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 25. Transformadores de intensidad de la reactancia de puesta a tierra. Características técnicas principales.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 26. Transformadores de Servicios Auxiliares. Características técnicas principales.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 27. Diagrama de Gantt.</i>	<i>55</i>

1. Introducción y antecedentes

El sistema eléctrico de potencia (SEP) es el conjunto de infraestructuras, equipos, dispositivos y sistemas de control que permiten la generación, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica a gran escala. Es decir, es el encargado de llevar la electricidad desde las centrales eléctricas hasta los hogares, empresas e industrias de todo el mundo.

El SEP se divide en tres partes principales: la generación de energía eléctrica, la transmisión de energía eléctrica y la distribución de energía eléctrica. Cada una de estas partes está formada por una serie de equipos y sistemas que trabajan juntos para garantizar un suministro de electricidad seguro y eficiente.

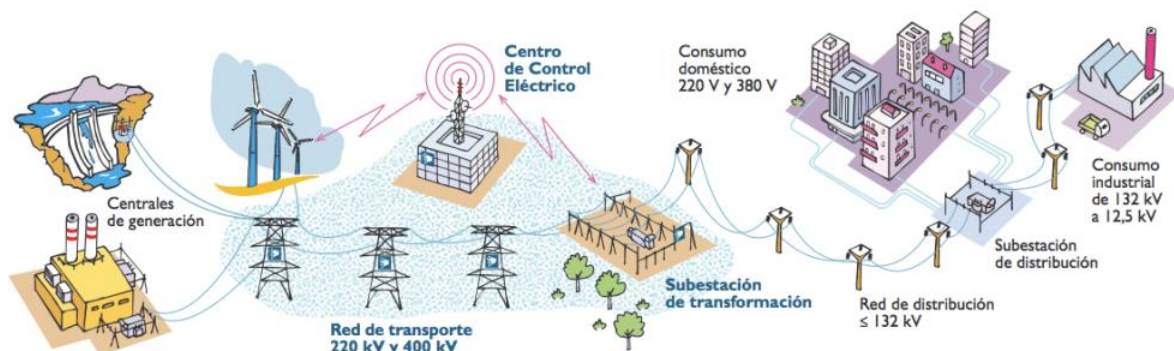


Figura 1. Esquema del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)

La generación de energía eléctrica se lleva a cabo en centrales eléctricas que pueden ser de diferentes tipos, como centrales hidroeléctricas, térmicas, nucleares, solares o eólicas. Estas centrales convierten diferentes tipos de energía en energía eléctrica, que se distribuye a través del sistema eléctrico de potencia. Las centrales de generación eléctrica proporcionan tensiones entre 3 kV y 27 kV.

La transmisión de energía eléctrica es el proceso de llevar la electricidad desde las centrales eléctricas hasta los centros de distribución regionales. Para hacer esto, se utilizan líneas de transmisión de alta tensión que pueden transportar grandes cantidades de energía eléctrica a través de grandes distancias. La tensión obtenida en las centrales de generación es elevada a niveles de tensión entre 220 kV y 400 kV, con el objetivo de minimizar pérdidas de energía en el transporte. Las líneas de transmisión están soportadas por torres o postes y están aisladas para evitar fugas de corriente y otros problemas.

Una vez que la energía eléctrica se ha transmitido a través de las líneas de transmisión, se distribuye a través del sistema de distribución eléctrica. Este sistema está formado por subestaciones, transformadores y líneas de distribución que llevan la electricidad a hogares,

empresas e industrias. Las subestaciones y transformadores reducen la tensión de la electricidad a niveles seguros y manejables de entre 132 kV y 1 kV, mientras que las líneas de distribución transportan la electricidad a través de las calles y carreteras.

El SEP también incluye sistemas de control y monitoreo que supervisan el flujo de energía eléctrica en todo momento. Estos sistemas están diseñados para detectar fallos y problemas en el sistema eléctrico de potencia y activar medidas de protección para evitar daños en los equipos y asegurar un suministro de energía eléctrica constante y fiable.

Las subestaciones de transformación son instalaciones eléctricas que se encargan de transformar la energía eléctrica. Las centrales elevadoras se utilizan para elevar el nivel de tensión de la energía eléctrica generada en las centrales antes de transportarla a una larga distancia. Las centrales reductoras se encargan de reducir el nivel de tensión de la energía transportada para que pueda ser distribuida. Además, en algunas subestaciones se realizan otros procesos como la protección, el control y la regulación de la energía eléctrica, y pueden tener diversas configuraciones y tamaños según las necesidades de cada zona de suministro. Según las tensiones eléctricas presentes en las subestaciones, éstas se clasifican como de primera categoría, para tensiones mayores de 66 kV, de segunda categoría, para tensiones entre 66 kV y 30 kV y de tercera categoría, para tensiones menores de 30 kV y mayores de 1 kV. Otra clasificación de las subestaciones hace referencia al tipo constructivo de las mismas, pudiendo ser de intemperie o de interior. Las subestaciones de transformación son una pieza clave en la infraestructura eléctrica de cualquier país y son fundamentales para el suministro eléctrico a nivel local y regional.

El proyecto de construcción de una planta de fabricación de automóviles en Rivabellosa hace necesaria la implantación de una subestación de transformación capaz de abastecer las necesidades de la planta. Las necesidades energéticas de la planta han sido estimadas en 30 MW.

Se ha considerado la proximidad a la red de 220 kV existente en un lateral de la parcela de la planta para la ubicación de la subestación. Esta cercanía a la red de transporte hace que la longitud de las derivaciones sea reducida, mejorando así, la viabilidad económica del proyecto. Con el fin de garantizar la fiabilidad de suministro se ha optado por la instalación de dos transformadores de potencia. Además, dado que la planta de producción va a contar con las últimas tecnologías del sector, la subestación también debe contar con equipos actuales que se adecuen a los requerimientos de la planta.

2. Objeto y Alcance

El objetivo del presente anteproyecto es describir y definir las diversas partes de la subestación transformadora de 220/30 kV. Para ello se van a especificar los equipos, instalaciones y soluciones técnicas más adecuadas para garantizar un suministro fiable que satisfaga las necesidades de consumo de todos los edificios que componen la planta industrial.

Con el fin de definir los sistemas de 220 kV y 30 kV se van a especificar los siguientes elementos componentes:

- Transformadores de potencia.
- Transformadores de servicios auxiliares.
- Embarrados, conductores y aisladores.
- Elementos de maniobra.
- Sistemas de protección y control.
- Edificio.
- Sistemas auxiliares de alumbrado y emergencias.

3. Situación y acceso

La empresa automovilística solicitante del proyecto ha decidido asentar su nueva planta de producción en Rivabellosa.

Rivabellosa es una localidad española situada en la provincia de Álava, en la comunidad autónoma del País Vasco. Se encuentra a unos 7 km al noreste de la ciudad de Miranda de Ebro, en la comarca de la Rioja Alavesa. Esta localidad se encuentra en una zona montañosa, rodeada de colinas y montes de escasa altitud. La mayoría de su territorio es de origen sedimentario, con suelos de arcilla, arena y grava. Su clima es mediterráneo, con inviernos fríos y veranos cálidos. Rivabellosa cuenta con una población de alrededor de 1.000 habitantes y es conocida por su importante actividad industrial, en la que destacan el sector de la automoción y la producción de componentes para la misma.

Las parcelas seleccionadas se encuentran en el Polígono Industrial La Coba.



Figura 2. Ubicación de la planta de producción

El terreno tiene la calificación de urbano y urbanizable, tal y como se indica en el Plan General de Ordenación Urbana del ayuntamiento de Rivera Baja.

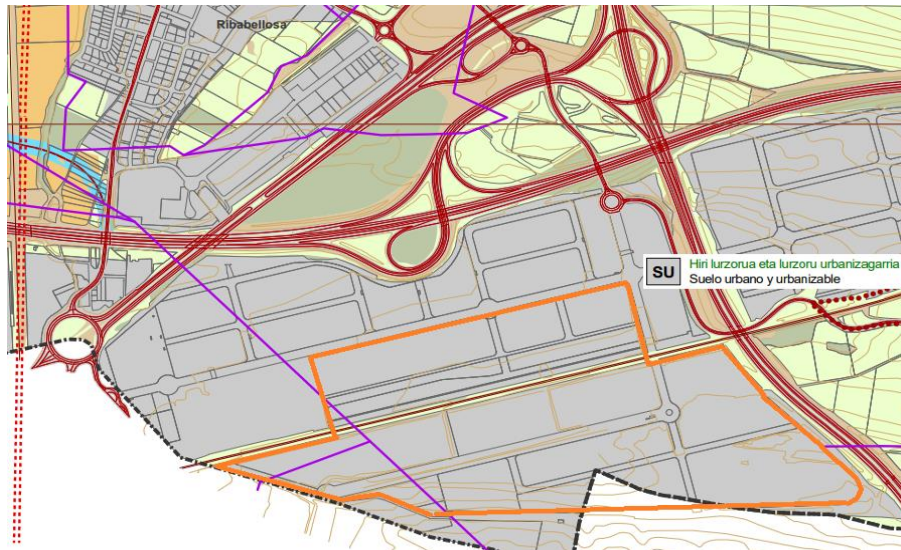


Figura 3. Calificación del suelo de las parcelas

Los accesos al polígono industrial son sencillos tanto para la construcción de la subestación como de la planta. El acceso al polígono se realiza por la A-1, por la N-1 o por la A-3312, además, tanto la autopista AP-1 como la AP-68 tienen salidas cercanas a la zona.

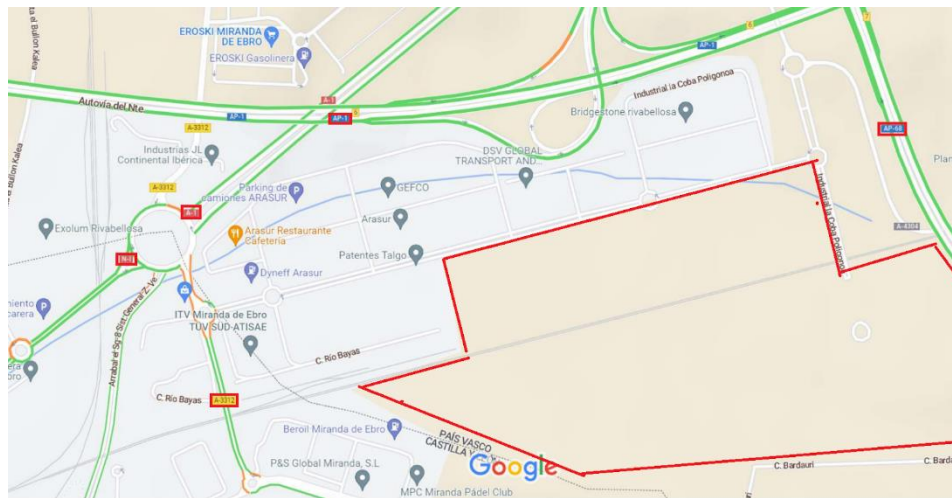


Figura 4. Accesos al Polígono Industrial La Coba

La ubicación exacta de la subestación dentro de la parcela se sitúa en la zona suroeste de la misma, debido a que es la zona más cercana a las líneas de enganche de 220 kV, con el objetivo de minimizar los costes del enganche y su dificultad.



Figura 5. Ubicación de la subestación dentro de la planta y ubicación de las líneas eléctricas

4. Hipótesis de partida

4.1 Especificaciones

El proyecto parte de las especificaciones de requerimientos eléctricos aportadas por la empresa automovilística cliente. La empresa prevé una demanda de 30 MW con la que se ha de satisfacer las necesidades de los edificios proyectados inicialmente incluyendo oficinas, líneas de producción, montaje, pintura o servicios, así como futuras ampliaciones de estas. Por tanto, la subestación de transformación está sobredimensionada con el fin de atender el abastecimiento con completas garantías.

Las líneas eléctricas a las que se realiza el enganche son de 220 kV. En la subestación se realiza la transformación desde esa tensión de 220 kV a los 30 kV en los que se distribuye a cada centro de transformación de cada nave o edificio. Ambos valores de tensión (220 kV y 30 kV) se definen como valores de Alta Tensión. Sin embargo, para una mejor comprensión del presente proyecto se va a denominar 220 kV como Alta Tensión y 30 kV como Media Tensión, de esta forma se distingue más claramente la tensión tomada de la línea y la tensión transformada.

Los requerimientos del cliente son los siguientes:

4.1.1 Características de la red:

- Tensión nominal: 220 kV
- Tensión máxima: 245 kV
- Frecuencia: 50 Hz
- Distribución a la zona de consumo: 30 kV

4.1.2 Intensidad de defecto a tierra:

La compañía de la red eléctrica indica para la zona en la que se va a situar la subestación de transformación, unos valores de intensidad de defecto a tierra de 11 kA para el caso de falta trifásica a tierra y de 8 kA para el caso de falta monofásica a tierra.

4.1.3 Potencia de cortocircuito:

La compañía de la red eléctrica indica para la zona en la que se va a situar la subestación de transformación, unos valores de potencia de cortocircuito trifásico de 4000 MVA y de potencia de cortocircuito monofásico de 3000 MVA.

4.1.4 Tipo de subestación:

La estación objeto de este proyecto se trata de una subestación transformadora de distribución en la que la entrada de la línea es de 220 kV y la tensión de salida, con la que se alimentan los diferentes centros de transformación de cada nave, es de 30 kV.

4.1.5 Terreno:

A la hora del cálculo de la red de puesta a tierra la resistividad del terreno es un parámetro esencial. Para el terreno en el que se sitúa la subestación los estudios geológicos revelan que su composición es básicamente de arena arcillosa con una resistividad de 100 Ω .m. Este valor encaja en lo estipulado en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13, apartado 4.1, del Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo.

4.2 Especificaciones

4.2.1 Climatología:

El clima de Rivabellosa, al igual que el de toda la provincia de Álava es de tipo mediterráneo, aunque con ciertas influencias continentales debido a su localización interior. Los inviernos son fríos y húmedos, con temperaturas medias de entre 6°C y 8°C y con abundantes lluvias. Los dos meses más fríos son diciembre y enero, con mínimas por debajo de los 0°C. Los veranos son cálidos y secos, con temperaturas medias de entre 18°C y 25°C y con máximas que pueden superar los 30°C en julio y agosto. En cuanto a la primavera y el otoño, son estaciones de transición en las que las temperaturas son más suaves y moderadas y con precipitaciones irregulares.

4.2.3 Humedad:

La humedad relativa en Rivabellosa varía a lo largo del año y se ve influenciada por la estacionalidad y las condiciones meteorológicas locales. En general, durante el verano, la humedad relativa suele ser baja, con valores que pueden caer por debajo del 40%. Durante los meses de invierno, la humedad relativa es más alta, con valores que pueden superar el

80%. En primavera y otoño, la humedad relativa en Rivabellosa suele estar en valores que oscilan entre el 50% y el 70%. Estos valores pueden variar dependiendo de la presencia de lluvias, la dirección de los vientos y otros factores climáticos locales.

4.2.4 Sismicidad:

La zona geográfica de implantación de la subestación es una zona de baja a moderada actividad sísmica, siendo Álava una de las provincias con menor actividad sísmica de la Península Ibérica. La sismicidad en la zona está relacionada con la presencia de la Cordillera Cantábrica al norte y los Pirineos al este. Estas cadenas montañosas generan tensiones en la corteza terrestre que pueden liberarse en forma de terremotos. En la Figura 6 se puede apreciar el peligro sísmico en España según el Instituto Geográfico Nacional (IGN).



Figura 6. Mapa de peligrosidad sísmica de España

4.3 Reglamento y normativa

Para la elaboración de este proyecto se han tenido en cuenta las condiciones establecidas en el Real Decreto 337/2014 por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión (2014) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23 (BOE 09/06/14). También, se atiende al Real Decreto 542/2020, de 26 de mayo, por el que se modifican y derogan disposiciones en materia de calidad y seguridad industrial (BOE 20/06/20). Así mismo, se cumple con todas las normas UNE indicadas en el mismo decreto para cada elemento componente de la subestación.

5. Descripción general de la instalación

5.1. Sistema de 220 kV

En el lado de Alta Tensión, el esquema de conexión seleccionado es el de barra simple en H. Se ha escogido esta configuración debido a su disposición altamente flexible y fiable, que permite asegurar la continuidad del servicio. Es un tipo de esquema muy utilizado en subestaciones de distribución y suministro de energía de plantas industriales y pequeñas redes regionales.

El comportamiento que presenta la barra simple en H es:

- Falta en barra: supone la parada de la instalación.
- Falta en una línea: se origina un cero en el transformador asociado.

La realización del mantenimiento se realiza por alas, parando el funcionamiento del ala Línea-Transformador que se quiera mantener.

Al tratarse de una instalación a la intemperie, el medio aislante es el aire. Como la subestación se encuentra dentro de la parcela de la planta industrial su impacto visual es despreciable y está protegida por un vallado de al menos 2,20 m con señalización de advertencia.

5.2. Sistema de 30 kV

En el lado de Media Tensión, el esquema de conexión seleccionado es el de doble barra. Es una configuración empleada en aplicaciones en las que se desea garantizar la seguridad y continuidad de servicio. Existe una unión entre barras que se realiza mediante un módulo de enlace y en caso de avería en una barra se puede trabajar con la otra, garantizando así el servicio.

La instalación de interiores de tipo blindada, conformada por celdas blindadas con envolvente metálica y aisladas en SF6 (hexafluoruro de azufre), que garantiza todas las funciones de corte y aislamiento. Son celdas unitarias que se instalan modularmente, en un espacio mucho menor que las de aire. Además, constan de medios de control para su actuación mediante equipos informáticos a distancia. Esta instalación se ubica en el interior de un edificio prefabricado en el que se encuentran los siguientes elementos:

- Dos celdas de transformador.

- Ocho celdas de línea.
- Una celda de enlace de barras.
- Dos celdas de medida.
- Dos celdas de servicios auxiliares.

Para las dos posiciones de salida de los transformadores a 30 kV se equipan aisladores rígidos de sustentación del embarrado, pararrayos y reactancia de limitación de corriente de puesta a tierra trifásica.

5.3. Transformadores de potencia

La subestación de transformación consta de transformadores encargados de la reducción de tensión de 220 kV a 30 kV. Gracias a estos dos transformadores y a las dos alas o líneas-transformador, de los que consta la parte de alta tensión de la subestación, se garantiza el servicio en todo momento. Cada transformador está dimensionado de forma que una sola línea de la parte de alta tensión sea capaz de dar la potencia requerida por toda la subestación. Es por ello, que el funcionamiento normal de la subestación es con ambas líneas en funcionamiento, un transformador en funcionamiento y el otro parado. El transformador de potencia que trabaja se puede alternar cuando se desee realizar las labores de mantenimiento.

La potencia requerida estimada por el fabricante automovilístico para la planta es de 30 MW. Por ello los transformadores seleccionados son de 40 MVA. Dichos transformadores son de tipo ONAF, es decir, los arrollamientos y el núcleo están sumergidos en aceite mineral. El aceite circula por los radiadores para su enfriamiento por convección, aunque dichos radiadores cuentan con un ventilador para que en caso de elevarse la temperatura por encima de un límite establecido, comiencen a funcionar y se facilite mediante la convección forzada el enfriamiento del aceite.

La relación de transformación de los transformadores es de 220/30 kV y su grupo de conexión es YNd11. El transformador cuenta con puesta a tierra directa en el neutro de la conexión en estrella del primario y puesta a tierra mediante reactancia trifásica para la conexión triángulo del secundario.

5.4. Reactancia de puesta a tierra

Los transformadores de potencia se ponen a tierra mediante reactancias trifásicas conectadas en los secundarios. De esta forma, se crea un neutro artificial para la puesta a tierra en un punto en el que no se disponía de neutro. Su mayor ventaja es la minimización de las sobretensiones y corrientes de falta a tierra. Al colocar la reactancia, la impedancia de camino a tierra es mayor, reduciendo el valor de la corriente a tierra. La reducción de la corriente de falta, es por tanto menor que en el caso de puesta a tierra mediante resistencia, por ejemplo.

El grupo de conexión de los transformadores de potencia (YNd11) con reactancia trifásica en el secundario es una configuración típica de subestaciones reductoras como la del presente proyecto.

Las reactancias trifásicas seleccionadas son de 30 kV y con grupo de conexión en ZIG-ZAG. La refrigeración es de tipo ONAN, es decir, con aceite refrigerado naturalmente.

5.5. Servicios auxiliares

Los servicios eléctricos auxiliares de una planta de producción son aquellos sistemas eléctricos que proporcionan energía eléctrica a equipos y sistemas que son esenciales para el funcionamiento de la planta, pero que no están directamente relacionados con la producción de bienes o servicios. Estos servicios eléctricos auxiliares pueden incluir sistemas de iluminación, sistemas de climatización y ventilación, sistemas de control y automatización, sistemas de seguridad, sistemas de comunicaciones y sistemas de extinción de incendios, entre otros.

La disponibilidad y confiabilidad de estos sistemas es crucial para el correcto funcionamiento de la planta, ya que cualquier falta en estos sistemas puede afectar la calidad del producto, la seguridad de los trabajadores ó la eficiencia de la producción.

5.6. Sistema de control y comunicaciones

Con el fin de tener control de todos los equipos de la subestación se ha optado por la instalación del Sistema Integrado de Protección y Control (SIPCO) mediante fibra óptica. Este sistema se emplea para controlar, monitorear y proteger los equipos de la subestación, utilizando tecnología de comunicación en tiempo real para transmitir información desde la subestación hasta el centro de control de la red eléctrica. El sistema SIPCO permite la

supervisión y operación de forma remota de los equipos, como interruptores, transformadores, medidores y otros dispositivos de protección y control. Además, también puede proporcionar alarmas y alertas en tiempo real para indicar cualquier problema o anomalía en la subestación, lo que permite a los operadores tomar medidas inmediatas para proteger la red eléctrica.

Por todo ello, el sistema de comunicaciones SIPCO es una parte fundamental que permite una gestión eficiente y segura de la subestación de transformación.

6. Descripción técnica de la instalación

Teniendo en cuenta la normativa especificada en el apartado 4.3 del presente documento, se va a describir técnicamente cada componente de la subestación de transformación.

6.1 Sistema de 220 kV

6.1.1 Diagrama unifilar de 220 kV

Tal y como se ha descrito en el apartado 5.1, el sistema de 220 kV se configura con esquema de conexión de barra simple en H, con conexión a las dos líneas de transporte cercanas a la ubicación de la parcela.

La subestación consta de cuatro posiciones:

- Dos posiciones de línea.
- Dos posiciones de transformador.

Cada una de las dos posiciones de línea cuentan con un seccionador de aislamiento de línea con puesta a tierra, un seccionador de aislamiento de barra, un interruptor tripolar, un conjunto de tres pararrayos, tres transformadores de tensión capacitivos y tres transformadores de intensidad de doble devanado para protección y medida (uno por cada línea).

Las dos posiciones de transformadores cuentan con un seccionador de aislamiento de la barra, un interruptor tripolar, un conjunto de tres pararrayos y tres transformadores de intensidad de doble devanado para protección y medida.

6.1.2 Transformadores de potencia

6.1.2.1 Características

Las características principales de los dos transformadores de potencia escogidos para la transformación de 220 kV a 30 kV son las siguientes:

Transformadores de potencia	
Potencia nominal	40 MVA
Tensión primaria	220 kV
Tensión secundaria	30 kV
Refrigeración	ONAF
Grupo de conexión	YNd11
Número de posiciones del regulador de tomas	19

Tabla 1. Transformadores de potencia. Características técnicas principales.

6.1.2.2 Grupo de conexión

El grupo de conexión seleccionado para los dos transformadores de potencia que componen la subestación es el YNd11. El primario tiene conexión en estrella con el neutro puesto a tierra y el secundario en triángulo. El 11 indica el índice horario, que hace referencia a la desviación de fases entre el primario y el secundario.

6.1.2.3 Protecciones

Los transformadores de potencia equipan las siguientes protecciones:

- Protecciones 26-1 y 26-2: Dispositivos térmicos.
- Protecciones 63B: Relés Buchholz de los transformadores.
- Protecciones 63J: Relés Jansen de los reguladores.
- Protecciones 63NT y 63NR: Relés de nivel en la cuba del transformador y del regulador.
- Protección 63L: Relé liberador de presión.
- Protección 84: Mecanismo de accionamiento del regulador de tomas.
- Protección 90 y 70: Dispositivo de regulación.

Las protecciones de los transformadores de potencia se definen en el apartado 6.3.1 Protecciones del sistema de 220 kV del presente documento.

6.1.2.4 Transformadores de intensidad para protecciones en transformadores

Para alimentar la protección diferencial trifásica (87), la protección contra sobreintensidad (51), el automatismo reenganchador (79) y los equipos de medida, se disponen de seis (6) transformadores de intensidad de tipo “bushing” en el lado de 220 kV por cada transformador de potencia. Se instalan dos (2) en cada fase, uno para protección y otro para medida. Estos transformadores de intensidad se deben instalar con las siguientes características:

Transformadores de intensidad del transformador de potencia en el lado de 220 kV	
Tensión máxima de servicio	300 kV
Relación de transformación	300/5 A
Potencia y clases de precisión: - Transformador de medida - Transformador de protección	20 VA, Cl. 0,5 50 VA, 5P20
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	460 kV
Tensión de ensayo a impulso	1050 kVp
Tensión de ensayo a maniobra	850 kVp
Tipología	“Bushing”
Servicio	Intemperie

Tabla 2. Transformadores de intensidad del transformador de potencia en el lado de 220 kV.
 Características técnicas principales.

Para alimentar la protección diferencial trifásica (87) y los equipos de medida, en el lado de 30 kV de los transformadores se dispone de seis (6) transformadores de intensidad de tipo “bushing” en cada transformador. Se instalan dos (2) en cada fase, uno para protección y otro para medida. Estos transformadores de intensidad se deben instalar con las siguientes características:

Transformadores de intensidad del transformador de potencia en el lado de 30 kV	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación	1200 / 5 A
Potencia y clases de precisión: - Transformador de medida y protección - Transformador de protección	20 VA, Cl. 0,5 50 VA, 5P20
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	70 kV
Tensión de ensayo a impulso	170 kVp
Tipología	“Bushing”
Servicio	Intemperie

Tabla 3. Transformadores de intensidad del transformador de potencia en el lado de 30 kV.
 Características técnicas principales.

6.1.3 Embarrados y conductores de 220 kV

Los embarrados son sistemas de barras conductoras que se utilizan para interconectar los diferentes equipos eléctricos de la subestación, tales como transformadores, interruptores,

seccionadores, etc. Con el fin de realizar la selección de los embarrados principales y auxiliares, se ha tenido en cuenta el criterio de que las temperaturas máximas previstas no provoquen calentamientos mayores a 40°C por encima de la temperatura ambiente. Además, deben soportar, sin que se produzcan deformaciones permanentes, los esfuerzos térmicos y electrodinámicos de las corrientes de cortocircuito previstas.

Para las barras principales del sistema de 220 kV se han seleccionado embarrados tubulares apoyados.

Para la conexión de seccionadores de aislamiento con barras principales y de las líneas, además del resto de conexiones entre la aparatenta, se ha seleccionado el uso de cable y de conexiones elásticas en los casos necesarios.

El embarrado de 220 kV lo forman perfiles de aleación de aluminio de 150/125 mm de diámetro, equivalente a 5.400 mm² de sección nominal, con una corriente admitida de 3660

A. Las principales características de estas barras son:

Embarrados de 220 kV	
Diámetro exterior	150 mm
Diámetro interior	125 mm
Espesor	13 mm
Sección	5.400 mm ²
Peso	14.579 g/m
Intensidad admitida desde 65°C	3.660 A
Intensidad admitida desde 85°C	4.838 A
Momento de inercia	1.286,63 cm ⁴
Momento de elasticidad	171.55 cm ³
Conductividad térmica	201 W/m·K
Conductividad eléctrica a 20°C	53 % IACS
Resistividad eléctrica a 20°C	0,0325 μΩ·m
Coeficiente de temperatura de resistencia eléctrica a 20°C	0,0035 K ⁻¹

Tabla 4. Embarrados de 220 kV. Características técnicas principales.

La conexión de seccionadores de aislamiento con barras principales y de las líneas, y del resto de conexiones entre la aparatenta se realiza con cable desnudo de aluminio con alma de acero con designación 483-AL1/33-ST1A (LA 510 RAIL en designación antigua). Las características mas relevantes de este conductor aparecen en la Tabla 5.

Cables de 220 kV	
Designación	483-AL1/33-ST1A
Designación antigua	LA 510 RAIL
Secciones: - AL1 - ST1A - Total	483,4 mm ² 33,4 mm ² 516,8 mm ²
Número de alambres: - AL1 - ST1A	45 7
Diámetro de los alambres: - AL1 - ST1A	3,70 mm 2,47 mm
Diámetro: - Alma - Conductor	7,39 mm 29,59 mm
Masa lineal	1600 Kg/km
Carga de rotura	11580 daN
Resistencia en cortocircuito a 20°C	0,0599 Ω/km
Módulo de elasticidad	6600 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	20,9 daN/mm ²
Densidad de corriente	1,70 A/mm ²
Intensidad de corriente	882 A

Tabla 5. Cables de 220 kV. Características técnicas principales.

6.1.4 Aisladores de 220 kV

Los aisladores tienen la función de proporcionar un medio de soporte y aislamiento eléctrico entre los conductores eléctricos y las estructuras de la subestación. Se colocan entre los conductores eléctricos y las estructuras metálicas de la subestación, evitando que la corriente eléctrica fluya a través de la estructura y a tierra. Además, deben ser capaces de soportar las cargas eléctricas y mecánicas que se producen en la subestación, incluyendo las fluctuaciones de tensión, las cargas de viento y las cargas de nieve. También deben ser capaces de resistir los efectos corrosivos del medio ambiente, como la lluvia, la nieve y el viento.

Los aisladores del lado de Alta Tensión deben soportar los embarrados rígidos que forman esta instalación. Para ello, se emplean aisladores C10-1050 con las características:

Aisladores de 220 kV	
Tensión nominal	245 kV
Tensión soportada al choque	1050 kV
Tensión soportada al choque de maniobra bajo lluvia	750 kV
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz	460 kV
Mínima carga de rotura a flexión	10.000 N
Mínima carga de rotura a torsión	4.000 N
Altura del aislador montado	2.300±3,5 mm

Tabla 6. Aisladores de 220 kV. Características técnicas principales.

Las unidades empleadas de estos aisladores es de un total de quince (15), correspondiendo nueve (9) al embarrado principal y seis (6) al embarrado secundario.

6.1.5 Interruptores de 220 kV

Los interruptores son dispositivos electromecánicos que se utilizan para conectar o desconectar circuitos eléctricos de alta tensión en la subestación. Permiten la transferencia de energía eléctrica entre los diferentes circuitos y equipos, así como la desconexión de los mismos para mantenimiento o reparación.

Los interruptores deben ser automáticos, tripolares de SF6, de servicio a intemperie y con las siguientes características:

Interruptores de 220 kV	
Tensión nominal	252 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Corriente de servicio continua	4.000 A
Corriente de apertura de cortocircuito nominal	50 kA
Corriente de cierre	125 kA
Resistencia a corriente pico nominal	125 kA
Tensión admisible de frecuencia industrial momentánea	460 kV
Tensión admisible de impulso de rayo	1.050 kV
Duración nominal de la corriente de cortocircuito	3s
Tipo de mecanismo	Por resorte
Tipo de reenganche	Trifásico

Tabla 7. Interruptores de 220 kV. Características técnicas principales.

Las unidades de interruptores tripolares empleadas son de un total de cuatro (4).

Los interruptores del sistema de Alta Tensión están equipados con la Protección 3, relé de comprobación o bloqueo. Opera respondiendo a la posición de unas condiciones determinadas, permitiendo que el equipo siga funcionando, provocando que se detenga o proporcionando comprobación de la posición y condiciones del interruptor.

6.1.6 Seccionadores de 220 kV

Los seccionadores son dispositivos electromecánicos que se utilizan para aislar y separar secciones de un circuito eléctrico.

En este proyecto se emplean seccionadores de tipo tripolar, diseñados para su uso en intemperie. Están compuestos por tres polos independientes, que se montan sobre una estructura común. Cada fase del seccionador está formada por tres columnas de aisladores, de las cuales las dos de los extremos son fijas y la central es giratoria. Esta última columna central giratoria es la que lleva las cuchillas fijadas en su parte superior y las conecta y desconecta al girar.

El accionamiento de los seccionadores es de tipo eléctrico y se realiza simultáneamente en las tres columnas rotativas, a través de un mando único, telecontrolado. Para garantizar una maniobra de cierre y apertura sincronizada en las tres fases, se utiliza un sistema articulado de tirantes de tubo ajustados.

Los seccionadores de las posiciones de línea que se encuentran antes de los interruptores, además, cuentan con cuchillas de puesta a tierra accionadas con mando independiente y con enclavamiento mecánico que impide la realización de maniobras en caso de que las cuchillas principales se encuentren cerradas.

A continuación, se definen las características técnicas necesarias para los seccionadores:

Seccionadores de 220 kV	
Tensión nominal	245 kV
Intensidad nominal	2.750 A
Tensión de ensayo a tierra y entre los polos a frecuencia industrial bajo lluvia	460 kV
Tensión de ensayo a tierra y entre los polos a impulso	1.050 kV
Intensidad de corta duración (valor eficaz)	40 kA
Valor cresta de la intensidad admisible	100 kA

Tabla 8. Seccionadores de 220 kV. Características técnicas principales

Las unidades de seccionadores empleadas son de un total de dos (2) seccionadores tripolares con puesta a tierra y cuatro (4) sin puesta a tierra.

6.1.7 Transformadores de intensidad de 220 kV

Los transformadores de intensidad adaptan los valores de la corriente eléctrica a valores más bajos y seguros, aptos para los dispositivos de medición y protección. Son dispositivos que se conectan en serie al sistema, pasando toda la intensidad por el primario.

Con tales efectos, se disponen de transformadores de corriente tanto en las posiciones de línea como en las de transformadores. Los transformadores de los transformadores ya han sido descritos en el apartado 6.3.3, por lo que en este apartado se describen solo los de las posiciones de línea y de posiciones de transformadores.

Los transformadores de posiciones de línea tienen las siguientes características:

Transformadores de intensidad de línea de 220 kV	
Tensión máxima de servicio	300 kV
Relación de transformación	600/5-5-5 A
Potencia y clases de precisión: - Devanado de medida - Devanado de protección - Devanado de protección	30 VA, Cl. 0,5 50 VA, 5P20 50 VA, 5P20
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	460 kV
Tensión de ensayo a impulso	1.050 kVp
Tensión de ensayo a maniobra	850 kVp
Línea de fuga estándar	7.500 mm
Dimensiones	450x3.070x3.455 mm ³
Peso	600 kg
Aislamiento	Papel y aceite
Servicio	Intemperie

Tabla 9. Transformadores de intensidad de línea de 220 kV. Características técnicas principales.

Para las posiciones de línea se disponen de tres (3) transformadores de intensidad por cada línea, es decir, uno por cada fase, lo que resulta un total de seis (6) transformadores.

Los transformadores de posiciones de transformadores tienen las siguientes características:

Transformadores de intensidad de posiciones de transformadores de 220 kV	
Tensión máxima de servicio	300 kV
Relación de transformación	300/5-5-5 A
Potencia y clases de precisión: - Devanado de medida - Devanado de protección - Devanado de protección	30 VA, Cl. 0,5 50 VA, 5P20 50 VA, 5P20
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	460 kV
Tensión de ensayo a impulso	1.050 kVp
Tensión de ensayo a maniobra	850 kVp
Línea de fuga estándar	7.500 mm
Dimensiones	450x3.070x3.455 mm ³
Peso	600 kg
Aislamiento	Papel y aceite
Servicio	Intemperie

*Tabla 10. Transformadores de intensidad de posiciones de transformadores de 220 kV.
Características técnicas principales.*

Para las posiciones de transformadores se disponen de tres (3) transformadores de intensidad por cada línea, es decir, uno por cada fase, lo que resulta un total de seis (6) transformadores.

6.1.8 Transformadores de tensión de 220 kV

Los transformadores de tensión adaptan los valores de la tensión a valores más bajos y seguros, aptos para los dispositivos de medición y protección. Son dispositivos que se conectan en paralelo al sistema. Las principales tipologías de transformadores de tensión existentes son inductivos y capacitivos. Los inductivos transforman los niveles de tensión mediante un núcleo magnético y arrollamientos en primario y secundario. Su principal desventaja reside en la necesidad de mayor número de espiras para voltajes mayores, lo que encarece su fabricación. En cambio, los capacitivos transforman la tensión mediante una columna de condensadores (o divisor de tensiones capacitivo) con un transformador de tensión inductivo conectado en la toma de tensión intermedia. Esta tecnología tiene la ventaja de presentar un menor coste de producción y de telecomunicar subestaciones entre sí utilizando los conductores de alta tensión como portadores de señales de altas frecuencias. Por tanto, en la elaboración de este proyecto, se emplean transformadores de tensión capacitivos.

Se dispone de tres transformadores de tensión capacitivos, de intemperie, en cada posición de línea y de otros tres transformadores de similares características para los embarrados. Las características principales de dichos transformadores son:

Transformadores de tensión de 220 kV	
Tensión máxima de servicio	300 kV
Relación de transformación de los arrollamientos: - Primer arrollamiento - Segundo arrollamiento	220/ $\sqrt{3}$: 0,110/ $\sqrt{3}$ 220/ $\sqrt{3}$: 0,110/ $\sqrt{3}$
Potencia y clases de precisión: - Primer arrollamiento - Segundo arrollamiento	30 VA, Cl. 0,2 3P 30 VA, Cl. 0,5 3P
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	460 kV
Tensión de ensayo a impulso	1050 kVp

Tabla 11. Transformadores de tensión de 220 kV. Características técnicas principales.

Se precisan 9 transformadores como los definidos.

Los transformadores de tensión cuentan en sus secundarios con protecciones magnetotérmicas (Potección 98).

6.1.9 Pararrayos autoválvula de 220 kV

Los pararrayos son dispositivos de protección contra sobretensiones y descargas eléctricas de origen atmosférico. Funcionan mediante una válvula de descarga, que se encarga de conducir las descargas eléctricas hacia tierra cuando el voltaje en el sistema eléctrico supera un determinado umbral. Además, cuentan con un tiempo de respuesta muy rápido, lo que significa que pueden conducir descargas eléctricas al suelo en cuestión de microsegundos, antes de que puedan causar daños en el sistema.

Para el sistema de 220 kV se proyectan un total de doce (12) pararrayos, tres para cada posición de transformador y 3 para cada posición de línea. Los pararrayos de las posiciones de transformadores se colocan lo mas cerca posible de las bornas de los transformadores de potencia y los pararrayos de las posiciones de línea se colocan lo mas cerca posible de los transformadores de tensión. Estos pararrayos autoválvulas son de óxidos metálicos sin explosores con envolvente polimérica y deben de tener las siguientes características principales para cumplir con su objetivo:

Pararrayos de 220 kV	
Tensión máxima de red	245 kV
Tensión nominal	220 kV
Tensión de trabajo continuo máxima	270 kV
Capacidad de sobretensiones temporales (1s)	255 kV
Intensidad nominal de descarga	20 kA
Clase de descarga	3

Tabla 12. Pararrayos autoválvula de 220 kV. Características técnicas principales.

Los niveles de aislamiento y la selección quedan definidos en el apartado “Coordinación de aislamientos” del Documento III: Cálculos.

6.2 Diagrama unifilar de 30 kV

En conformidad a lo descrito en el apartado 5.2, el sistema de 30 kV tiene una configuración de doble barras existiendo posibilidad de acoplamiento entre ellas. La instalación es de interior y está formada por celdas que tienen SF6 como aislante. Las posiciones de las que se compone ésta instalación de media tensión son las siguientes:

- Dos posiciones de transformador.
- Ocho posiciones de línea.
- Una posición de enlace de barras.
- Dos posiciones de medida.
- Dos posiciones de servicios auxiliares.

En el lado de 30kV de ambos transformadores, cada posición de transformador cuenta con tres transformadores de intensidad de protección y medida, pararrayos, aisladores rígidos de sujeción de embarrados y puesta a tierra mediante reactancia trifásica con el fin de limitar la corriente a tierra.

6.2.1 Celdas de media tensión

En las celdas del sistema de 30 kV la aparamenta se encuentra bajo envolvente metálica y con aislamiento de SF6. Dichas celdas se colocan dentro del edificio prefabricado y agrupadas como un unico conjunto. La disposición de las celdas se detalla en el Plano Nº 5 del Documento II: Planos.

Las características técnicas de las celdas son las siguientes:

Celdas de media tensión	
Tipo de celdas: blindadas SF6	Blindadas SF6
Servicio	Continuo en interior
Nº de fases	3
Tensión nominal	36 kV
Temperatura ambiente interior	de -5 a 40 °C (Interior)
Tensión a impulso tipo rayo	170 kV
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	70 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Intensidad máxima asignada en barras	2500 A
Intensidad máxima asignada en celdas de línea	2500A
Intensidad asignada de cortocircuito (3s)	40 kA
Valor pico de intensidad asignada de cortocircuito	100 kA

Tabla 13. Celdas de media tensión. Características técnicas principales.

6.2.1.1 Celdas de transformador

- 1 Interruptor automático.
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con dos posiciones, cerrado y abierto
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con tres posiciones, cerrado, abierto y puesta a tierra.
- 3 Terminales unipolares de conexión.
- 3 Transformadores de intensidad.

6.2.1.2 Celdas de línea

- 1 Interruptor automático.
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con dos posiciones, cerrado y abierto
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con tres posiciones, cerrado, abierto y puesta a tierra.
- 3 Transformadores de intensidad.

6.2.1.3 Celdas de medida

- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con tres posiciones, cerrado, abierto y puesta a tierra.
- 3 transformadores de tensión.

6.2.1.4 Celda de enlace de barras

- 1 Interruptor automático.
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con dos posiciones, cerrado y abierto
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con tres posiciones, cerrado, abierto y puesta a tierra.
- 3 Transformadores de intensidad.

6.2.1.5 Celdas de servicios auxiliares

- 1 Interruptor automático.
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con dos posiciones, cerrado y abierto
- 1 Seccionador tripolar de aislamiento de barras, con tres posiciones, cerrado, abierto y puesta a tierra.
- 3 Transformadores de intensidad.
- 3 Terminales unipolares de conexión.

6.2.2 Características de la aparamenta de las celdas

6.2.2.1 Interruptores

Los interruptores automáticos de las celdas de Media Tensión, son tripolares, de interior con las siguientes características técnicas:

Interruptores de 30 kV	
Tensión nominal	36 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Corriente de servicio continua	2.500 A
Corriente de apertura de cortocircuito nominal	25 kA
Tensión admisible de frecuencia industrial momentánea	70 kV
Tensión admisible de impulso de rayo	170 kV
Distancia entre fases	400 mm

Tabla 14. Interruptores de 30 kV. Características técnicas principales.

Los interruptores de la celdas de Media Tensión están equipados con la Protección 3, relé de comprobación o bloqueo. Opera respondiendo a la posición de unas condiciones determinadas, permitiendo que el equipo siga funcionando, provocando que se detenga o proporcionando comprobación de la posición y condiciones del interruptor.

6.2.2.2 Seccionadores

Los seccionadores que se ubican en las celdas son de accionamiento manual, tripolares, de interior con las siguientes características técnicas:

Seccionadores de 30 kV	
Tensión nominal	36 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Corriente de servicio continua	2.500 A
Tensión admisible de frecuencia industrial momentánea	70 kV
Tensión admisible de impulso de rayo	170 kV

Tabla 15. Seccionadores de 30 kV. Características técnicas principales.

6.2.2.3 Transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad toroidales que equipan las celdas de media tensión tienen las siguientes características dependiendo del tipo de celda en el que se coloquen:

Celdas de transformador:

Transformadores de intensidad para celdas de transformador	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación	1200/5-5 A
Potencia y clases de precisión: <ul style="list-style-type: none"> - Devanado de medida - Devanado de protección 	15 VA, Cl. 0,5 20 VA, 5P20

Tabla 16. Transformadores de intensidad para celdas de transformador. Características técnicas principales.

Celdas de línea:

Transformadores de intensidad para celdas de línea	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación	200/5 A
Potencia y clases de precisión: <ul style="list-style-type: none"> - Devanado de protección 	20 VA, 5P20

Tabla 17. Transformadores de intensidad para celdas de línea. Características técnicas principales.

Celda de enlace de barras:

Transformadores de intensidad para celda de enlace de barras	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación	1.200/5 A
Potencia y clases de precisión: - Devanado de protección	20 VA, 5P20

Tabla 18. Transformadores de intensidad para celda de enlace de barras. Características técnicas principales.

Celdas de servicios auxiliares:

Transformadores de intensidad para celdas de servicios auxiliares	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación	100/5 A
Potencia y clases de precisión: - Devanado de protección	20 VA, 5P20

Tabla 19. Transformadores de intensidad para celdas de servicios auxiliares. Características técnicas principales.

6.2.2.4 Transformadores de tensión

Para las dos celdas de medida se emplean 6 transformadores de tensión de características:

Transformadores de tensión de 30 kV	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación de los arrollamientos: - Primer arrollamiento - Segundo arrollamiento	$30/\sqrt{3} : 0,110/\sqrt{3}$ $30/\sqrt{3} : 0,110/\sqrt{3}$
Potencia y clases de precisión: - Primer arrollamiento - Segundo arrollamiento	30 VA, Cl. 0,2 50 VA, P3

Tabla 20. Transformadores de tensión para celdas de medida. Características técnicas principales.

Los transformadores de tensión cuentan en sus secundarios con protecciones magnetotérmicas (Potección 98).

6.2.3 Embarrados de 30 kV

En lo que a la instalación de 30 kV respecta, las dos barras forman parte de los módulos que se encuentran en el edificio prefabricado.

Los embarrados de salida del transformador en el secundario, se realizan con perfiles de aleación de aluminio de las siguientes características:

Embarrados de 30 kV	
Diámetro exterior	63 mm
Diámetro interior	53 mm
Espesor	5 mm
Sección	911 mm ²
Peso	2.460 g/m
Intensidad admitida desde 65°C	1.256 A
Intensidad admitida desde 85°C	1.642 A
Momento de inercia	39,30 cm ⁴
Momento de elasticidad	12,50 cm ³
Conductividad térmica	201 W/m·K
Conductividad eléctrica a 20°C	53 % IACS
Resistividad eléctrica a 20°C	0,0325 μΩ·m
Coeficiente de temperatura de resistencia eléctrica a 20°C	0,0035 K ⁻¹

Tabla 21. Embarrados de 30 kV. Características técnicas principales.

La conexión de los embarrados de salida del transformador con las barras de 30 kV se realiza con cable aislado de media tensión de tipo AL HEPRZ1 (UNE-HD 620-9E) normalizado por Iberdrola, de 630 mm², con una intensidad máxima admisible directamente enterrado de 615A.

6.2.4 Aisladores de 30 kV

Los aisladores del lado de Media Tensión deben soportar los embarrados de salida de los transformadores de potencia. Para ello, se emplean aisladores con las características:

Aisladores de 30 kV	
Tensión nominal	38 kV
Tensión soportada al choque	200 kV
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz	80 kV
Mínima carga de rotura a flexión	6.000 N
Mínima carga de rotura a torsión	1.800 N
Altura del aislador montado	475 mm

Tabla 22. Aisladores de 30 kV. Características técnicas principales.

Las unidades empleadas de estos aisladores son de un total de seis (6).

6.2.5 Pararrayos autoválvula de 30 kV

Para dotar al sistema de 30 kV de protección contra sobretensiones y descargas eléctricas de origen atmosférico se dispone de seis (6) autoválvulas. Se instalan cerca de la salida de los transformadores de potencia y de las reactancias de puesta a tierra. Estos pararrayos son de óxidos metálicos sin explosores con envolvente polimérica y deben de tener las siguientes características principales para cumplir con su objetivo:

Pararrayos de 30 kV	
Tensión máxima de red	36 kV
Tensión nominal	30 kV
Tensión de trabajo continuo máxima	32 kV
Capacidad de sobretensiones temporales (1s)	34,4 kV
Intensidad nominal de descarga	10 kA
Clase de descarga	1

Tabla 23. Pararrayos de 30 kV. Características técnicas principales.

Los niveles de aislamiento y la selección quedan definidos en el apartado “Coordinación de aislamientos” del Documento III: Cálculos.

6.3 Reactancia de puesta a tierra

Las tres fases que salen del secundario de cada uno de los dos transformadores de potencia se conecta a tierra mediante una reactancia trifásica. Colocar una reactancia es la forma de crear un neutro en un punto de la red en el que no está disponible, para limitar las corrientes a tierra producidas por faltas.

En realidad, la reactancia se trata de un transformador con conexión Zig-Zag. Para la puesta a tierra de cada uno de los transformadores de potencia se emplea un transformador como reactancia de las siguientes características.

Reactancias de puesta a tierra	
Tensión nominal	30 kV
Frecuencia	50 Hz
Clase	Trifásicas
Refrigeración	ONAN
Grupo de conexión	Zig-Zag
Corriente de defecto a tierra por neutro	500 A
Duración de defecto a tierra por neutro	3 s

Tabla 24. Reactancias de puesta a tierra. Características técnicas principales.

Se emplean un total de dos (2) reactancias trifásicas de puesta a tierra.

Los transformadores de potencia se ponen a tierra mediante reactancias trifásicas conectadas en los secundarios. De esta forma, se crea un neutro artificial para la puesta a tierra en un punto en el que no se disponía de neutro. Su mayor ventaja es la minimización de las sobretensiones y corrientes de falta a tierra. Al colocar la reactancia, la impedancia de camino a tierra es mayor, reduciendo el valor de la corriente a tierra. La reducción de la corriente de falta, es por tanto menor que en el caso de puesta a tierra mediante resistencia, por ejemplo.

El grupo de conexión de los transformadores de potencia (YNd11) con reactancia trifásica en el secundario es una configuración típica de subestaciones reductoras como la del presente proyecto.

Las reactancias trifásicas seleccionadas son de 30 kV y con grupo de conexión en ZIG-ZAG. La refrigeración es de tipo ONAN, es decir, con aceite refrigerado naturalmente.

Las protecciones que equipan la reactancias son:

- Protección 26: Dispositivo térmico.
- Protección 63B: Relé Buchholz.
- Protección 63N: Relé de nivel en la cuba de la reactancia.

Para alimentar las protecciones de sobreintensidad del neutro a tierra (51G) y de sobreintensidad instantánea (50), se necesitan dos transformador de intensidad con las siguientes características:

Transformadores de intensidad de la reactancia de puesta a tierra	
Tensión máxima de servicio	36 kV
Relación de transformación	300/5-5 A
Potencia y clases de precisión: - Devanado de protección	30 VA, 5P20
Tensión de ensayo a frecuencia industrial	70 kV
Tensión de ensayo a impulso	170 kVp
Línea de fuga estándar	900 mm
Dimensiones	350x1350x1750 mm ³
Peso	220 kg
Servicio	Intemperie

Tabla 25. Transformadores de intensidad de la reactancia de puesta a tierra. Características técnicas principales.

6.4 Sistema de control y protección

La subestación de transformación de 220/30 kV cuenta con un Sistema Integrado de Protección y Control (SIPCO). Gracias a él, es posible controlar, monitorear y proteger los equipos de la subestación mediante fibra óptica.

El SIPCO está formado por una unidad de control de subestación (UCS) y por varias unidades de control de posición (UCP).

La UCS se encuentra en un armario central que se haya dentro del edificio prefabricado y en una sala diferente a la de las celdas de media tensión. Entre las funciones que realiza la UCS se encuentra la gestión de comunicaciones, periféricos, alarmas e informes, la señalización y control de las posiciones de la subestación y la ejecución de los automatismos.

Las UCPs se instalan en las celdas del sistema de 30 kV(MT) y en armarios o compartimentos de control en los bastidores del sistema de 220 kV (AT). Entre las funciones que realizan la UCPs se encuentra la medida, protección y control local de los dispositivos asociados a ellas.

A continuación, se definen, siguiendo la nomenclatura IEEE/ANSI, las protecciones de las que dispone la subestación transformadora para asegurar la seguridad ante fallos. Además, en el Documento II: Planos, se encuentra el esquema unifilar completo con protecciones y sus conexiones.

6.4.1 Protecciones del sistema de 220 kV

Protecciones de las posiciones de línea:

- Protección 21: Relé de distancia.

Abre el interruptor cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito supera unos límites superiores e inferiores determinados.

- Protección 27: Relé de mínima tensión.

Abre el interruptor cuando la tensión desciende por debajo de un valor determinado.

- Protección 59: Relé de sobretensión.

Abre el interruptor cuando la tensión supera un valor determinado.

- Protección 67N: Relé de sobreintensidad direccional.

Abre el interruptor cuando la intensidad supera un valor determinado en un sentido definido.

- Protección 79: Relé de reenganche.

Cuando ocurre una falta y alguna de las protecciones anteriores provoca la apertura del interruptor, el relé de reenganche bloquea el cierre del interruptor hasta que se haya subsanado la falta y una vez solucionada permite el reenganche o cierre del interruptor.

- Protección 3: Relé de comprobación o bloqueo.

Opera respondiendo a la posición de unas condiciones determinadas, permitiendo que el equipo siga funcionando, provocando que se detenga o proporcionando comprobación de la posición y condiciones del interruptor.

- Protecciones 87L1 y 87L2 : Relés de protección diferencial de línea.

Comparan las corrientes de las líneas 1 y 2 de entrada a la subestación. Para su correcto funcionamiento deben estar conectados al sistema de telecomunicación. Si las corrientes comparadas fueran diferentes, significaría que está circulando corriente a tierra en el transformador. En este caso, los relés actúan provocando la apertura de los interruptores de línea.

Protecciones de las posiciones de transformador:

- Protección 51: Relé de sobreintensidad temporizada.

Abre el interruptor cuando la corriente que circula por el elemento protegido supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo

de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 51N: Relé de sobreintensidad temporizada de neutro.

Abre el interruptor cuando la corriente que circula por el neutro supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 50: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula supera un valor seleccionado.

- Protección 50N: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula por el neutro supera un valor seleccionado.

- Protección 86: Relé de enclavamiento

Se activa cuando se produce una falta, en la que se abren los interruptores y seccionadores debido a las protecciones, y no permite el reenganche del interruptor hasta que esta se hayan cerrado primero los seccionadores. Asegura que no haya tensión en el cierre de los seccionadores.

- Protección 3: Relé de comprobación o bloqueo.

Opera respondiendo a la posición de unas condiciones determinadas, permitiendo que el equipo siga funcionando, provocando que se detenga o proporcionando comprobación de la posición y condiciones del interruptor.

- Protección 79: Relé de reenganche.

Cuando ocurre una falta y alguna de las protecciones anteriores provoca la apertura del interruptor, el relé de reenganche bloquea el cierre del interruptor hasta que se haya subsanado la falta y una vez solucionada permite el reenganche o cierre del interruptor.

Protecciones de los transformadores de potencia:

- Protecciones 26-1 y 26-2: Dispositivos térmicos

El termómetro y el termostato que equipan los transformadores generan alarmas cuando en el interior de la cuba se alcanzan unos determinados valores de temperatura.

- Protecciones 63B: Relés Buchholz de los transformadores.

Detectan sobrepresiones producidas por la acumulación de gas que se generan cuando se da, por ejemplo, una sobreccoriente en el transformador. Los fallos pueden provocar la evaporación del aceite aislante y, por tanto, un aumento de la presión dentro del transformador. Gracias al movimiento producido por la sobrepresión en los flotadores del relé, cuando se llega a un determinado valor de presión, éste, provoca la apertura de los interruptores aguas arriba y aguas abajo mas proximos al transformador. También, genera una alarma en caso de fallos.

- Protecciones 63J: Relés Jansen de los reguladores.

Detectan anomalías en el funcionamiento de los reguladores. Su principio de funcionamiento es similar al de los relés Buchholz. En caso de fallo, bloquean el regulador, provocan la apertura de los interruptores aguas arriba y aguas abajo mas proximos al transformador y genera una alarma.

- Protecciones 63NT y 63NR: Relés de nivel en la cuba del transformador y del regulador.

Estos relés de nivel de aceite generan una alarma si el nivel de aceite de la cuba del transformador y del regulador descienden por debajo de un determinado nivel. Cuentan con flotadores que descienden cuando el nivel de aceite baja, generando la alarma y evitando que el transformador opere sin aceite.

- Protección 63L: Relé liberador de presión.

El relé liberador de presión se activa cuando en la cuba del transformador se produce una sobrepresión, con el fin de evitar deformaciones en la misma. Cuando la presión en la cuba sube por encima de un nivel de presión determinado, el relé genera una alarma y procede a liberar la presión.

- Protección 86: Relé de enclavamiento.

Se activa cuando se produce una falta, en la que se abren los interruptores debido a las protecciones, y no permite el reenganche del interruptor hasta que se haya subsanado la falta en los transformadores.

- Protección 87: Relé de protección diferencial.

Compara las corrientes en la entrada y en la salida de cada transformador. Si las corrientes comparadas fueran diferentes, significaría que está circulando corriente a tierra en el transformador. En este caso, el relé actúa provocando la apertura de los interruptores mas próximos situados aguas arriba y aguas abajo de los transformadores.

- Protección 84: Mecanismo de accionamiento del regulador de tomas

Es el mecanismo encargado del movimiento del regulador de tomas. Su acción la controlan las protecciones 90 y 70.

- Protección 90 y 70: Dispositivo de regulación.

Permite la variación de los niveles de tensión del transformador gracias al regulador de tomas que lleva incorporado. Este dispositivo puede actuar de forma automática o manual. En la forma automática se consignan unos determinados valores de tensión en los que el variador de tomas debe cambiar para que la acción se realice automáticamente. En la forma manual se puede variar la posición del intercambiador de tomas directamente desde el armario de control o de forma remota.

6.4.2 Protecciones del sistema de 30 kV

Protecciones de reactancias de puesta a tierra

- Protección 50: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula supera un valor seleccionado.

- Protección 50N: Relé de sobreintensidad temporizada de neutro.

Abre los interruptores mas próximos situados aguas arriba y aguas abajo del transformador cuando la corriente que circula por la puesta a tierra por el neutro supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 26: Dispositivo térmico.

El termómetro que equipan las reactancias genera alarmas cuando en el interior de la cuba se alcanzan unos determinados valores de temperatura

- Protección 63B: Relé Buchholz.

Detecta sobrepresiones producidas por la acumulación de gas que se generan cuando se da, por ejemplo, una sobreccoriente en la reactancia. Los fallos pueden provocar la evaporación del aceite aislante y, por tanto, un aumento de la presión dentro de la cuba. Gracias al movimiento producido por la sobrepresion en los flotadores del relé, cuando se llega a un determinado valor de presión, éste, provoca la apertura de los interruptores aguas arriba más proximos al transformador. También, genera una alarma en caso de fallos.

- Protección 63N: Relé de nivel en la cuba de la reactancia.

Este relé de nivel de aceite genera una alarma si el nivel de aceite de la cuba de la reactancia desciende por debajo de un determinado nivel. Cuenta con flotadores que descienden cuando el nivel de aceite baja, generando la alarma y evitando que la reactancia opere sin aceite.

Protecciones de las celdas de transformador, celdas de línea y celda de enlace de barras:

- Protección 51: Relé de sobreintensidad temporizada.

Abre el interruptor cuando la corriente que circula por el elemento protegido supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 51N: Relé de sobreintensidad temporizada de neutro.

Abre el interruptor cuando la corriente que circula por el neutro supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 50: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula supera un valor seleccionado.

- Protección 50N: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula por el neutro supera un valor seleccionado.

- Protección 79: Relé de reenganche.

Cuando ocurre una falta y alguna de las protecciones anteriores provoca la apertura del interruptor, el relé de reenganche bloquea el cierre del interruptor hasta que se haya subsanado la falta y una vez solucionada permite el reenganche o cierre del interruptor.

- Protección 3: Relé de comprobación o bloqueo.

Opera respondiendo a la posición de unas condiciones determinadas, permitiendo que el equipo siga funcionando, provocando que se detenga o proporcionando comprobación de la posición y condiciones del interruptor.

Protecciones de las celdas de medida:

- Protección 64: Relé de protección a tierra.

Dispara los interruptores de las celdas de transformadores en caso de fallo a tierra del aislamiento.

Protecciones de las celdas de transformadores de servicios auxiliares:

- Protección 51: Relé de sobreintensidad temporizada.

Abre el interruptor cuando la corriente que circula por el elemento protegido supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 51N: Relé de sobreintensidad temporizada de neutro.

Abre el interruptor cuando la corriente que circula por el neutro supera un valor seleccionado durante un tiempo determinado. La temporización es inversa, es decir, el tiempo de operación, o de apertura del interruptor, disminuye a medida que aumenta la corriente circulante.

- Protección 50: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula supera un valor seleccionado.

- Protección 50N: Relé de sobreintensidad instánea.

Abre el interruptor inmediatamente cuando la corriente que circula por el neutro supera un valor seleccionado.

- Protección 79: Relé de reenganche.

Cuando ocurre una falta y alguna de las protecciones anteriores provoca la apertura del interruptor, el relé de reenganche bloquea el cierre del interruptor hasta que se haya subsanado la falta y una vez solucionada permite el reenganche o cierre del interruptor.

- Protección 3: Relé de comprobación o bloqueo.

Opera respondiendo a la posición de unas condiciones determinadas, permitiendo que el equipo siga funcionando, provocando que se detenga o proporcionando comprobación de la posición y condiciones del interruptor.

6.5 Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares son sistemas de Baja Tensión que alimentan los equipos de control, monitoreo, protección y operación de los equipos de la subestación. Son sistemas esenciales para que la subestación pueda funcionar. Por tanto, el correcto diseño del sistema de servicios auxiliares es fundamental para garantizar la fiabilidad y seguridad de la subestación.

Los servicios auxiliares de la subestación cuentan un sistema de alimentación de corriente alterna (CA) y un sistema de alimentación de corriente continua (CC).

6.5.1 Servicios auxiliares de Corriente Alterna

Para alimentar los servicios auxiliares se dispone de dos transformadores de potencia, de relación de transformación 30/0,420-0,242 kV y 230 kVA, que son alimentados desde sus respectivas celdas de 30 kV. Desde estos transformadores, se conduce la corriente eléctrica alterna a dos armarios de servicios auxiliares ubicados en la sala de control del edificio prefabricado. Los armarios contienen los interruptores automáticos de cada salida de corriente, así como, contadores de potencia activa para medir el consumo de la instalación.

Los servicios auxiliares de Corriente Alterna se dividen en servicios auxiliares normales y servicios seguros o principales.

Los servicios auxiliares normales los componen aquellos equipos que puedan soportar una interrupción de corriente sin que ello suponga una gran perturbación. En este grupo se encuentran servicios como la iluminación, climatización, etc.

Los servicios auxiliares seguros o principales pueden soportar una falta de alimentación de corta duración, pudiendo causar graves perturbaciones si la falta perdura. En este grupo se encuentran los motores de los interruptores y seccionadores o sistemas de refrigeración de los transformadores de potencia.

6.5.2 Servicios auxiliares de Corriente Continua

Los servicios auxiliares de Corriente Continua deben alimentar a los equipos de comunicaciones, circuitos de mando, protección y señalización de la aparamenta y a los autómatas y equipos de protección. Están compuestos por dos equipos compactos rectificador-batería de 125 Vcc. Dichos equipos funcionan de forma individual e independiente alimentando la parte de los servicios que se les asignen. A pesar de su funcionamiento independiente, ambos equipos están dimensionados para que, en caso de fallo de uno de los equipos, el equipo sin falta pueda abastecer la totalidad del consumo de la instalación con garantías.

Los procesos de carga y flotación se realizan de forma automática obedeciendo un a un sistema prefijado, lo que proporciona mayor garantía de servicio sin necesidad de vigilancia. Cuando se produzca una falta de alimentación de corriente alterna, las baterías suministrarán energía a los sistemas de protección y control.

Los equipos rectificador-batería se alimentan desde los armarios de servicios auxiliares de corriente alterna y alimentan a las barras de los armarios de servicios auxiliares de corriente continua. Estos armarios de CC, también se encuentran en la sala de control del edificio prefabricado, como los de CA, y contienen los interruptores automáticos de cada salida de corriente.

Cada equipo rectificador-batería está compuesto por un rectificador monofásico con entrada 230 V y 50 Hz y salida de 125 Vcc y 40 A, y un grupo de baterías níquel-cadmio de 200 Ah. Además se instalan dos convertidores, 125/48 Vcc y 48/12 Vcc, para alimentar los servicios de telecomunicaciones.

6.5.3 Transformadores de los servicios auxiliares

Los dos (2) transformadores de servicios auxiliares han sido dimensionados para trabajar individualmente y de forma alterna, es decir, mientras uno trabaja el otro está parado. De esta forma en caso de fallo de uno, siempre está el otro como soporte con las mismas prestaciones. Estos transformadores de potencia se ubican en el interior de una sala del edificio prefabricado y presentan las siguientes características:

Transformadores de Servicios Auxiliares	
Potencia nominal	230 kVA
Relación de transformación	30/0,420-0,242 kV
Grupo de conexión	Dyn11
Frecuencia	50 Hz
Neutro	A tierra
Tipo	Encapsulado
Refrigerante	Seco
Tensión de cortocircuito	6%
Tipo de servicio	Continuo interior

Tabla 26. Transformadores de Servicios Auxiliares. Características técnicas principales.

6.5.4 Armarios de los servicios auxiliares

Los armarios de los servicios auxiliares de CA y CC son de envolvente metálica y se encuentran en la sala de control del edificio prefabricado. Dentro de los armarios se encuentran los interruptores automáticos de las salidas de corriente y contadores de potencia activa en los de CA. Los embarrados y elementos de maniobra tienen una corriente de cortocircuito de 10 kA en los servicios auxiliares de CA y de 6 kA en los servicios auxiliares de CC.

6.6 Red de tierras

La subestación de transformación cuenta con un sistema de red de tierras compuesto por malla enterrada y picas.

La malla de tierra está formada por cable de cobre desnudo de 100 mm² de sección enterrado a una profundidad de 0,60m desde la cota de explanación, formando una retículas aproximadas de 2,5x2,5 m². Los cálculos de la malla para garantizar que no se sobrepasan las tensiones de paso y de contacto admitidas se indican en el apartado 7 del Documento III: Cálculos.

También, se instalan picas de acero cobrizado 2 m de longitud y 14 mm de diámetro, que se conectan a la malla mediante soldadura aluminotérmica. Las picas mejoran la efectividad de puesta a tierra, por lo que van hincadas en lugares en los que se considere necesario, por ejemplo, las esquinas de la malla. Los conjuntos de pararrayos, también, llevan conectados picas de puesta a tierra.

A la red de tierras se conectan todas las partes metálicas que componen la instalación y no son portantes de corriente normalmente, pero pudieran serlo en caso de faltas. Las puertas de los edificios prefabricados, la envolvente metálica de las celdas y armarios, los báculos de alumbrado, estructuras metálicas de la subestación, los neutros de los transformadores y las puestas a tierras de las reactancias son algunos de los elementos que se ponen a tierra.

La conexión a los elementos nombrados anteriormente se realiza mediante cable de cobre desnudo de 95 mm² de sección y tornillos o grapas de aleación de cobre.

6.7 Instalaciones complementarias

6.7.1 Alumbrado exterior e interior

La subestación de transformación cuenta con un sistema de alumbrado exterior y otro interior que aportan una iluminación uniforme para la realización de revisiones, maniobras o mantenimientos que se precisen.

El sistema de iluminación exterior consta de ocho (8) báculos de acero galvanizado en caliente con cruceta en forma de T y apoyados en zapata. En las crucetas en forma de T se instalan dos (2) luminarias tipo proyectores led de 15.840 lm, 108 W, IP 66, IK09. La disposición de los báculos se puede observar en los planos 1 y 2 del Documento II: Planos.

El sistema de iluminación interior del edificio prefabricado consta de siete (7) luminarias led estancas de 4.200 lm, 25,5W, IP66, IK08. Estas luminarias van instaladas en el techo de las salas del edificio prefabricado.

6.7.2 Climatización y ventilación

Las 4 salas del edificio prefabricado cuentan con sistemas de climatización o ventilación.

La sala de control y comunicaciones consta de un aire acondicionado split, cuya bomba de calor se ubica en el exterior del edificio y ventilación a través de las rejillas de las puertas.

Las salas de celdas y de transformadores de servicios auxiliares cuentan con ventilación que se realiza a través de las rejillas de las puertas y los paneles con rejilla del edificio. Además, con el fin de mejorar la ventilación, en los paneles se instalan extractores de aire que garantizan la ventilación forzada expulsando aire hacia el exterior.

La sala del almacén tiene menores requerimientos térmicos y de ventilación que el resto, por lo que, tan solo cuenta con ventilación natural realizada a través de las rejillas de las puertas y los paneles.

6.7.3 Sistema de protección contra incendios (PCI)

En cumplimiento con el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI-2017), aprobado en el Real Decreto 513/2017 y con el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI), aprobado en el Real Decreto 2267/2004, se definen las medidas activas y pasivas de protección contra incendios.

El sistema pasivo de PCI lo forman detectores de humo y calor situados en el techo del edificio prefabricado. Estos detectores envían señales de alarma al puesto de la sala de control, al puesto de control remoto situado en las oficinas del complejo de naves que forman la planta de producción de automóviles y al puesto de bomberos. Además, se instalan pulsadores de alarma manual.

El sistema activo de PCI lo forman extintores de CO₂ (gas no conductor de electricidad) dispuestos en cada sala del edificio.

Cabe resaltar, que al estar la subestación dentro del recinto de producción de la empresa, el equipo de bomberos de la empresa asegura la rápida actuación en caso de incendio.

6.7.4 Sistema de protección contra intrusismo

El sistema de protección contra intrusismo cuenta con el vallado perimetral completo y detectores de movimiento en la parte de Alta Tensión.

Para el edificio de media tensión se disponen de rejas para la ventilación y puertas de alto nivel de resistencia.

Cabe resaltar, que al estar la subestación dentro del recinto de producción de la empresa, la propia seguridad de la empresa también actúa en su protección.

6.8 Obra civil

6.8.1 Acondicionamiento del terreno

Del estudio geotécnico previo al inicio del proyecto se extraen las directrices principales para el acondicionamiento del terreno, teniendo en cuenta el drenaje y evacuación de aguas y las características del mismo. Con la cota de implantación seleccionada se inicia el acondicionamiento con el desbroce y retirada de la vegetación de la zona. También, es necesaria la creación un acceso de maquinaria a la ubicación de la subestación, a través de la parcela.

Se proyecta la ejecución de la excavación para la creación de las cimentaciones necesarias para soportes, transformadores, edificio prefabricado y el enterramiento de la malla de puesta a tierra a 0,60 m de profundidad de la cota final.

Una vez se coloque la malla de tierra, se rellena el terreno por encima de la malla con zahorras compactadas hasta 0,1 m por debajo de la cota final. Los últimos 10 cm, hasta la cota final se rellenan con grava.

6.8.2 Viales Interiores

Para la ejecución de la obra se precisan viales interiores en la parcela. Al realizarse simultáneamente la instalación de la subestación y las construcciones de naves y edificios de la planta, se utilizan los viales creados para tal propósito.

6.8.3 Cerramiento

El cerramiento proyectado delimita la parte de Alta Tensión de la subestación quedando el edificio prefabricado de Media Tensión fuera del mismo. Está formado por un bordillo prefabricado de 30 cm de altura sobre el que se colocan postes metálicos de 1,90 m de altura con una separación de 2,5 m. A los postes metálicos se amarra la valla metálica de enrejado plastificado de simple torsión de 1,90 m de altura. Por tanto, el vallado tiene una altura total de 2,20 m. El perímetro interior del cerramiento es de 256 m. La longitud total de valla necesaria asciende a 215,5 m y las cuadrículas del enrejado deben ser como máximo de 50x50mm.

También, se instalan una puerta de acceso para vehículos de mantenimiento y otra puerta peatonal. La puerta de vehículos tiene una anchura de 7 m y es una puerta practicable con doble bisagra. La puerta de peatones tiene una anchura de 1,2 m y es una puerta practicable con una bisagra.

Es necesario recordar que la subestación se encuentra dentro del perímetro, también vallado, de una planta de producción con acceso restringido a personal ajeno y con servicio de seguridad.

6.8.4 Sistema de drenaje

El terreno de la subestación debe tener una red de drenaje superficial para conducir aguas de lluvia o de subsuelo al exterior del recinto. De esta forma se protege las cimentaciones, el edificio y viales de la humedad.

El sistema de drenaje de aguas pluviales está formado por tuberías drenantes y arquetas que crean una red que conduce el agua al exterior de la subestación. Además, se dispone de pozos de registro para efectuar las labores de mantenimiento pertinentes.

6.8.5 Cimentaciones y bancadas de transformadores

En la parte de Alta Tensión de la subestación se proyectan las cimentaciones necesarias para el anclaje de las estructuras metálicas de aparamenta, báculos de iluminación, etc.

También, se dispone de dos bancadas de hormigón armado fabricados “in-situ” para la colocación y fijación de los transformadores de potencia.

6.8.6 Edificio prefabricado

La subestación de transformación dispone de un edificio prefabricado que cuenta con divisiones o salas con diferente funcionalidad.

Para tal fin, se dispone de un edificio de planta rectangular con 32 m de longitud, 4,40 m de anchura y 4,80 m de altura. El edificio dispone de cuatro salas separadas, la sala de las celdas de Media Tensión, la sala de los transformadores de servicios auxiliares, la sala de control y comunicaciones y el almacén. Las puertas de cada sala se encuentran a un (1) metro de altura y se accederá a ellas desde una acera de la misma altura y 1,2 m de anchura. Como medida de seguridad para el personal de la subestación, en la parte exterior de la acera se instala una barandilla metálica de 1,10 metros de altura. La barandilla es extraíble para facilitar labores de mantenimiento o reposición de componentes.

El edificio se coloca encima de las cimentaciones necesarias para soportarlo, siendo éstas zapatas corridas en forma de “T” invertida.

Las losas de forjado del suelo y del techo del edificio son de hormigón armado pretensado prefabricado de 15 cm de espesor, mientras que los muros, son del mismo tipo de hormigón pero de 20 cm de espesor.

La cubierta del edificio es lisa de hormigón y rematada con un cerramiento metálico de “panel sandwich” con una inclinación del 10° a un agua y canalones de aluminio para la evacuación de agua al exterior.

Las puertas de las salas son de chapa de acero lisas con rejillas para ventilación, de doble bisagra (dos hojas abatibles) y con apertura hacia el exterior. Las dimensiones de las puertas es de 2,30 m de alto y 1,90 m de ancho. Al igual que el resto de rejillas de ventilación, a las puertas, sobre el galvanizado propio, se les aplica esmalte de poliuretano.

6.8.6.1 Sala de celdas de Media Tensión

La sala de las celdas de media tensión es la más grande con unas dimensiones de 13 m de longitud y 4 m de ancho, lo que resulta en un total de 52 m². La altura libre al suelo es de 4 metros, aunque se instala un suelo técnico a 1 metro de altura.

En esta sala se encuentran las celdas del sistema de media tensión (30 kV) especificadas en el apartado 6.9.1 del presente documento.

La sala cuenta con ventilación a través de las rejillas de las puertas y extractores de aire en los paneles con rejilla del edificio.

6.8.6.2 Sala de transformadores de servicios auxiliares

La sala de transformadores de servicios auxiliares tiene unas dimensiones de 7 m de longitud y 4 m de ancho, lo que resulta en un total de 28 m². La altura libre al suelo es de 4 metros, aunque se instala un suelo técnico a 1 metro de altura.

Los armarios metálicos en los que se encuentran los transformadores no se encuentran sobre el suelo térmico sino sobre bancadas de hormigón armado.

La sala cuenta con ventilación a través de las rejillas de las puertas y extractores de aire en los paneles con rejilla del edificio.

6.8.6.3 Sala de control y comunicaciones

La sala de control y comunicaciones tiene unas dimensiones de 7 m de longitud y 4 m de ancho, lo que resulta en un total de 28 m². La altura libre al suelo es de 4 metros, aunque se instala un suelo técnico a 1 metro de altura.

En esta sala se instalan los dispositivos necesarios para el control de la subestación, los armarios de comunicaciones, los armarios de servicios auxiliares y los grupos rectificador-batería.

La sala de control y comunicaciones consta de un aire acondicionado split y ventilación a través de las rejillas de las puertas.

6.8.6.4 Almacén

La sala de almacén tiene unas dimensiones de 4 m de longitud y 4 m de ancho, lo que resulta en un total de 16 m². La altura libre al suelo es de 4 metros, aunque se instala un suelo técnico a 1 metro de altura.

La sala cuenta con ventilación a través de las rejillas de las puertas.

6.8.7 Estructura metálica

En el lado de 220 kV de la subestación es necesaria la utilización de estructura metálica en los pórticos de amarre y en los soportes de la apartamenta. Toda la estructura metálica de la instalación es de acero galvanizado en caliente y cuenta con su correspondiente cimentación y anclaje a la misma.

Para el amarre de las líneas de 220 kV se forma un portico con dos (2) vigas de amarre y tres (3) soportes con forma de “V” invertida.

La estructura metálica de soporte de la apartamenta de 220 kV está compuesto por los siguientes elementos:

- Cuatro (4) soportes para montaje de interruptores tripolares.
- Nueve (9) soportes para montaje de transformadores de tensión.
- Doce (12) soportes para montaje de autoválvulas.
- Doce (12) soportes para montaje de transformadores de intensidad.
- Cuatro (4) soportes de seccionadores tripolares de tres columnas sin cuchillas de puesta a tierra.
- Dos (2) soportes de seccionadores tripolares de tres columnas con cuchillas de puesta a tierra.
- Tres (3) estructuras soporte de aisladores de embarrados principales.
- Seis (6) soportes de aisladores.

La estructura metálica necesaria para la instalación de 30 kV está compuesto por los siguientes elementos:

- Un (1) soporte de aisladores para los embarrados de 30 kV.
- Seis (6) soportes para montaje de autoválvulas.

Todas las piezas componentes de la estructura metálica citada estan puestas a tierra.

Se completa la estructura con los anclajes, herrajes y tornillería necesaria para la unión de elementos.

7. Plan de proyecto y planificación: Diagrama de Gantt

Con el fin de monitorizar y controlar el trabajo se realiza la planificación del proyecto. Gracias a ella, se garantiza la eficiencia en la ejecución gestionando la complejidad, cantidad de datos y plazos. Con este objetivo se realiza el Diagrama de Gantt.

Fases del Proyecto	Semana de ejecución																							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
1. Ingeniería Básica y desarrollo	■	■	■	■																				
2. Permisos y licencias				■	■	■																		
3. Movimiento de Tierras							■	■																
4. Cimentación									■	■	■													
5. Red de drenaje										■	■													
6. Montaje del edificio prefabricado											■	■	■	■										
7. Montaje de estructura metálica													■	■	■	■								
8. Montaje de aparamenta																■	■	■	■					
9. Colocación de transformadores de potencia																			■					
10. Montaje de instalaciones interiores (celdas, servicios auxiliares, Sipco...)																				■	■	■		
11. Montaje de conexiones y embarrados exteriores e interiores																						■	■	■
12. Conexión y puesta en servicio																								■

Tabla 27. Diagrama de Gantt.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 220/30 KV PARA PLANTA INDUSTRIAL EN RIVABELLOSA

DOCUMENTO II: PLANOS



Estudiante: García Quintas, Álvaro

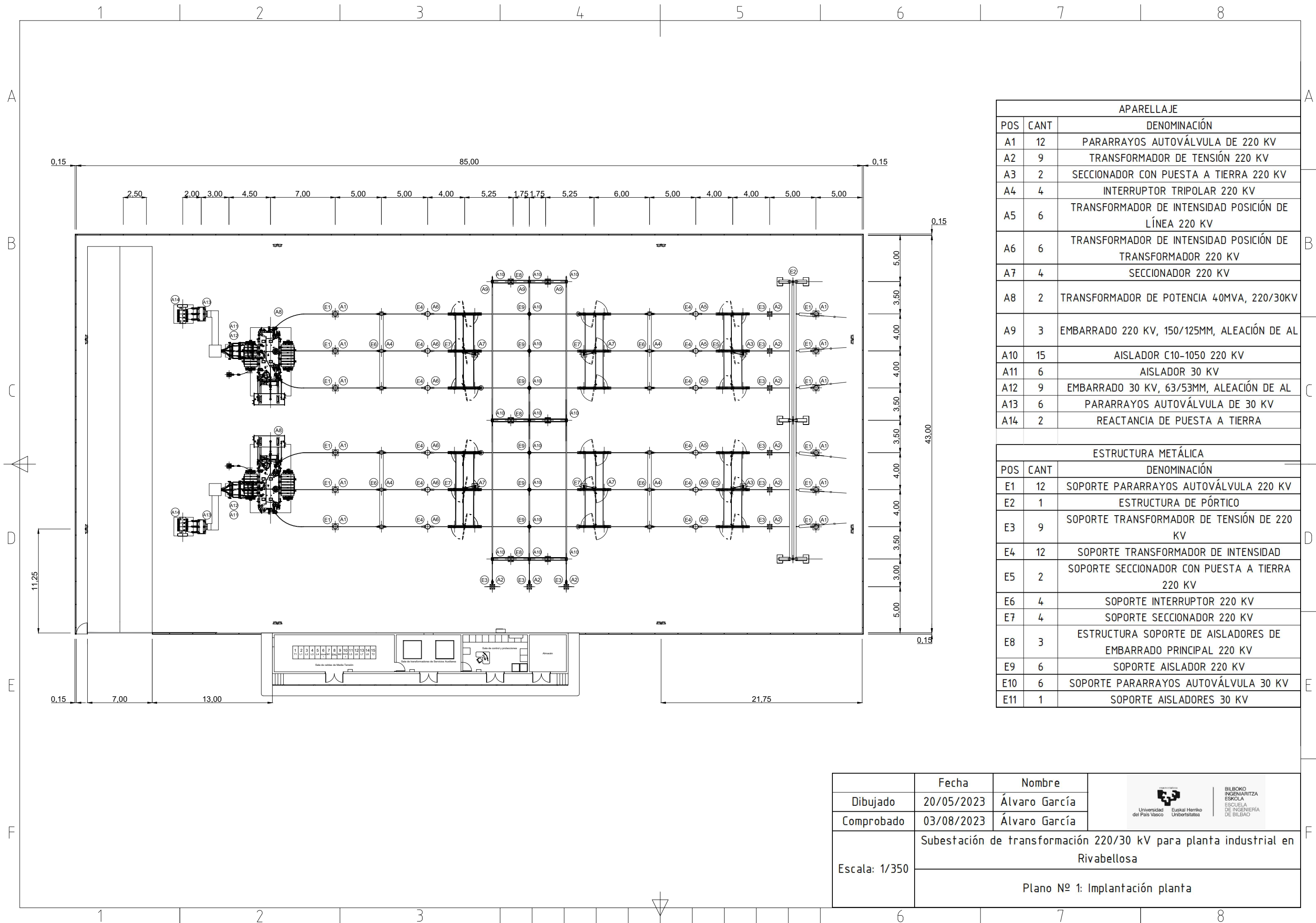
Director/Directora: Valverde Santiago, Víctor

Curso: 2022-2023

Fecha: 04, 09, 2023

Índice

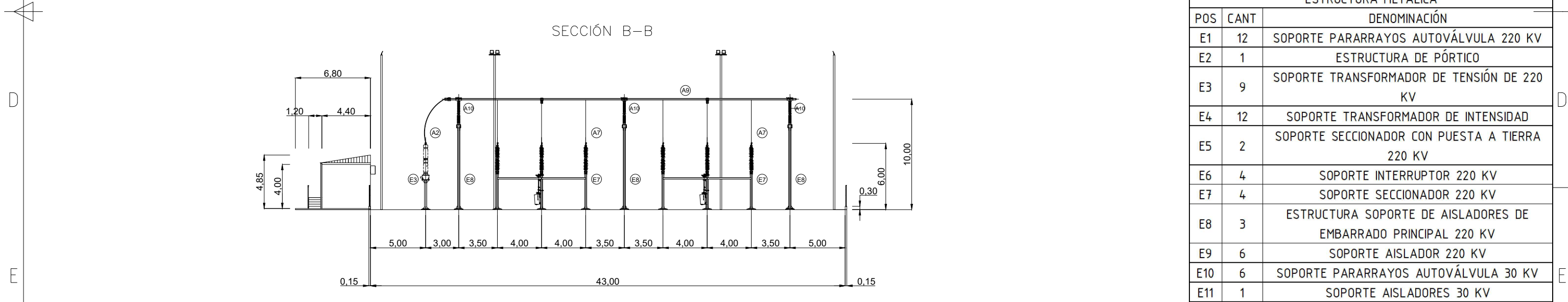
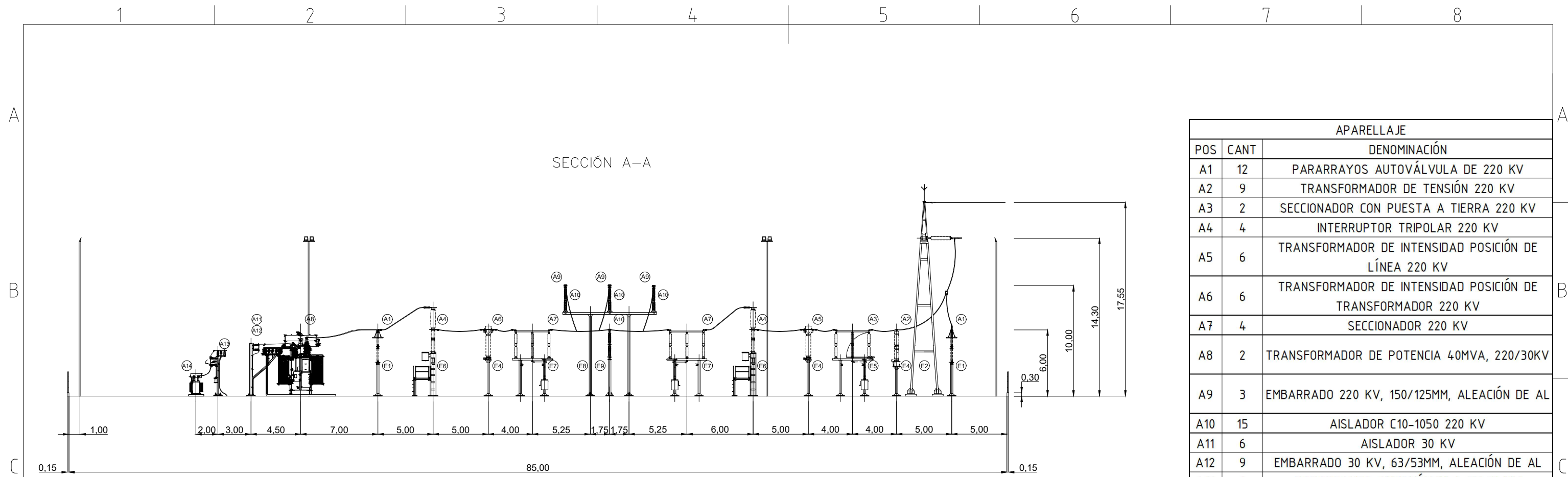
1. Implantación planta.
 2. Secciones 220 kV.
 3. Obra civil planta.
 4. Red de tierras planta.
 5. Planta edificio.
 6. Alzado, perfil y secciones del edificio.
- E1. Unifilar simplificado 220 kV.
- E2. Unifilar simplificado 30 kV.
- E3. Unifilar desarrollado 220 kV.
- E4. Unifilar desarrollado 30 kV.



APARELLAJE		
POS	CANT	DENOMINACIÓN
A1	12	PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DE 220 KV
A2	9	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN 220 KV
A3	2	SECCIONADOR CON PUESTA A TIERRA 220 KV
A4	4	INTERRUPTOR TRIPOLAR 220 KV
A5	6	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD POSICIÓN DE LÍNEA 220 KV
A6	6	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD POSICIÓN DE TRANSFORMADOR 220 KV
A7	4	SECCIONADOR 220 KV
A8	2	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 40MVA, 220/30KV
A9	3	EMBARRADO 220 KV, 150/125MM, ALEACIÓN DE AL
A10	15	AISLADOR C10-1050 220 KV
A11	6	AISLADOR 30 KV
A12	9	EMBARRADO 30 KV, 63/53MM, ALEACIÓN DE AL
A13	6	PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DE 30 KV
A14	2	REACTANCIA DE PUESTA A TIERRA

ESTRUCTURA METÁLICA		
POS	CANT	DENOMINACIÓN
E1	12	SOPORTE PARARRAYOS AUTOVÁLVULA 220 KV
E2	1	ESTRUCTURA DE PÓRTICO
E3	9	SOPORTE TRANSFORMADOR DE TENSIÓN DE 220 KV
E4	12	SOPORTE TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD
E5	2	SOPORTE SECCIONADOR CON PUESTA A TIERRA 220 KV
E6	4	SOPORTE INTERRUPTOR 220 KV
E7	4	SOPORTE SECCIONADOR 220 KV
E8	3	ESTRUCTURA SOPORTE DE AISLADORES DE EMBARRADO PRINCIPAL 220 KV
E9	6	SOPORTE AISLADOR 220 KV
E10	6	SOPORTE PARARRAYOS AUTOVÁLVULA 30 KV
E11	1	SOPORTE AISLADORES 30 KV

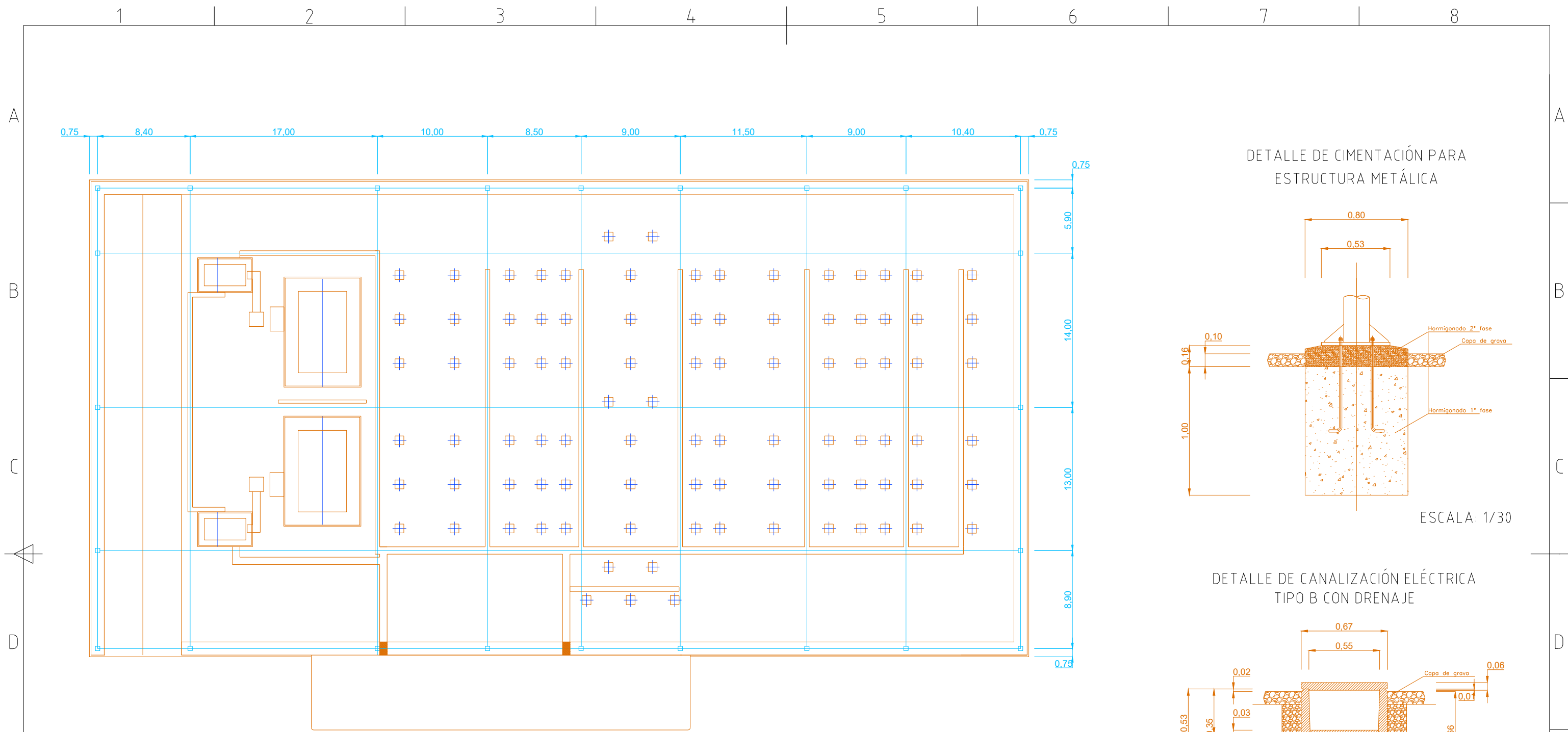
Dibujado	20/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Escala: 1/350	Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa		
Plano Nº 1: Implantación planta			



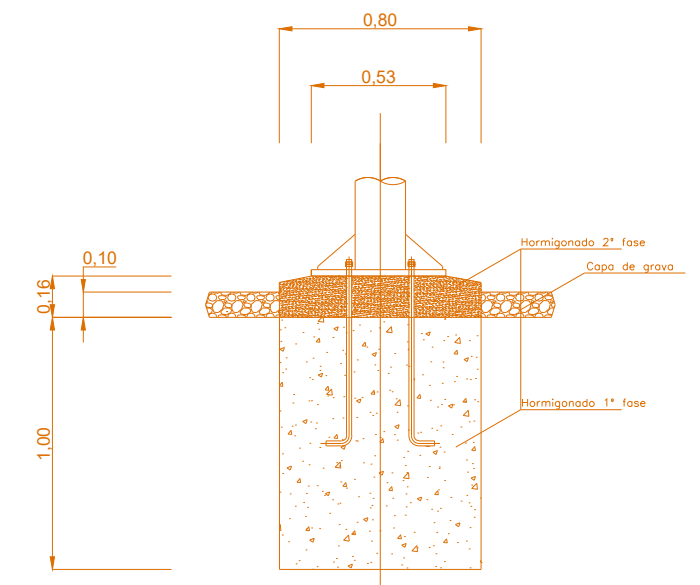
APARELLAJE		
POS	CANT	DENOMINACIÓN
A1	12	PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DE 220 KV
A2	9	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN 220 KV
A3	2	SECCIONADOR CON PUESTA A TIERRA 220 KV
A4	4	INTERRUPTOR TRIPOLAR 220 KV
A5	6	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD POSICIÓN DE LÍNEA 220 KV
A6	6	TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD POSICIÓN DE TRANSFORMADOR 220 KV
A7	4	SECCIONADOR 220 KV
A8	2	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 40MVA, 220/30KV
A9	3	EMBARRADO 220 KV, 150/125MM, ALEACIÓN DE AL
A10	15	AISLADOR C10-1050 220 KV
A11	6	AISLADOR 30 KV
A12	9	EMBARRADO 30 KV, 63/53MM, ALEACIÓN DE AL
A13	6	PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DE 30 KV
A14	2	REACTANCIA DE PUESTA A TIERRA

ESTRUCTURA METÁLICA		
POS	CANT	DENOMINACIÓN
E1	12	SOPORTE PARARRAYOS AUTOVÁLVULA 220 KV
E2	1	ESTRUCTURA DE PÓRTICO
E3	9	SOPORTE TRANSFORMADOR DE TENSIÓN DE 220 KV
E4	12	SOPORTE TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD
E5	2	SOPORTE SECCIONADOR CON PUESTA A TIERRA 220 KV
E6	4	SOPORTE INTERRUPTOR 220 KV
E7	4	SOPORTE SECCIONADOR 220 KV
E8	3	ESTRUCTURA SOPORTE DE AISLADORES DE EMBARRADO PRINCIPAL 220 KV
E9	6	SOPORTE AISLADOR 220 KV
E10	6	SOPORTE PARARRAYOS AUTOVÁLVULA 30 KV
E11	1	SOPORTE AISLADORES 30 KV

	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	20/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Escala: 1/350	Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa		
Plano Nº 2: Implantación secciones			

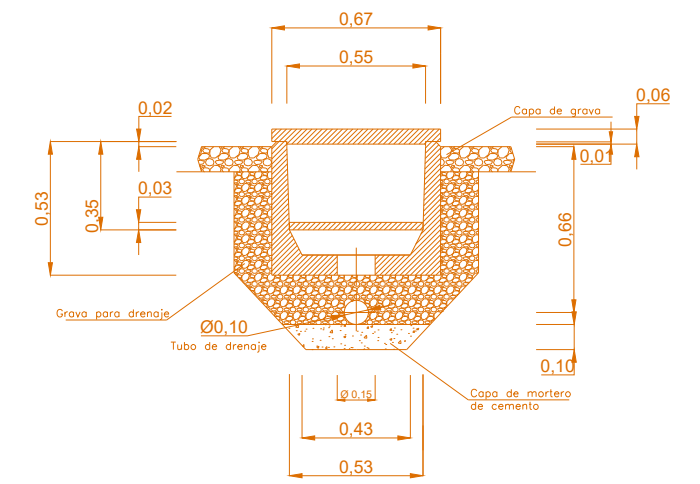


DETALLE DE CIMENTACIÓN PARA ESTRUCTURA METÁLICA



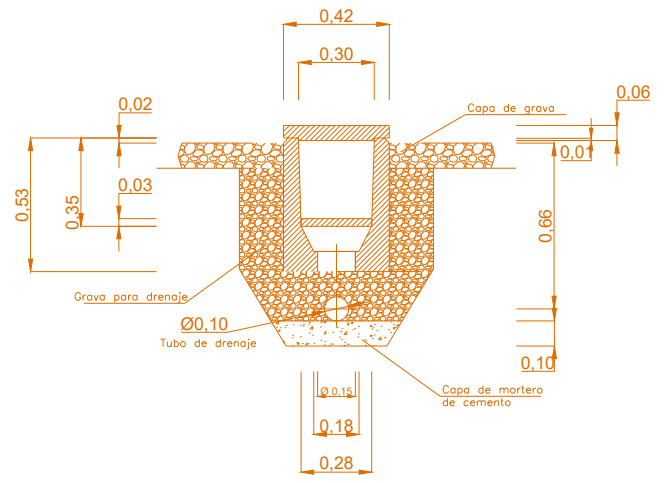
ESCALA: 1/30

DETALLE DE CANALIZACIÓN ELÉCTRICA TIPO B CON DRENAJE



ESCALA: 1/30

DETALLE DE CANALIZACIÓN ELÉCTRICA TIPO A CON DRENAJE

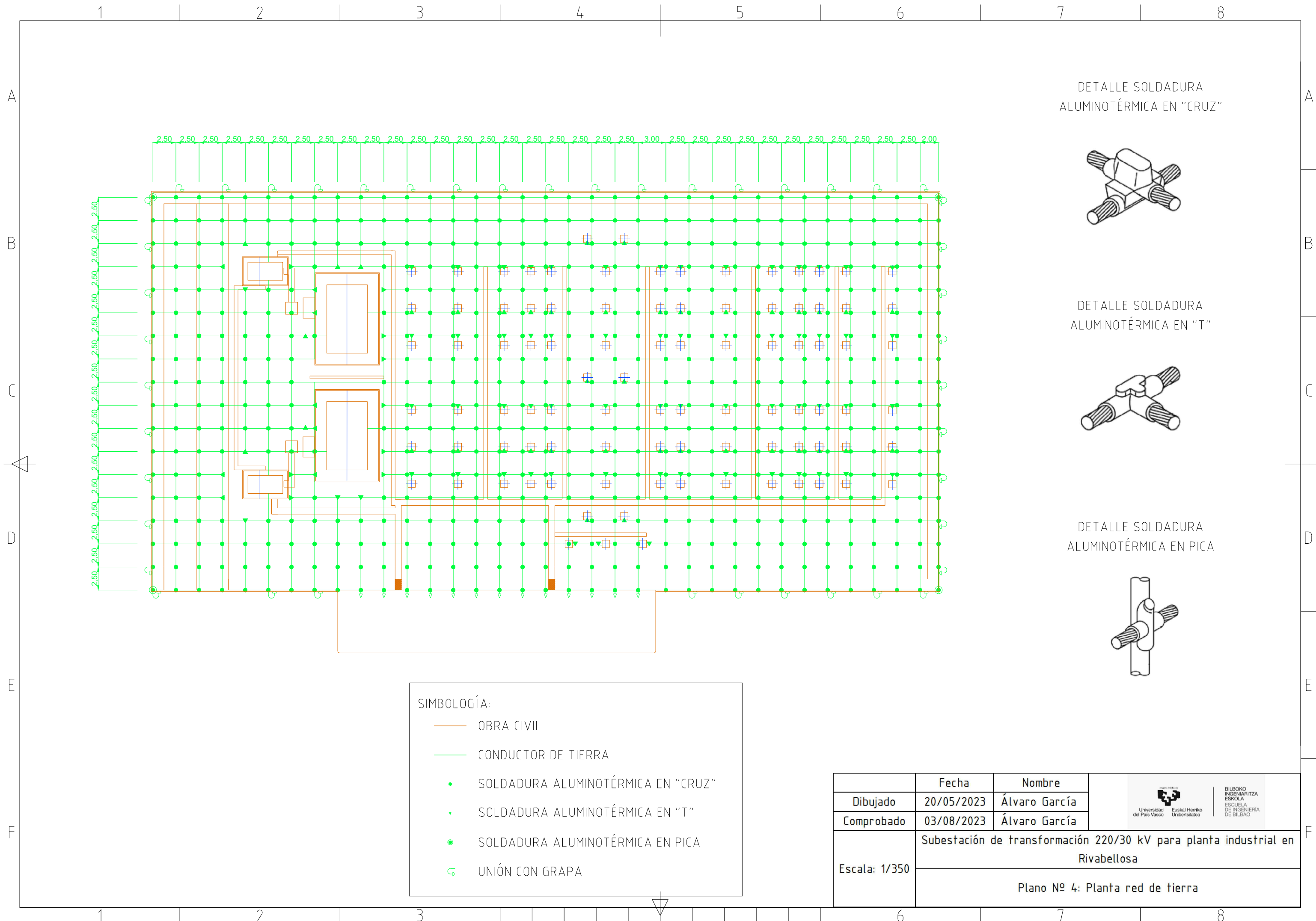


ESCALA: 1/30

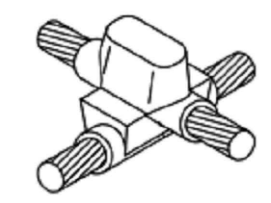
SIMBOLOGÍA:

- OBRA CIVIL
- RED DE DRENAJE
- ARQUETA DE REGISTRO

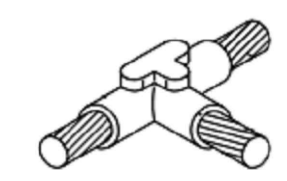
	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	20/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Escala: 1/350	Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa		
	Plano Nº 3: Planta obra civil		



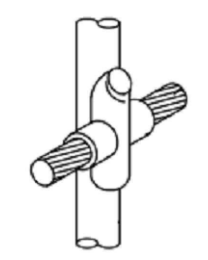
DETALLE SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN "CRUZ"



DETALLE SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN "T"



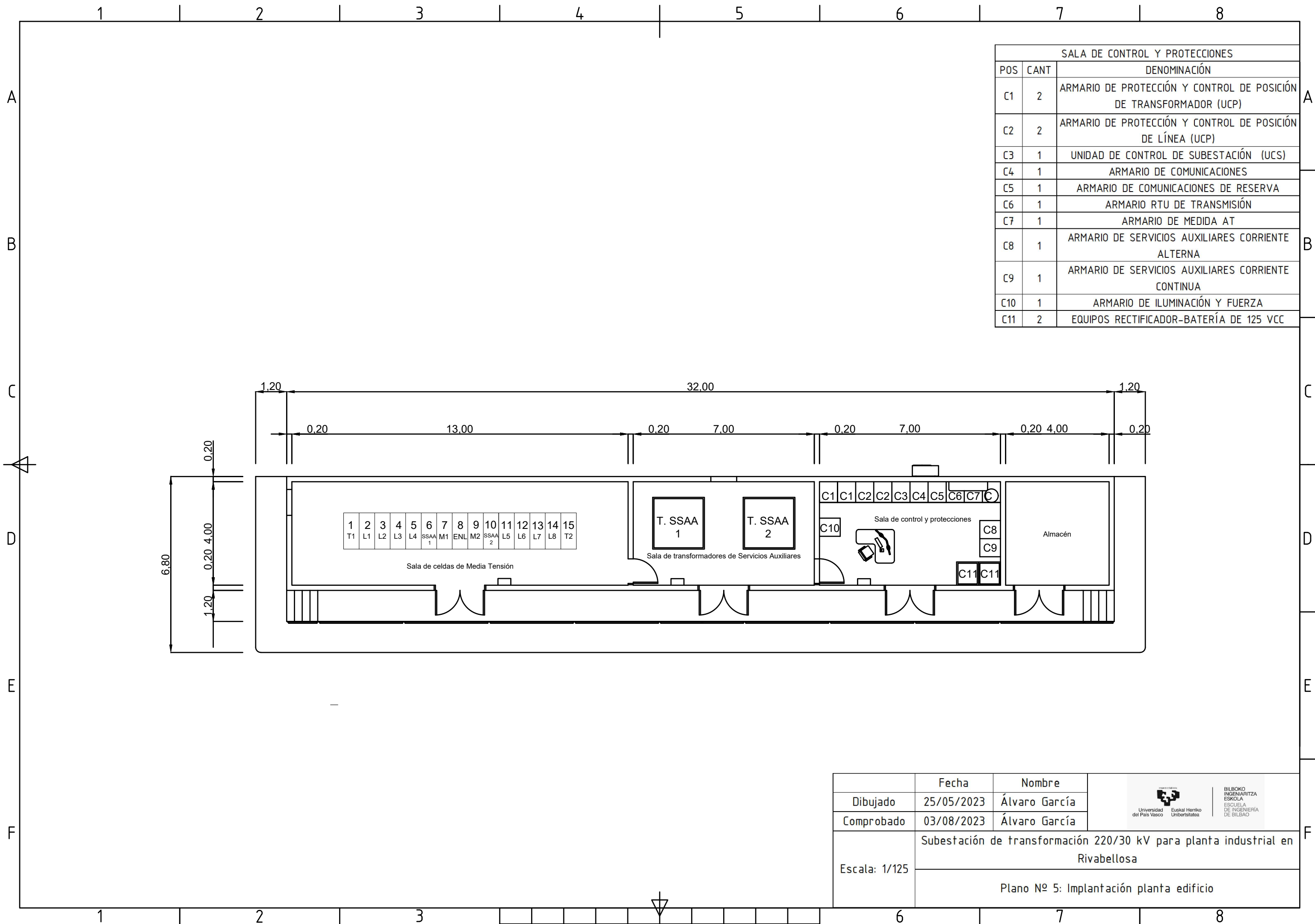
DETALLE SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN PICA



SIMBOLOGÍA:

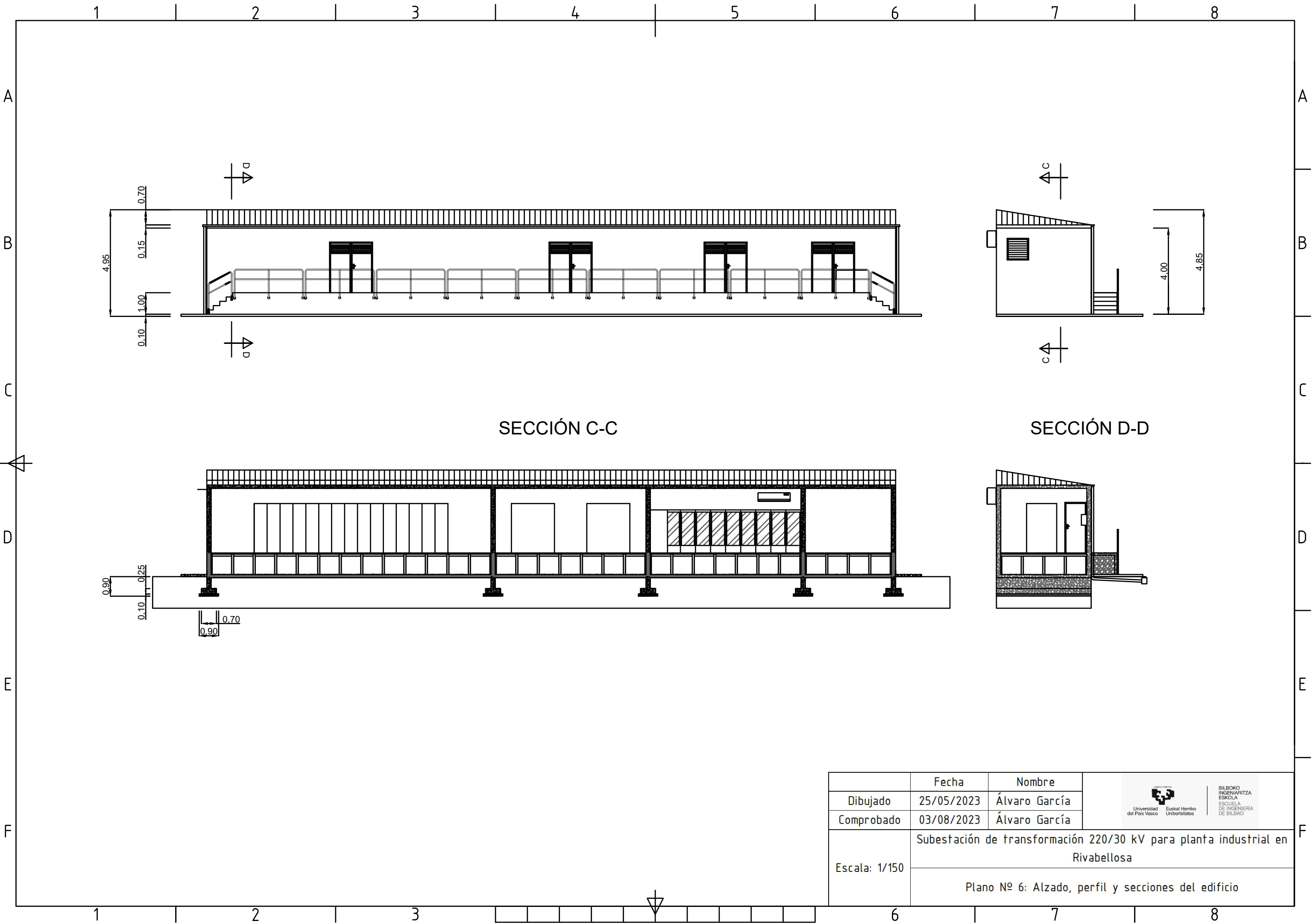
- OBRA CIVIL
- CONDUCTOR DE TIERRA
- SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN "CRUZ"
- ▼ SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN "T"
- SOLDADURA ALUMINOTÉRMICA EN PICA
- ⊕ UNIÓN CON GRAPA

	Fecha	Nombre	
Dibujado	20/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Escala: 1/350	Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa		
	Plano Nº 4: Planta red de tierra		




SALA DE CONTROL Y PROTECCIONES		
POS	CANT	DENOMINACIÓN
C1	2	ARMARIO DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE POSICIÓN DE TRANSFORMADOR (UCP)
C2	2	ARMARIO DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE POSICIÓN DE LÍNEA (UCP)
C3	1	UNIDAD DE CONTROL DE SUBESTACIÓN (UCS)
C4	1	ARMARIO DE COMUNICACIONES
C5	1	ARMARIO DE COMUNICACIONES DE RESERVA
C6	1	ARMARIO RTU DE TRANSMISIÓN
C7	1	ARMARIO DE MEDIDA AT
C8	1	ARMARIO DE SERVICIOS AUXILIARES CORRIENTE ALTERNA
C9	1	ARMARIO DE SERVICIOS AUXILIARES CORRIENTE CONTINUA
C10	1	ARMARIO DE ILUMINACIÓN Y FUERZA
C11	2	EQUIPOS RECTIFICADOR-BATERÍA DE 125 VCC

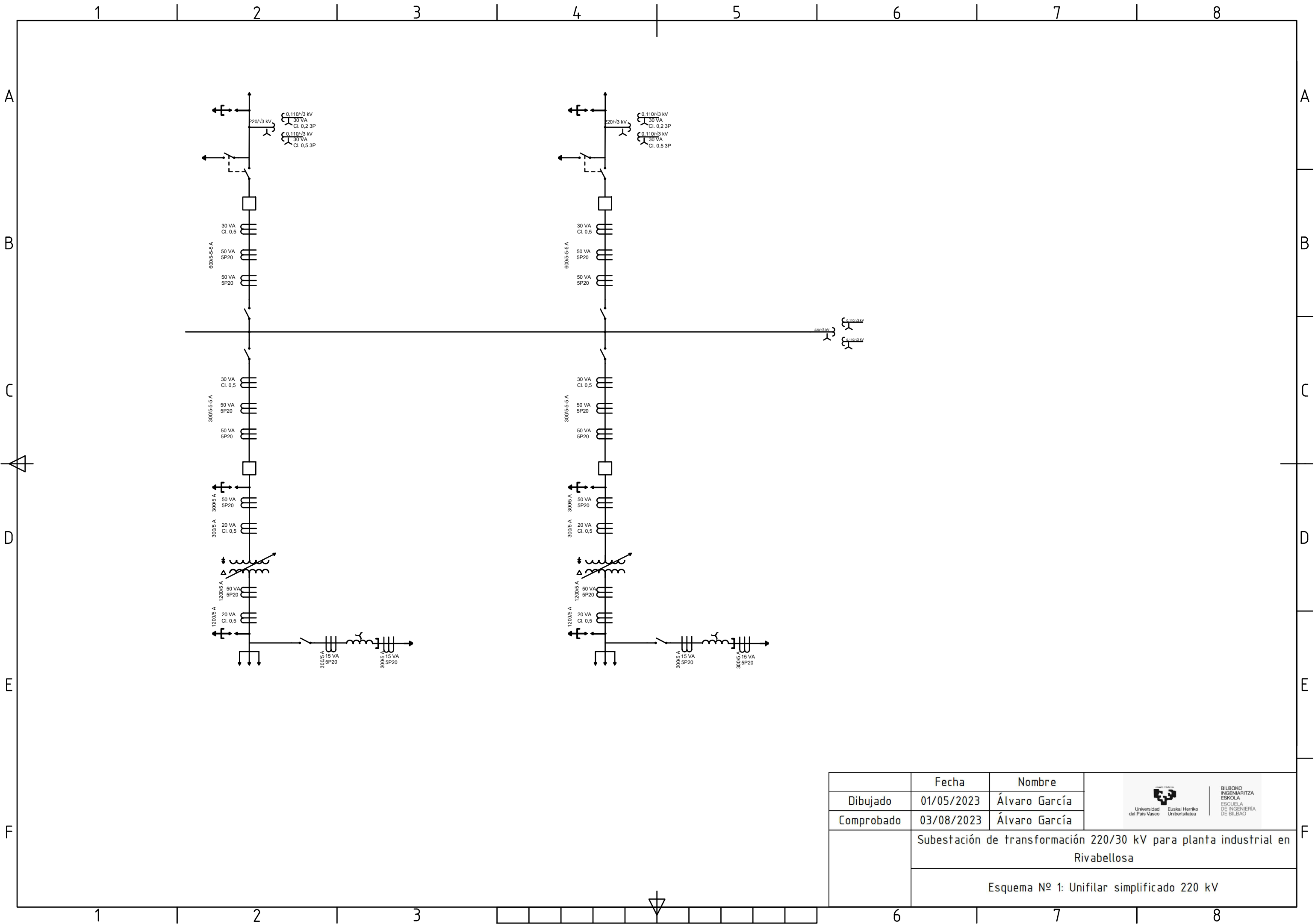
	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	25/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Escala: 1/125 Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa Plano Nº 5: Implantación planta edificio			




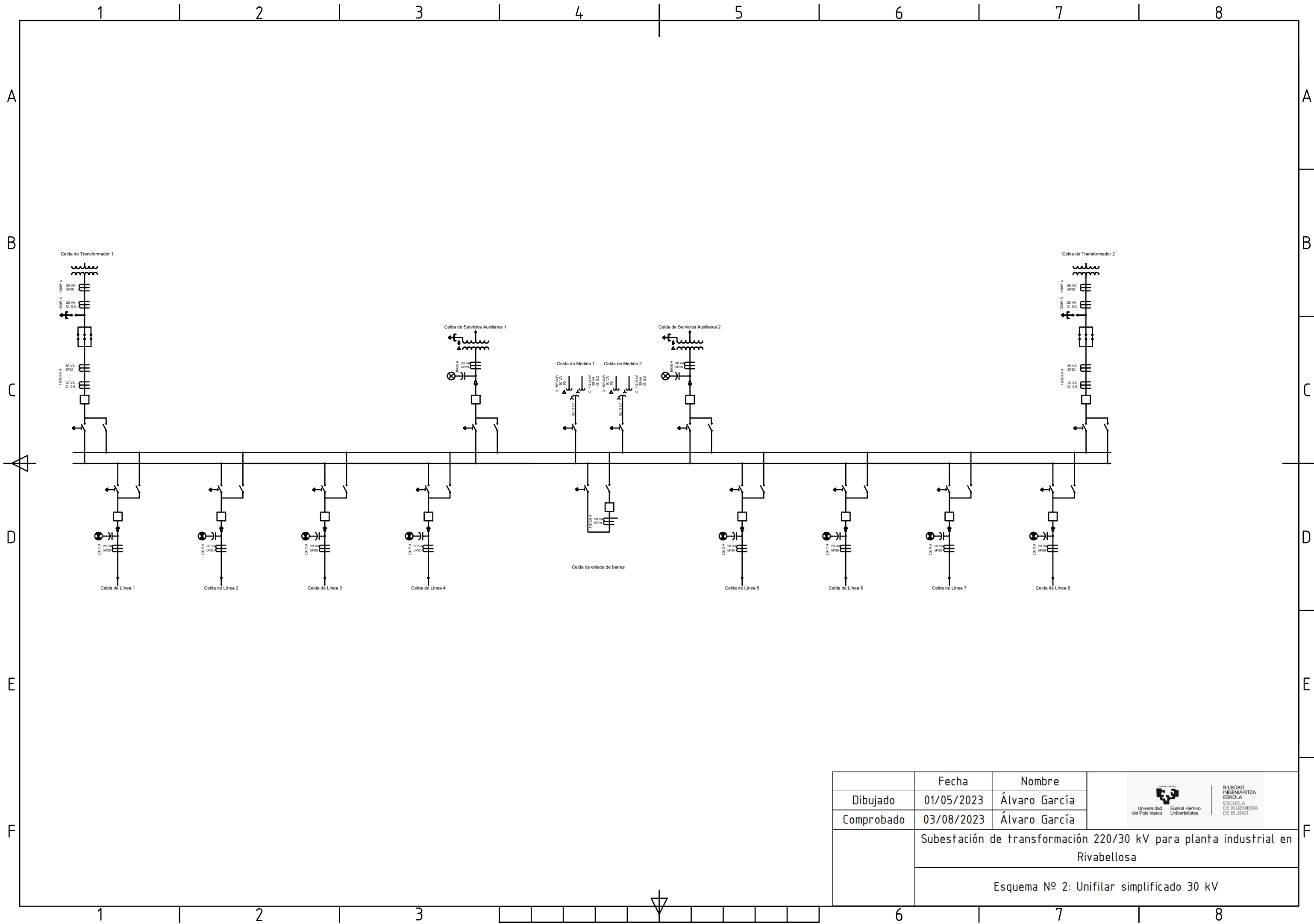
SECCIÓN C-C


SECCIÓN D-D

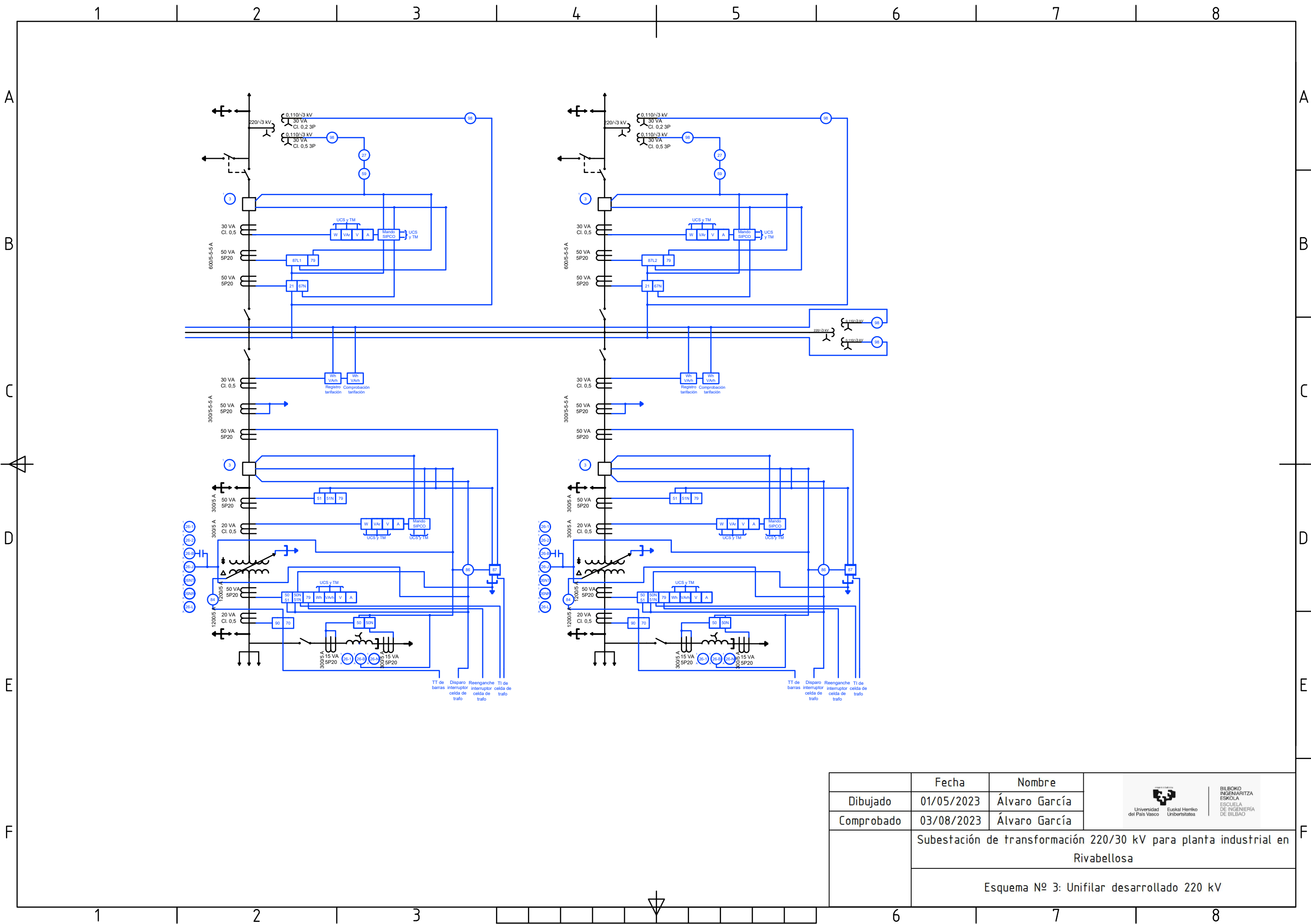
	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	25/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Escala: 1/150	Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa		
	Plano Nº 6: Alzado, perfil y secciones del edificio		




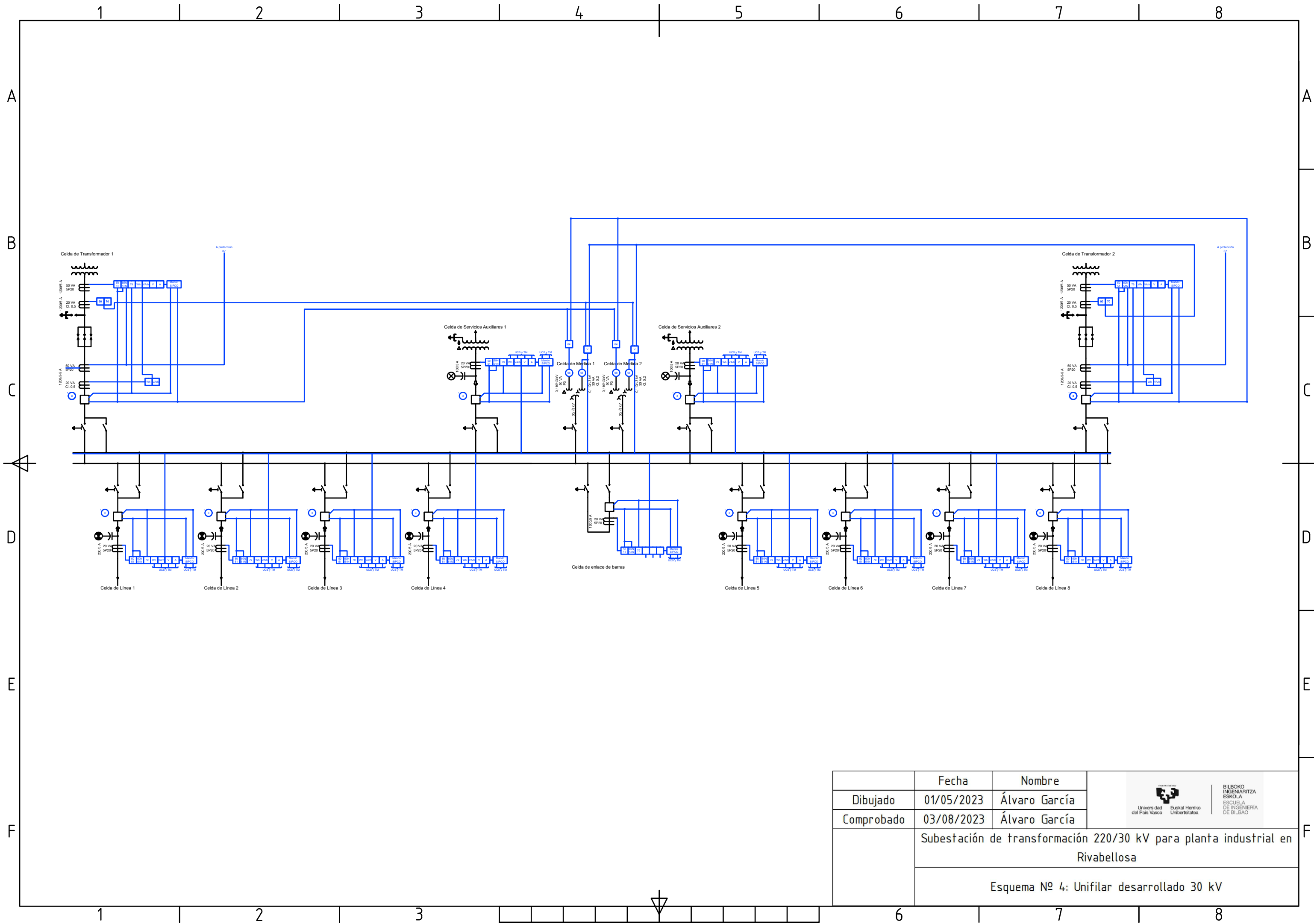
	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	01/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
			Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa
			Esquema Nº 1: Unifilar simplificado 220 kV




	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	01/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa			
Esquema Nº 2: Unifilar simplificado 30 kV			



	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO
Dibujado	01/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa			
Esquema Nº 3: Unifilar desarrollado 220 kV			



	Fecha	Nombre	 BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERIA DE BILBAO
Dibujado	01/05/2023	Álvaro García	
Comprobado	03/08/2023	Álvaro García	
Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa			
Esquema Nº 4: Unifilar desarrollado 30 kV			

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 220/30 KV PARA PLANTA INDUSTRIAL EN RIVABELLOSA

DOCUMENTO III: CÁLCULOS



Estudiante: García Quintas, Álvaro

Director/Directora: Valverde Santiago, Víctor

Curso: 2022-2023

Fecha: 04, 09, 2023

Índice

1. Coordinación de aislamiento.....	5
1.1 Niveles de aislamiento	5
1.2 Selección de pararrayos	5
1.2.1 Pararrayos de 220 kV	6
1.2.2 Pararrayos de 30 kV	6
2. Distancias mínimas.....	8
2.1 Distancias mínimas reglamentadas	8
2.2 Distancias consideradas en la instalación	9
3. Corrientes de cortocircuito	11
3.1 Consideraciones	11
3.2 Cálculo de corrientes de cortocircuito	11
4. Cálculo de embarrados.....	20
4.1 Cálculos eléctricos.....	21
4.2. Cálculos electromecánicos	22
4.2.1 Fuerza máxima debida al cortocircuito	22
4.2.2 Tensión mecánica en el conductor debida al cortocircuito.....	23
4.2.3 Fuerzas ejercidas sobre los soportes debidas al cortocircuito	26
4.2.4 Momentos de flexión en los soportes y aisladores debidos al cortocircuito	27
4.2.5 Fuerza debida a la acción del viento	27
4.2.6 Tensión mecánica en el conductor debida a la acción del viento	28
4.2.7 Fuerza debida a la acción del peso propio	28
4.2.8 Reacciones totales sobre los soportes	29
4.2.9 Tensión total	30
5. Cálculo de corrientes permanentes.....	31
5.1 Lado de 220 kV.....	31

5.1.1	Posiciones de línea y embarrados	31
5.1.2	Posiciones de transformadores	31
5.2	Lado de 30 kV	31
5.2.1	Celdas de transformadores y embarrados.....	31
5.2.2	Transformadores de servicios auxiliares	31
5.2.3	Líneas de salida de la subestación	32
6.	Cálculo de elementos de la subestación	33
6.1	Elementos de maniobra	33
6.1.1	Elección de los interruptores	33
6.1.1.1	Interruptores de 220kV	33
6.1.1.2	Interruptores de 30 kV	33
6.1.2	Elección de los seccionadores	34
6.1.2.1	Seccionadores de 220 kV.....	34
6.1.2.2	Seccionadores de 30 kV.....	34
6.2	Elementos de medida y protección	35
6.2.1	Elección de los transformadores de intensidad	35
6.2.1.1	Transformadores de intensidad de posiciones de línea 220 kV	35
6.2.1.2	Transformadores de intensidad de posiciones de transformador 220 kV ...	36
6.2.1.3	Transformadores de intensidad del transformador de potencia del lado de 220 kV	36
6.2.1.4	Transformadores de intensidad del transformador de potencia del lado de 30 kV	36
6.2.1.5	Transformadores de intensidad de las reactancias de puesta a tierra	36
6.2.1.6	Transformadores de intensidad de las celdas de Media Tensión de transformadores.....	36
6.2.1.7	Transformadores de intensidad de las celdas de Media Tensión de línea .	36
6.2.1.8	Transformadores de intensidad de la celda de Media Tensión de enlace de barras	37
6.2.1.9	Transformadores de intensidad de las celdas de Media Tensión de servicios auxiliares.....	37
6.2.1.10	Consumo de los transformadores de intensidad de Alta Tensión	37

6.2.2 Elección de los transformadores de tensión	38
6.2.2.1 Transformadores de tensión de 220 kV	38
6.2.2.2 Transformadores de tensión de 30 kV	38
6.2.2.3 Consumo de los transformadores de tensión	38
6.3 Cálculo de los servicios auxiliares.....	39
6.3.1 Sistemas de corriente alterna.....	39
6.3.1.1 Circuito de control	39
6.3.1.2 Circuito de fuerza	40
6.3.1.3 Circuito de alumbrado	41
6.3.1.4 Circuito de emergencia.....	41
6.3.2 Sistemas de corriente continua	41
7. Red de tierras	42
7.1 Datos de partida	42
7.2 Cálculo de la resistencia de puesta a tierra.....	42
7.3 Cálculo del conductor de tierra.....	44
7.3 Cálculo de tensiones de paso y contacto admisibles	44

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Esquema reducido de la subestación de transformación.....</i>	12
<i>Figura 2. Esquema eléctrico con casos de estudio de faltas.....</i>	14
<i>Figura 3. Reducción de red de secuencia directa de falta en C1.</i>	14
<i>Figura 4. Reducción de red de secuencia directa de falta en C2.</i>	15
<i>Figura 5. Reducción de red de secuencia directa de falta en C3.</i>	16
<i>Figura 6. Reducción de red de secuencia directa de falta en C4.</i>	17
<i>Figura 7. Grafica de tensión de contacto aplicada según la corriente de falta.....</i>	45

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Niveles de aislamiento definidos en la ITC-RAT 12.</i>	5
<i>Tabla 2. Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases “d”.....</i>	8
<i>Tabla 3. Altura mínima “h” sobre los pasillos.</i>	8
<i>Tabla 4. Anchuras mínimas de los pasillos de servicio.</i>	9
<i>Tabla 5. Distancia horizontal mínima “G” al vallado.....</i>	9
<i>Tabla 6. Distancias consideradas en la instalación.....</i>	9
<i>Tabla 7. Embarrados de 220 kV. Características técnicas principales.....</i>	20
<i>Tabla 8. Cables de 220 kV. Características técnicas principales.</i>	21
<i>Tabla 9. Valores máximos posibles de $V_{\sigma m}$, $V_{\sigma s}$, $V_{r s}$, V_f y $V_{r m}$.....</i>	24
<i>Tabla 10. Factores α, β y γ para las diferentes disposiciones de embarrados.</i>	24
<i>Tabla 11. Factor q.</i>	25
<i>Tabla 12. Corrientes admisibles en amperios según tamaño del conductor y el método de instalación.</i>	40
<i>Tabla 13. Resistencia de puesta a tierra según método de cálculo.</i>	44
<i>Tabla 14. Tensión de contacto aplicada según la corriente de falta.....</i>	45
<i>Tabla 15. Coeficiente reductor, tensión de contacto y paso admisibles según el método de cálculo.....</i>	47

1. Coordinación de aislamiento

En las subestaciones de transformación la coordinación del aislamiento garantiza que los equipos y componentes que la conforman estén protegidos contra sobretensiones y descargas eléctricas que puedan dañarlos o incluso provocar un fallo general en el sistema. Los cálculos de la coordinación de aislamiento establecen las tensiones soportadas normalizadas de los equipos. Se deben considerar las sobretensiones que puedan aparecer, las condiciones medioambientales de la zona de implantación y las medidas de protección instaladas.

1.1 Niveles de aislamiento

Los niveles de aislamiento que se deben adoptar quedan definidos en el “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión”, en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 12. La Tabla 1 refleja los valores de aislamiento definidos.

Tensión Nominal (kV)	Tensión más elevada para el material (Um) (kV)	Tensión soportada nominal a frecuencia industrial (kV eficaces) NBS	Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV de cresta) NBI
30	36	170	70
220	245	1050	460

Tabla 1. Niveles de aislamiento definidos en la ITC-RAT 12.

1.2 Selección de pararrayos

Los pararrayos proporcionan protección contra sobretensiones y descargas eléctricas de origen atmosférico. Se definen mediante la tensión nominal y la corriente de descarga.

La tensión nominal se define como la tensión de trabajo permanente que puede soportar la frecuencia industrial.

$$V_n = k_e \cdot V_{max} \quad (1)$$

Dónde:

- V_n es la tensión de trabajo continuo.
- k_e es 1 en sistemas con neutro aislado.
- k_e es 0.8 en sistemas con neutro a tierra.
- V_{max} es la tensión más elevada de la red (U_s) y para el material (U_m).

Además, se incrementa en un 10% el valor de V_n calculado, como coeficiente de seguridad.

La corriente de descarga se define como el valor pico de la corriente normalizada de 8/20 μ s, que el pararrayos es capaz de conducir sin que sufra daños.

$$I_d = \frac{2 \cdot NBI}{Z_0} \quad (2)$$

Dónde:

- I_d es la corriente de descarga del pararrayos.
- NBI es la tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo
- Z_0 es la impedancia característica de la línea con valores típicos entre 75 Ω y 250 Ω para configuraciones de línea de doble circuito dúplex, dependiendo del conductor utilizado.

1.2.1 Pararrayos de 220 kV

Para el sistema de 220 kV la tensión más elevada para el material (U_m) es de 245 kV y se trata de un sistema con neutro aislado, por lo que $k_e = 1$.

$$V_n' = k_e \cdot V_{\max} = 1 \cdot 245 \text{ kV} = 245 \text{ kV} \quad (3)$$

Aplicando el coeficiente de seguridad del 10% se obtiene la tensión de trabajo permanente o nominal que deben soportar los pararrayos situados en la parte de Alta Tensión.

$$V_n = 1,1 \cdot V_n' = 1,1 \cdot 245 \text{ kV} = 269,500 \text{ kV} \quad (4)$$

Se toma 270 kV como tensión de trabajo permanente que deben soportar a frecuencia industrial.

$$V_n = 270 \text{ kV} \quad (5)$$

La corriente de descarga suponiendo el valor más desfavorable de impedancia (75 Ω) es:

$$I_d = \frac{2 \cdot NBI}{Z_0} = \frac{2 \cdot 460}{75} = 12,260 \text{ kA} \quad (6)$$

Se toma el valor normalizado de $I_d = 20 \text{ kA}$ de corriente de descarga.

$$I_d = 20 \text{ kV} \quad (7)$$

1.2.2 Pararrayos de 30 kV

Para el sistema de 30 kV la tensión más elevada para el material (U_m) es de 36 kV y se trata de un sistema con neutro a tierra, por lo que $k_e = 0,8$.

$$V_n' = k_e \cdot V_{\max} = 0,8 \cdot 36 \text{ kV} = 28,800 \text{ kV} \quad (8)$$

Aplicando el coeficiente de seguridad del 10% se obtiene la tensión de trabajo permanente o nominal que deben soportar los pararrayos situados en la parte de Media Tensión.

$$V_n = 1,1 \cdot V_n' = 1,1 \cdot 28,8 \text{ kV} = 31,680 \text{ kV} \quad (9)$$

Se toma 32 kV como tensión de trabajo permanente que deben soportar a frecuencia industrial.

$$V_n = 32 \text{ kV} \quad (10)$$

La corriente de descarga suponiendo el valor más desfavorable de impedancia (75Ω) es:

$$I_d = \frac{2 \cdot NBI}{Z_0} = \frac{2 \cdot 70}{75} = 1,867 \text{ kA} \quad (11)$$

Se toma el valor normalizado de $I_d = 10 \text{ kA}$ de corriente de descarga.

$$I_d = 10 \text{ kV} \quad (12)$$

2. Distancias mínimas

2.1 Distancias mínimas reglamentadas

En el “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión” en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 12 se establecen las distancias mínimas de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases según la tensión más elevada para el material (U_m).

Tensión más elevada para el material (U_m) (kV)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm) "d"
36	320
245	2100

Tabla 2. Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases “d”.

Los valores indicados en la Tabla 2 son valores mínimos que pueden verse incrementados por diversos efectos como cortocircuitos, viento, seguridad del personal, tolerancias de construcción, etc. Por ello, se garantiza que las distancias seleccionadas sean siempre mayores a las establecidas en la norma.

En el caso de este proyecto no aplica la corrección de distancias mínimas para instalaciones situadas a más de 1.000 metros de altitud.

Tal y como se establece en los puntos 6.1.2 de la ITC-RAT 14 y 4.1.2 de la ITC-RAT 15, la altura mínima “h” de los elementos de tensión no protegidos de la instalación exterior sobre los pasillos de servicio de la subestación se define mediante la expresión:

$$h = 250 + d \text{ (cm)} \quad (13)$$

Dónde:

- d es el valor definido en la Tabla 2.

Tensión Nominal (kV)	Altura mínima “h” sobre los pasillos en (mm)
30	2820
220	4600

Tabla 3. Altura mínima “h” sobre los pasillos.

Los pasillos de servicio tanto en la instalación exterior como en la interior deben tener anchura suficiente para permitir la maniobra e inspección. Las anchuras mínimas quedan definidas en el apartado 6.1.1 de la ITC-RAT 14.

Pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a un solo lado	1 m
Pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a ambos lados	1,2 m
Pasillos de inspección con elementos en alta tensión a un solo lado	0,8 m
Pasillos de inspección con elementos en alta tensión a ambos lados	1 m

Tabla 4. Anchuras mínimas de los pasillos de servicio.

Con el fin de evitar los contactos accidentales de partes activas de la instalación con el cierre del recinto, en el apartado 4.3.1 de la ITC-RAT 15 se establecen las distancias horizontales mínimas. La altura del vallado perimetral es de 2,20 m, por lo que al ser la altura del enrejado $k \geq 220$ cm, para determinar la distancia horizontal mínima, se emplea la expresión:

$$G = d + 150 \text{ (cm)} \quad (14)$$

Dónde:

- d es el valor definido en la Tabla 2.

Tensión Nominal (kV)	Distancia horizontal mínima "G" al vallado en (mm)
30	1820
220	3600

Tabla 5. Distancia horizontal mínima "G" al vallado.

2.2 Distancias consideradas en la instalación

De acuerdo con los planos del proyecto las distancias consideradas en la instalación son las siguientes:

	Medida Real en mm
Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases "d"	6000
Altura mínima "h" sobre los pasillos	6000
Anchura mínima de pasillos de maniobra e inspección	2100
Distancia horizontal mínima "G" al vallado	5000

Tabla 6. Distancias consideradas en la instalación.

El embarrado principal se sitúa a 10 m con respecto del suelo y las conexiones de la aparataje se sitúan a 6 m de altura. La altura de salida de los embarrados de salida de los

transformadores es de 4,3 m y la distancia entre fases de los embarrados o cables desnudos de 30 kV es mayor a los 50 cm establecidos en la norma.

Por tanto, se cumplen todas las distancias mínimas estipuladas por la ITC-RAT 15.

3. Corrientes de cortocircuito

3.1 Consideraciones

Para la realización del cálculo de cortocircuito en la subestación de transformación se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se realiza el cálculo de las corrientes de cortocircuito en los diferentes puntos de la subestación considerando una falta trifásica. Se considera el escenario de falta trifásica porque generalmente es la que mayores corrientes de cortocircuito produce y, por tanto, las condiciones más desfavorables para los elementos que componen la subestación.
- Se desprecian los valores de las resistencias, tomándose como valor total de las impedancias el valor de las reactancias. Esta consideración en la que se desprecian las resistencias es aceptable en sistemas de corriente alterna y tensión mayor que 600 V, como es el caso de la subestación.
- Las impedancias se calculan referidas al voltaje del punto en el que se produce la falta.
- Los valores de las reactancias que proporcionan los fabricantes de los transformadores se refieren a los valores de potencia aparente nominal de los mismos. Se efectúa un cambio de base para expresar los valores en p.u. con respecto a los valores base del sistema.

3.2 Cálculo de corrientes de cortocircuito

La subestación de transformación se reduce al esquema mostrado en la Figura 1.

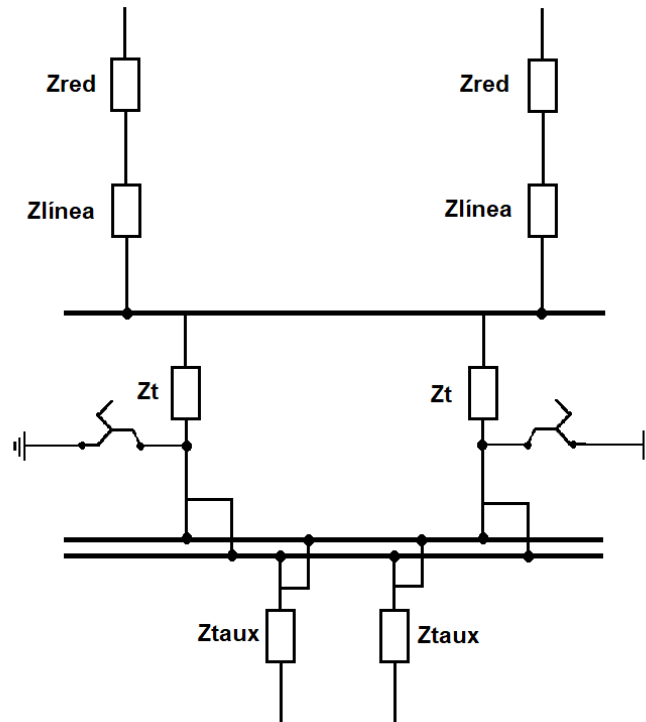


Figura 1. Esquema reducido de la subestación de transformación.

A continuación, se calculan las impedancias de los elementos que componen el esquema. Para ello, se definen unos valores base para trabajar en valores por unidad (p.u.).

$$S_{nBase} = 100 \text{ MVA} ; U_n = 220 \text{ kV} \quad (15)$$

Se emplea la potencia de cortocircuito trifásico que indica la compañía para la zona.

$$S_{cc} = 4000 \text{ MVA} \quad (16)$$

- Impedancia de red

La impedancia de red se calcula de la siguiente forma:

$$Z_{red} = \frac{U_n^2}{S_{cc}} = \frac{220000^2}{4000 \cdot 10^6} = 12,100 \Omega \quad (17)$$

$$Z_b = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{220000^2}{100 \cdot 10^6} = 484 \Omega \quad (18)$$

El valor de la impedancia de red en p.u. es:

$$Z_{red \text{ p.u.}} = \frac{Z_{red}}{Z_b} = \frac{12,1 \Omega}{484 \Omega} = 0,025 \text{ p.u.} \quad (19)$$

- Impedancia de línea

La impedancia de las líneas se calcula de la siguiente forma:

$$X_{\text{línea p.u.}} = \frac{S_b}{S_{cc}} = \frac{100 \text{ MVA}}{4000 \text{ MVA}} = 0,025j \text{ p.u.} \quad (20)$$

Debido a la cercanía entre las líneas de transporte y la subestación, se desprecia la distancia de desviación.

Ambas líneas de la subestación tienen la misma impedancia.

- Impedancia de los transformadores de potencia

La impedancia de los transformadores de potencia se calcula de la siguiente forma:

$$X_{\text{transformador p.u.}} = U_{cc} \cdot \frac{S_b}{S_n \text{ transformador}} = 0,15 \cdot \frac{100 \text{ MVA}}{40 \text{ MVA}} = 0,375j \text{ p.u.} \quad (21)$$

Dónde:

- U_{cc} es la tensión de cortocircuito proporcionada por el fabricante, en este caso de 15%.

Ambos transformadores de potencia son el mismo modelo por lo que tienen igual valor de impedancia.

- Impedancia de los transformadores de potencia

La impedancia de los transformadores de potencia se calcula de la siguiente forma:

$$X_{\text{taux p.u.}} = U_{cc} \cdot \frac{S_b}{S_n \text{ transformador}} = 0,6 \cdot \frac{100 \text{ MVA}}{250 \text{ kVA}} = 24j \text{ p.u.} \quad (22)$$

Dónde:

- U_{cc} es la tensión de cortocircuito proporcionada por el fabricante, en este caso de 6%.

Ambos transformadores de servicios auxiliares son el mismo modelo por lo que tienen igual valor de impedancia.

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se deben reducir los valores de las impedancias al punto en el que se produce la falta trifásica. En la Figura 2, se muestran todos los posibles puntos de falta que se van a analizar.

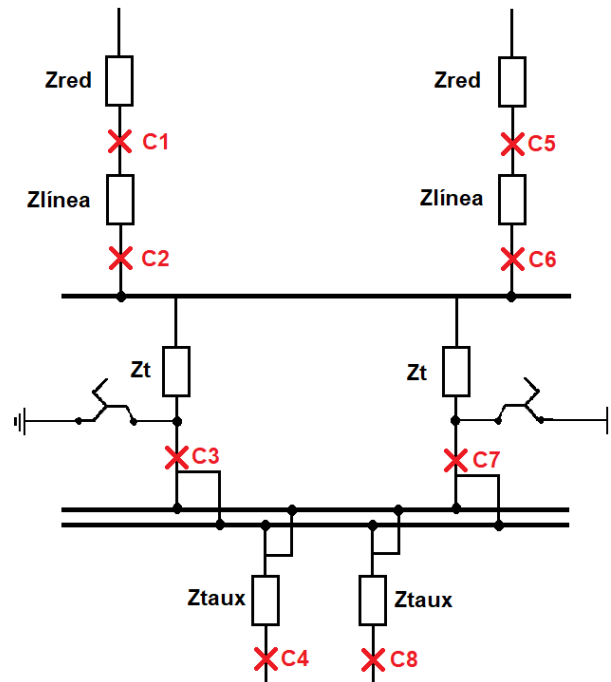


Figura 2. Esquema eléctrico con casos de estudio de faltas.

- Falta en C1

Se reducen las impedancias de los elementos al punto C1, despreciando los elementos aguas abajo del cortocircuito. Al tratarse de una falta trifásica solo es necesario calcular la Red de Secuencia Directa.

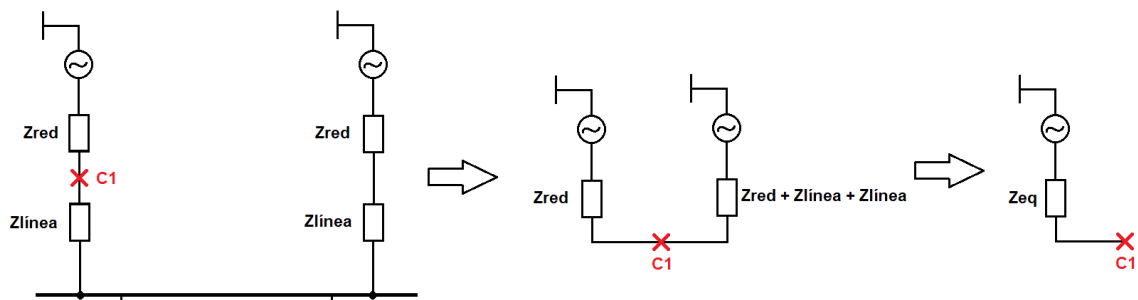


Figura 3. Reducción de red de secuencia directa de falta en C1.

Las dos impedancias de línea y la impedancia de red quedan en serie por lo que se suman de la siguiente forma:

$$Z_{red} + Z_{línea} + Z_{línea} = 0,025j + 0,025j + 0,025j = 0,075 j p. u. \quad (23)$$

La impedancia resultante de la suma de la expresión (23) queda en paralelo con la impedancia de red, por lo que la suma es:

$$Z_{eq} = \frac{0,025 j \cdot 0,075 j}{0,025 j + 0,075 j} = 0,01875 j p. u. \quad (24)$$

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc1} = \frac{S_{nBase}}{X_{eq}} = \frac{100 MVA}{0,01875 p. u.} = 5333,333 MVA \quad (25)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc1} = \frac{S_{ccc1}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5333,3 MVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV} = 13,996 kA \quad (26)$$

Dónde:

- U_n es la tensión nominal en el punto de cortocircuito.
- Falta en C2

Se reducen las impedancias de los elementos al punto C2, despreciando los elementos aguas abajo del cortocircuito. Al tratarse de una falta trifásica solo es necesario calcular la Red de Secuencia Directa.

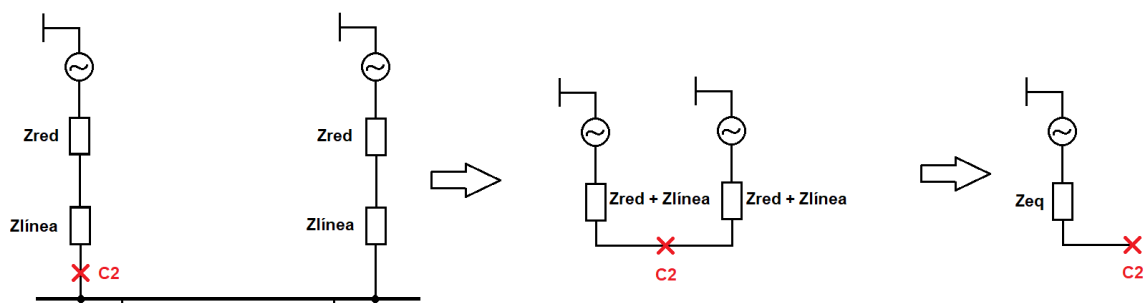


Figura 4. Reducción de red de secuencia directa de falta en C2.

Las impedancias de red y de línea de ambos lados están en serie por lo que se suman de la siguiente forma:

$$Z_{red} + Z_{línea} = 0,025j + 0,025j = 0,05 j p. u. \quad (27)$$

Las impedancias resultantes quedan en paralelo, por lo que la suma es:

$$Z_{eq} = \frac{0,05 j \cdot 0,05 j}{0,05 j + 0,05 j} = 0,025 j p. u. \quad (28)$$

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc2} = \frac{S_{nBase}}{X_{eq}} = \frac{100 \text{ MVA}}{0,025 \text{ p.u.}} = 4000 \text{ MVA} \quad (29)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc2} = \frac{S_{ccc2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4000 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 10,497 \text{ kA} \quad (30)$$

Dónde:

- U_n es la tensión nominal en el punto de cortocircuito.
- Falta en C3

Se reducen las impedancias de los elementos al punto C3, despreciando los elementos abajo del cortocircuito. Al tratarse de una falta trifásica solo es necesario calcular la Red de Secuencia Directa.

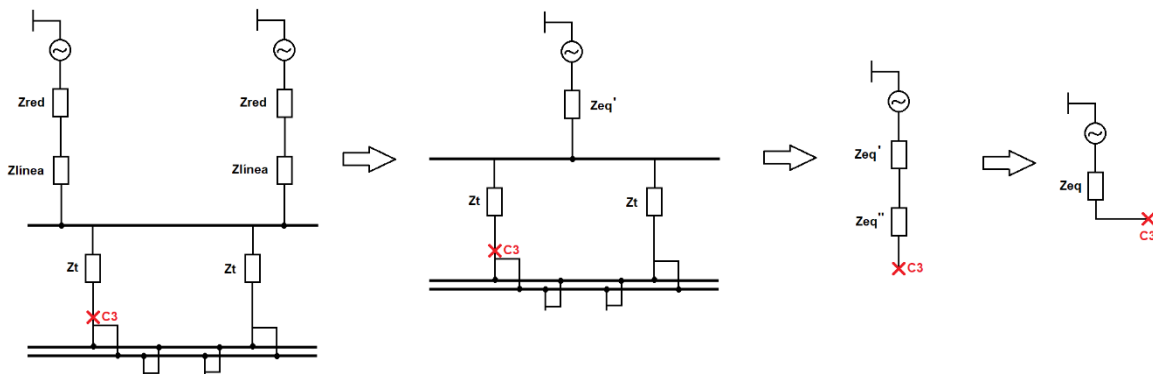


Figura 5. Reducción de red de secuencia directa de falta en C3.

Se calculan las impedancias Z_{eq}' y Z_{eq}'' mostradas en la Figura 5.

$$Z_{eq}' = \frac{0,05 j \cdot 0,05 j}{0,05 j + 0,05 j} = 0,025 j \text{ p.u.} \quad (31)$$

$$Z_{eq}'' = \frac{0,375 j \cdot 0,375 j}{0,375 j + 0,375 j} = 0,1875 j \text{ p.u.} \quad (32)$$

La impedancia equivalente del circuito es:

$$Z_{eq} = 0,025 j + 0,1875 j = 0,2125 j \text{ p.u.} \quad (33)$$

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc3} = \frac{S_{nBase}}{X_{eq}} = \frac{100 \text{ MVA}}{0,2125 \text{ p.u.}} = 470 \text{ MVA} \quad (34)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc3} = \frac{S_{ccc2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{470 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV}} = 9,056 \text{ kA} \quad (35)$$

Dónde:

- U_n es la tensión nominal en el punto de cortocircuito.
- Falta en C4

Se reducen las impedancias de los elementos al punto C4, despreciando los elementos aguas abajo del cortocircuito. Al tratarse de una falta trifásica solo es necesario calcular la Red de Secuencia Directa.

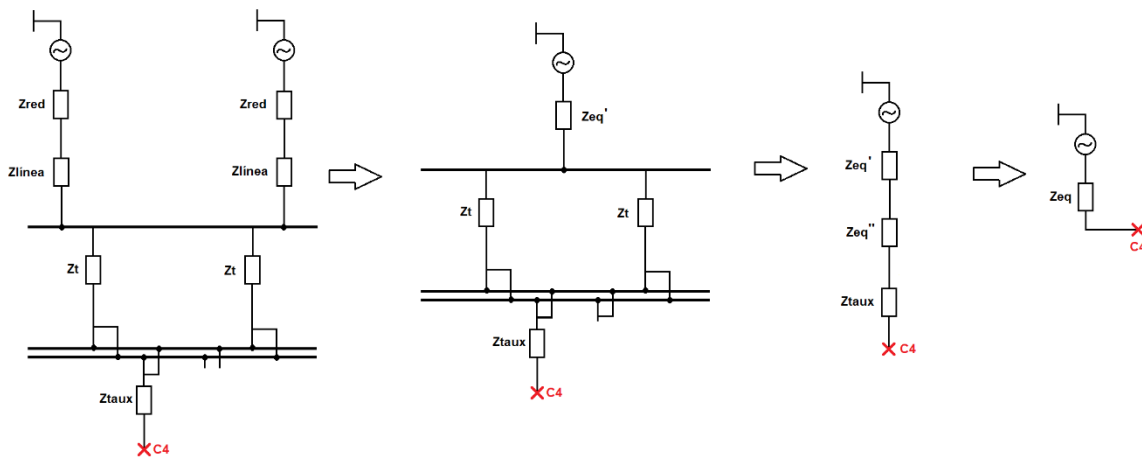


Figura 6. Reducción de red de secuencia directa de falta en C4.

Se calculan las impedancias $Z_{eq'}$ y $Z_{eq''}$ mostradas en la Figura 6.

$$Z_{eq'} = \frac{0,05 j \cdot 0,05 j}{0,05 j + 0,05 j} = 0,025 j \text{ p.u.} \quad (36)$$

$$Z_{eq''} = \frac{0,375 j \cdot 0,375 j}{0,375 j + 0,375 j} = 0,1875 j \text{ p.u.} \quad (37)$$

La impedancia equivalente del circuito es:

$$Z_{eq} = 0,025 j + 0,1875 j + 24 j = 24,2125 j \text{ p.u.} \quad (38)$$

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc4} = \frac{S_{nBase}}{X_{eq}} = \frac{100 \text{ MVA}}{24,2125 \text{ p.u.}} = 4,130 \text{ MVA} \quad (39)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc4} = \frac{S_{ccc2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4,13 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 420 \text{ kV}} = 5,677 \text{ kA} \quad (40)$$

Dónde:

- U_n es la tensión nominal en el punto de cortocircuito.

- Falta en C5

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc5} = 5333,333 \text{ MVA} \quad (41)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc5} = 13,996 \text{ kA} \quad (42)$$

- Falta en C6

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc6} = 4000 \text{ MVA} \quad (43)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc6} = 10,497 \text{ kA} \quad (44)$$

- Falta en C7

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc7} = 470 \text{ MVA} \quad (45)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc7} = 9,056 \text{ kA} \quad (46)$$

- Falta en C8

La potencia de cortocircuito es:

$$S_{ccc8} = 4,130 \text{ MVA} \quad (47)$$

Por último, la intensidad de cortocircuito es:

$$I_{ccc8} = 5,677 \text{ kA} \quad (48)$$

4. Cálculo de embarrados

El cálculo de embarrados tiene como objetivo principal verificar el diseño del embarrado de 220 kV y sus aisladores.

Los embarrados de 220 kV están constituidos por perfiles de aleación de aluminio de 150/125 mm de diámetro con las siguientes características:

Embarrados de 220 kV	
Diámetro exterior	150 mm
Diámetro interior	125 mm
Espesor	13 mm
Sección	5.400 mm ²
Peso	14.579 g/m
Intensidad admitida desde 65°C	3.660 A
Intensidad admitida desde 85°C	4.838 A
Momento de inercia	1.286,63 cm ⁴
Momento de elasticidad	171.55 cm ³
Conductividad térmica	201 W/m·K
Conductividad eléctrica a 20°C	53 % IACS
Resistividad eléctrica a 20°C	0,0325 μΩ·m
Coefficiente de temperatura de resistencia eléctrica a 20°C	0,0035 K ⁻¹

Tabla 7. Embarrados de 220 kV. Características técnicas principales.

Las conexiones entre la aparatenta se realizan con cable desnudo de aluminio con alma de acero con designación 483-AL1/33-ST1A con las siguientes características:

Cables 220 kV	
Designación	483-AL1/33-ST1A
Designación antigua	LA 510 RAIL
Secciones: - AL1 - ST1A - Total	483,4 mm ² 33,4 mm ² 516,8 mm ²
Número de alambres: - AL1 - ST1A	45 7
Diámetro de los alambres: - AL1 - ST1A	3,70 mm 2,47 mm
Diámetro: - Alma - Conductor	7,39 mm 29,59 mm
Masa lineal	1600 Kg/km
Carga de rotura	11580 daN
Resistencia en cortocircuito a 20°C	0,0599 Ω/km
Módulo de elasticidad	6600 daN/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	20,9 daN/mm ²
Densidad de corriente	1,70 A/mm ²
Intensidad de corriente	882 A

Tabla 8. Cables de 220 kV. Características técnicas principales.

La intensidad cortocircuito en las barras corresponde al caso de Falta en C2 analizado en el apartado 3.2 del presente documento. Su valor es de $I_{ccc2} = 10,497 \text{ kA}$.

4.1 Cálculos eléctricos

Según las especificaciones técnicas definidas para los perfiles tubulares que componen los embarrados de 220 kV, admiten una intensidad permanente desde 65°C de 3.660 A. Por ello, la potencia nominal del embarrado es:

$$P_{emb} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{adm} = \sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV} \cdot 3660 \text{ A} = 1394,650 \text{ MVA} \quad (49)$$

Se puede observar que la potencia nominal del embarrado supera con creces los 200MVA que transportan actualmente las líneas de conexión.

En lo que al conductor de cable de aluminio desnudo con alma de acero que conecta la apartamento de la subestación respecta, tiene una densidad de corriente admisible de 1,70 A/mm² y 516,8 mm² de sección.

$$I_{adm} = 1,70 \frac{A}{mm^2} \cdot 516,8 \text{ mm}^2 = 878,560 \text{ A} \quad (50)$$

$$P_{cond} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{adm} = \sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV} \cdot 878,56 \text{ A} = 334,780 \text{ MVA} \quad (51)$$

Se puede observar que la potencia nominal de los conductores es mayor que los 200MVA que transportan actualmente las líneas de conexión.

4.2. Cálculos electromecánicos

Para la realización de los cálculos se sigue lo indicado en la norma UNE-EN 60865-1 en el Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión (RLAT).

Se deben tener en cuenta ciertas consideraciones:

- Se supone que cuando se produce el cortocircuito trifásico se establece la corriente de cortocircuito en las tres fases a la vez.
- Se supone que durante la falta el número de faltas afectadas no se modifica, es decir, como se realizan los cálculos suponiendo un defecto trifásico, las tres fases están afectadas durante la duración de la falta.
- Se supone que durante el cortocircuito ni las tensiones ni la impedancia varían de forma significativa.

4.2.1 Fuerza máxima debida al cortocircuito

Para obtener la fuerza estática entre dos conductores paralelos recorridos por una corriente se emplea la expresión:

$$F_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{p3}^2 \cdot \frac{l}{a_m} \quad (52)$$

Dónde:

- μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío = $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$
- i_{p3} es el valor cresta de la corriente de cortocircuito trifásico equilibrado.
- l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes del embarrado.
- a_m es la distancia equivalente entre los conductores principales. Para conductores constituidos por secciones transversales circulares simples $a_m = a$, es decir, la distancia entre conductores principales.

Con el fin de obtener el valor de cresta de la corriente de cortocircuito trifásico (i_{p3}), se emplea el valor de la intensidad de cortocircuito en los embarrados (Apartado 3.2, Falta en C2 y C6) que es de $I_{ccc6} = 10,497 \text{ kA}$, en la siguiente expresión:

$$i_{p3} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ccc6} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,497 \text{ kA} = 36,900 \text{ kA} \quad (53)$$

Sustituyendo valores en la expresión (52), obtenemos la fuerza máxima debida al cortocircuito.

$$F_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{p3}^2 \cdot \frac{l}{a_m} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N}}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (36,90 \text{ kA})^2 \cdot \frac{15 \text{ m}}{4 \text{ m}} \quad (54)$$

$$= 884,392 \text{ N}$$

4.2.2 Tensión mecánica en el conductor debida al cortocircuito

Los conductores han de estar fijados de forma que las fuerzas axiales sean despreciables, por lo que se ven sometidos a la tensión mecánica causada por las fuerzas de flexión. Dicha tensión mecánica debida al cortocircuito se determina mediante la expresión:

$$\sigma_{m,d} = V_{\sigma m} \cdot V_{r m} \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot W_m} \quad (55)$$

Dónde:

- $V_{\sigma m}$ y $V_{r m}$ son factores que tienen en cuenta los fenómenos dinámicos, su valor es 1 según la Tabla 9 obtenida de la norma UNE-EN 60865-1.

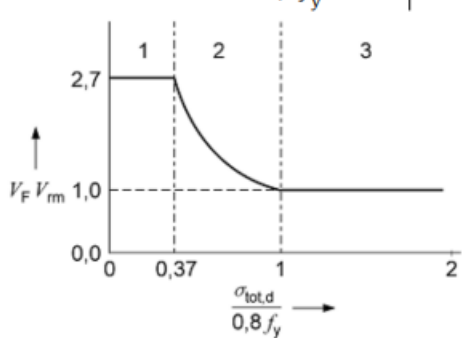



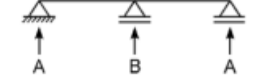

Tipo de cortocircuito	Sistema			rango
	Sin reenganche automático trifásico	Con reenganche automático trifásico	Con y sin reenganche automático trifásico	
	$V_{\sigma m} V_{rm}, V_{\sigma s} V_{rs}$	$V_{\sigma m} V_{rm}, V_{\sigma s} V_{rs}$	$V_F V_{rm}$	
		Primer flujo de corriente	Segundo flujo de corriente	
Trifásico	1,0	1,0	1,8	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> $2,7$ para $\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} \leq 0,37$ $\frac{0,8f_y}{\sigma_{tot,d}}$ para $0,37 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y} < 1,0$ $1,0$ para $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8f_y}$ </div> <div style="border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> 1 2 3 </div> </div> 

Tabla 9. Valores máximos posibles de $V_{\sigma m}$, V_{rm} , $V_{\sigma s}$, V_{rs} , V_f y V_{rm} .

- β es un factor que depende del número y tipo de soportes, su valor es 0,83 según la Tabla 10 obtenida de la norma UNE-EN 60865-1.

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

* Se incluyen los efectos de plasticidad.

Tabla 10. Factores α , β y γ para las diferentes disposiciones de embarrados.

- F_m es el valor de la fuerza máxima debida al cortocircuito calculada en la expresión (54).
- l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes del embarrado.
- W_m es el módulo de sección resistente calculado según la dirección de las fuerzas entre conductores principales.

$$\begin{aligned}
 W_m &= \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{32 \cdot 150} \cdot (150^4 - 125^4) = & (56) \\
 &= 171.550,185 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Por tanto, la tensión mecánica debida al cortocircuito resultante es:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{m,d} &= V_{\sigma m} \cdot V_{r m} \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot W_m} = 1 \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot \frac{884,392 \text{ N} \cdot 15 \text{ m}}{8 \cdot 171.550,185 \text{ mm}^3} & (57) \\
 &= 7,056 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

La tensión mecánica en el conductor debida a las fuerzas de cortocircuito es admisible cuando:

$$\sigma_{m,d} \leq q \cdot f_y \quad (58)$$

Dónde:

- q es el factor de plasticidad. La expresión para su cálculo se encuentra en la Tabla 11 obtenida de la norma UNE-EN 60865-1.


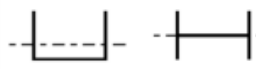


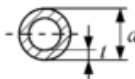
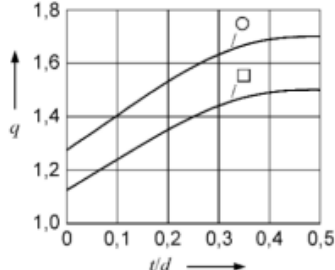
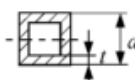
Sección transversal	Sección transversal
 $q = 1,5$	 $q = 1,83$
 $q = 1,19$	 $q = 1,7$
 $q = 1,7 \frac{1 - (1 - 2t/d)^3}{1 - (1 - 2t/d)^4}$	
 $q = 1,5 \frac{1 - (1 - 2t/d)^3}{1 - (1 - 2t/d)^4}$	
q es válido para el eje de flexión dibujado en línea discontinua. Las fuerzas son perpendiculares a este eje.	

Tabla 11. Factor q .

$$q = 1,7 \cdot \frac{1 - \left(1 - \frac{2t}{d}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2t}{d}\right)^4} = 1,7 \cdot \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,00125m}{0,015m}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,00125m}{0,015m}\right)^4} = 1,383 \quad (59)$$

- f_y es la tensión mecánica correspondiente al límite elástico, $f_y = 170 \text{ N/mm}^2$.

Por tanto,

$$q \cdot f_y = 1,383 \cdot 170 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 235,110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (60)$$

Se puede observar que $\sigma_{m,d} < q \cdot f_y$, por lo que el conductor es capaz de soportar las fuerzas de cortocircuito.

4.2.3 Fuerzas ejercidas sobre los soportes debidas al cortocircuito

La fuerza estática que los embarrados ejercen sobre los soportes se calcula con la expresión:

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{rm} \cdot \alpha \cdot F_m \quad (61)$$

Dónde:

- V_F y V_{rm} son factores que tienen en cuenta los fenómenos dinámicos, sus valores se obtienen de la Tabla 9 obtenida de la norma UNE-EN 60865-1.
- α es el factor relativo a la fuerza sobre un soporte, su valor se obtiene de la Tabla 10 obtenida de la norma UNE-EN 60865-1. $\alpha_A = 0,375$ para los soportes laterales y $\alpha_B = 1,25$ para los soportes centrales.
- F_m es el valor de la fuerza máxima debida al cortocircuito calculada en la expresión (54).

Para los soportes laterales se tiene:

$$F_{r,dA} = V_F \cdot V_{rm} \cdot \alpha_A \cdot F_m = 1 \cdot 1 \cdot 0,375 \cdot 884,392 \text{ N} = 331,647 \text{ N} \quad (62)$$

Para los soportes centrales se tiene:

$$F_{r,dB} = V_F \cdot V_{rm} \cdot \alpha_B \cdot F_m = 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 884,392 \text{ N} = 1105,490 \text{ N} \quad (63)$$

4.2.4 Momentos de flexión en los soportes y aisladores debidos al cortocircuito

Los momentos de flexión producidos por las fuerzas en los soportes se determina mediante la expresión:

$$M = F_d \cdot h \quad (64)$$

La altura de los soportes, h_{sop} , es de 7,7 m y la altura de los aisladores, h_{ais} , es de 2,3 m. Por lo que los momentos de flexión en aisladores y soportes debidos a las fuerzas de cortocircuito son:

$$M_{A,sop} = F_d \cdot h_{sop} = 331,647 \text{ N} \cdot 7,7 \text{ m} = 2553,682 \text{ Nm} \quad (65)$$

$$M_{B,sop} = F_d \cdot h_{sop} = 1105,490 \text{ N} \cdot 7,7 \text{ m} = 8512,273 \text{ Nm} \quad (66)$$

$$M_{A,ais} = F_d \cdot h_{ais} = 331,647 \text{ N} \cdot 2,3 \text{ m} = 762,788 \text{ Nm} \quad (67)$$

$$M_{B,ais} = F_d \cdot h_{ais} = 1105,490 \text{ N} \cdot 2,3 \text{ m} = 2542,627 \text{ Nm} \quad (68)$$

4.2.5 Fuerza debida a la acción del viento

Para el cálculo de la fuerza debida a la acción del viento se emplea la máxima velocidad de viento registrada en Álava desde 2009, que es de $V_v = 130 \text{ km/h}$.

Siguiendo lo establecido en el Apartado 3.1.2.5 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 07, del "Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión" (RLAT), la fuerza ejercida por el viento sobre superficies cilíndricas se calcula mediante la expresión:

$$F_c = q \cdot A_{Pol} \quad (69)$$

Dónde:

- q es la presión del viento, calculada mediante la expresión:

$$q = 70 \cdot \left(\frac{V_v}{120} \right)^2 = 70 \cdot \left(\frac{130 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{120} \right)^2 = 82,153 \text{ daN/m}^2 \quad (70)$$

- A_{Pol} es el área proyectada en el plano normal a la dirección del viento.

$$A_{Pol} = D \cdot l = 0,015m \cdot 15m = 0,225 m^2 \quad (71)$$

Por tanto, fuerza ejercida por el viento sobre los perfiles es:

$$F_v = q \cdot A_{Pol} = 82,153 \frac{daN}{m^2} \cdot 0,225 m^2 = 184,844 N \quad (72)$$

4.2.6 Tensión mecánica en el conductor debida a la acción del viento

La tensión mecánica debida a la acción del viento se determina mediante la expresión:

$$\sigma_v = \frac{F_v \cdot l}{8 \cdot W_m} \quad (73)$$

Dónde:

- F_v es la fuerza ejercida por el viento sobre los perfiles.
- l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes del embarrado.
- W_m es el módulo de sección resistente calculado según la dirección de las fuerzas entre conductores principales.

Por tanto, la tensión mecánica debida a la acción del viento resultante es:

$$\sigma_v = \frac{F_v \cdot l}{8 \cdot W_m} = \frac{184,844 N \cdot 15 m}{8 \cdot 171.550,185 mm^3} = 2,020 N/mm^2 \quad (74)$$

4.2.7 Fuerza debida a la acción del peso propio

La fuerza debida a la acción del peso propio se determina mediante la expresión:

$$F_{pp} = P \cdot l \cdot g \quad (75)$$

Dónde:

- P es el peso propio de los perfiles (14.579 g/m).
- l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes del embarrado.
- g es la aceleración causada por la gravedad, con valor 9,81 m/s².

Por tanto, fuerza debida al peso propio es:

$$F_{pp} = P \cdot l \cdot g = 14,597 \frac{kg}{m} \cdot 15 m \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 2147,949 N \quad (76)$$

- Tensión mecánica en el conductor debida a la acción del peso propio

La tensión mecánica debida al peso propio se determina mediante la expresión:

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp} \cdot l}{8 \cdot W_m} \quad (77)$$

Dónde:

- F_v es la fuerza ejercida por el peso propio sobre los perfiles.
- l es la máxima distancia entre ejes de soportes adyacentes del embarrado.
- W_m es el módulo de sección resistente calculado según la dirección de las fuerzas entre conductores principales.

Por tanto, la tensión mecánica debida a la acción del peso propio resultante es:

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp} \cdot l}{8 \cdot W_m} = \frac{2147,949 N \cdot 15 m}{8 \cdot 171.550,185 mm^3} = 23,477 N/mm^2 \quad (78)$$

4.2.8 Reacciones totales sobre los soportes

Los aisladores deben ser capaces de soportar las fuerzas que sufren los embarrados. La fuerza total que deben ser capaces de soportar es:

- En los soportes laterales:

$$\begin{aligned}
 F_{tA} &= F_{r,dA} + F_v + F_{pp} = 331,647 N + 184,844 N + 2147,949 N \\
 &= 2664,440 N
 \end{aligned} \quad (79)$$

- En los soportes centrales:

$$\begin{aligned}
 F_{tB} &= F_{r,dB} + F_v + F_{pp} = 1105,490 N + 184,844 N + 2147,949 N \\
 &= 3438,283 N
 \end{aligned} \quad (80)$$

Para calcular el coeficiente de seguridad con el que se está trabajando se toma la fuerza más desfavorable, es decir, en los aisladores centrales. Los aisladores seleccionados tienen una carga de rotura a flexión de 10.000 N.

$$n = \frac{F}{F_{r,dB}} = \frac{10.000 \text{ N}}{3438,283 \text{ N}} = 2,908 \quad (81)$$

El coeficiente de seguridad obtenido garantiza que los aisladores trabajan con margen de seguridad suficiente.

4.2.9 Tensión total

La suma de las tensiones obtenidas por la acción del cortocircuito, viento y peso propio es:

$$\begin{aligned}
 \sigma_T &= \sqrt{(\sigma_{m,d} + \sigma_v)^2 + (\sigma_{pp})^2} & (82) \\
 &= \sqrt{(7,056 \text{ N/mm}^2 + 2,020 \text{ N/mm}^2)^2 + (23,477 \text{ N/mm}^2)^2} \\
 &= 25,170 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

La tensión mecánica correspondiente al límite elástico, $f_y = 170 \text{ N/mm}^2$. Por lo que el coeficiente de seguridad es:

$$n = \frac{f_y}{\sigma_T} = \frac{170 \text{ N/mm}^2}{25,170 \text{ N/mm}^2} = 6,754 \quad (83)$$

5. Cálculo de corrientes permanentes

5.1 Lado de 220 kV

5.1.1 Posiciones de línea y embarrados

Las posiciones de línea y los embarrados deben soportar la corriente y potencia de la red de 220 kV. La intensidad nominal de estas posiciones es:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{200.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 524,864 \text{ A} \quad (84)$$

5.1.2 Posiciones de transformadores

Las posiciones de los transformadores deben soportar la corriente de un transformador de potencia de 40 MVA y 220 kV. La intensidad nominal de estas posiciones es:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} = 104,973 \text{ A} \quad (85)$$

5.2 Lado de 30 kV

5.2.1 Celdas de transformadores y embarrados

Las líneas de salida de los transformadores, y los embarrados que componen la barra doble de 30 kV deben soportar la corriente de un transformador de potencia de 40 MVA y 30 kV. La intensidad nominal de las celdas de transformadores y embarrados de 30 kV es:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{40.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV}} = 769,800 \text{ A} \quad (86)$$

5.2.2 Transformadores de servicios auxiliares

La potencia de los servicios auxiliares es de 250 kVA ya que, de la misma forma que en los transformadores de potencia, estos transformadores no trabajan simultáneamente, cuando uno trabaja el otro está parado.

En la línea de entrada se tiene:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV}} = 4,811 \text{ A} \quad (87)$$

En la línea de salida se tiene:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,420 \text{ kV}} = 343,661 \text{ A} \quad (88)$$

5.2.3 Líneas de salida de la subestación

Se toma como suposición que cada línea de salida de subestación puede transportar un octavo (1/8) de la potencia nominal de uno de los transformadores de potencia de la subestación.

$$S_n = \frac{40 \text{ MVA}}{8} = 5 \text{ MVA} \quad (89)$$

Por tanto, la intensidad nominal de cada línea es:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV}} = 96,225 \text{ A} \quad (90)$$

6. Cálculo de elementos de la subestación

6.1 Elementos de maniobra

6.1.1 Elección de los interruptores

Los interruptores que se instalan en el sistema de 220 kV son todos de la misma tipología. Por ello, para su elección, se calculan los requerimientos necesarios atendiendo a las posiciones del sistema cuyas solicitudes sean mayores.

De igual manera, en el sistema de 30 kV todos los interruptores dispuestos son del mismo tipo. Para su elección se atiende al punto con mayores solicitudes.

6.1.1.1 Interruptores de 220kV

Los parámetros con mayores solicitudes que caracterizan el sistema de Alta Tensión se encuentran en las posiciones de línea.

- $U_n = 220 \text{ kV}$
- $S_{cc} = 5333,333 \text{ MVA}$
- $I_{cc} = 13,996 \text{ kA}$
- $I_n = 524,864 \text{ A}$

Por tanto, los interruptores de las posiciones de línea y de transformadores de 220 kV deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Tipo: SF6
- Tensión nominal: 252 kV
- Intensidad nominal: 4.000 A
- Intensidad de corte: 125 kA

6.1.1.2 Interruptores de 30 kV

Los parámetros con mayores solicitudes que caracterizan el sistema de Media Tensión se encuentran en las celdas de transformadores.

- $U_n = 30 \text{ kV}$
- $S_{cc} = 470 \text{ MVA}$
- $I_{cc} = 9,056 \text{ kA}$
- $I_n = 769,800 \text{ A}$

Por tanto, los interruptores de las celdas de transformadores, servicios auxiliares, línea y enlace de barras deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Tipo: En celdas con SF6
- Tensión nominal: 36 kV
- Intensidad nominal: 2.500 A
- Intensidad de corte: 25 kA

6.1.2 Elección de los seccionadores

Similar a lo descrito para los interruptores, los seccionadores que se instalan en el sistema de 220 kV tienen las mismas características técnicas a diferencia de los de las posiciones de línea, a los que se les añade puesta a tierra mediante cuchillas. Por ello, para su elección, se calculan los requerimientos necesarios atendiendo a las posiciones del sistema cuyas solicitudes sean mayores.

De igual manera en el sistema de 30 kV, todos los seccionadores dispuestos son del mismo tipo. Para su elección se atiende al punto con mayores solicitudes.

6.1.2.1 Seccionadores de 220 kV

Los parámetros con mayores solicitudes que caracterizan el sistema de Alta Tensión se encuentran en las posiciones de línea.

- $U_n = 220$ kV
- $I_n = 524,864$ A

Por tanto, los seccionadores de las posiciones de línea y de transformadores de 220 kV deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Tipo: Tripolares
- Tensión nominal: 252 kV
- Intensidad nominal: 4.000 A

6.1.2.2 Seccionadores de 30 kV

Los parámetros con mayores solicitudes que caracterizan el sistema de Media Tensión se encuentran en las celdas de transformadores.

- $U_n = 30$ kV
- $I_n = 769,8$ A

Por tanto, los seccionadores de las celdas de transformadores, servicios auxiliares, línea, enlace de barras y medida deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Tipo: En celdas y tripolares
- Tensión nominal: 36 kV
- Intensidad nominal: 2.500 A

6.2 Elementos de medida y protección

6.2.1 Elección de los transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad de medida o los devanados de medida de un transformador de intensidad tienen como objetivo tener una alta precisión alrededor de la intensidad nominal. En cambio, los transformadores o devanados de protección se diseñan para funcionar en condiciones de faltas, por lo que es necesario que funcionen a intensidades superiores a la nominal.

Los transformadores de intensidad cuentan con un punto característico en su funcionamiento denominado tensión de codo. La tensión de codo es aquella para la cual para conseguir un incremento del 10% de la fuerza electromotriz se necesita incrementar un 50% la intensidad de excitación. Cuando el dispositivo trabaja por encima de la tensión de codo está trabajando en la zona de saturación.

En los devanados de protección es necesario que cuando se produzca una falta no se llegue a la zona de saturación para que se pueda seguir midiendo. Por tanto, la tensión en el secundario debe ser siempre menor que la tensión de codo.

En cambio, en los devanados de medida es necesario que cuando se produzca una falta el dispositivo entre en zona de saturación y de esta forma protegerlo. Por tanto, la tensión en el secundario debe ser mayor que la tensión de codo en el momento en el que se produzca una falta.

Los transformadores de intensidad seleccionados según su ubicación en el sistema, son los siguientes:

6.2.1.1 Transformadores de intensidad de posiciones de línea 220 kV

Los transformadores seleccionados para este emplazamiento cuentan con una relación de transformación 600/5-5-5 A. Los devanados secundarios son:

- Primer devanado secundario: devanado de medida de 30 VA, CI 0,5.
- Segundo devanado secundario: devanado de protección de 50 VA, 5P20.
- Tercer devanado secundario: devanado de protección de 50 VA, 5P20.

6.2.1.2 Transformadores de intensidad de posiciones de transformador 220 kV

Los transformadores seleccionados para este emplazamiento cuentan con una relación de transformación 300/5-5-5 A. Los devanados secundarios son:

- Primer devanado secundario: devanado de medida de 30 VA, CI 0,5.
- Segundo devanado secundario: devanado de protección de 50 VA, 5P20.
- Tercer devanado secundario: devanado de protección de 50 VA, 5P20.

6.2.1.3 Transformadores de intensidad del transformador de potencia del lado de 220 kV

Los transformadores seleccionados para este emplazamiento son transformadores tipo “bushing”. Por cada transformador, en el lado de Alta Tensión, se colocan tres (3) transformadores de intensidad de medida de 300/5 A, 20 VA, CI 0,5, y tres (3) transformadores de intensidad de protección de 300/5 A, 50 VA, 5P20.

6.2.1.4 Transformadores de intensidad del transformador de potencia del lado de 30 kV

Los transformadores seleccionados para este emplazamiento son transformadores tipo “bushing”. Por cada transformador, en el lado de Media Tensión, se colocan tres (3) transformadores de intensidad de medida de 1200/5 A, 20 VA, CI 0,5, y tres (3) transformadores de intensidad de protección de 1200/5 A, 50 VA, 5P20.

6.2.1.5 Transformadores de intensidad de las reactancias de puesta a tierra

Los transformadores seleccionados para este emplazamiento son transformadores tipo “bushing”. Por cada fase de la reactancia se colocan tres (3) transformadores de intensidad de protección de 300/5 A, 15 VA, 5P20. En el neutro se coloca otro transformador de intensidad de protección de 300/5 A, 15 VA, 5P20.

6.2.1.6 Transformadores de intensidad de las celdas de Media Tensión de transformadores

Los transformadores seleccionados para las celdas de transformadores en Media Tensión cuentan con una relación de transformación 1200/5-5 A. Los devanados secundarios son:

- Primer devanado secundario: devanado de medida de 15 VA, CI 0,5.
- Segundo devanado secundario: devanado de protección de 20 VA, 5P20.

6.2.1.7 Transformadores de intensidad de las celdas de Media Tensión de línea

Los transformadores seleccionados para las celdas de línea en Media Tensión cuentan con una relación de transformación 200/5 A. El devanado secundario es un devanado de protección de 20 VA, 5P20.

6.2.1.8 Transformadores de intensidad de la celda de Media Tensión de enlace de barras

Los transformadores seleccionados para la celda de enlace de barras en Media Tensión cuentan con una relación de transformación 1200/5 A. El devanado secundario es un devanado de protección de 20 VA, 5P20.

6.2.1.9 Transformadores de intensidad de las celdas de Media Tensión de servicios auxiliares

Los transformadores seleccionados para las celdas de servicios auxiliares en Media Tensión cuentan con una relación de transformación 100/5A. El devanado secundario es devanado de protección de 20 VA, 5P20.

6.2.1.10 Consumo de los transformadores de intensidad de Alta Tensión

El consumo de los transformadores de intensidad se calcula sumando el consumo debido a los relés que alimentan y las pérdidas producidas en el conductor desde el propio transformador hasta la sala de control y protecciones donde se encuentran los relés de medida y protección. Los relés de protección y medida tienen un consumo común de 5 VA y cada transformador debe alimentar a dos o tres relés.

El conductor empleado para la conexión de los transformadores de intensidad y los relés es cable de aluminio de 6 mm² de sección y se considera una distancia máxima desde los transformadores de intensidad hasta la sala de control y protecciones de 75 m. La expresión para el cálculo del consumo de los transformadores de intensidad es la siguiente:

$$S = R \cdot I^2 + VA \quad (91)$$

Donde:

- R es la resistencia del conductor calculada como el producto de la resistividad del aluminio a 70°C por la longitud entre la sección del conductor.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,033 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{75 m}{6 mm^2} = 0,413 \Omega \quad (92)$$

- I es la intensidad que circula por el conductor, 5 A en los transformadores de intensidad.
- VA es el consumo de potencia de los relés.

Por tanto, se obtiene el consumo máximo de los transformadores de intensidad.

$$S = R \cdot I^2 + VA = 0,413 \Omega \cdot (5 A)^2 + 15 VA = 25,313 VA \quad (93)$$

6.2.2 Elección de los transformadores de tensión

Los transformadores de tensión convierten la tensión primaria a valores medibles. En la parte de Alta Tensión de la subestación de transformación del presente proyecto se instalan transformadores de tensión en las entradas de las líneas a la subestación, tras los pararrayos autoválvulas, y en los embarrados. En el sistema de Media Tensión, las celdas de medida son las que equipan los transformadores de tensión.

Los transformadores de tensión seleccionados según su ubicación en el sistema, son los siguientes:

6.2.2.1 Transformadores de tensión de 220 kV

Los transformadores seleccionados para la parte de Alta Tensión, tanto en posiciones de línea como para los embarrados, cuentan con dos arrollamientos de relación de transformación $220/\sqrt{3}: 0,110/\sqrt{3}$ kV. Los dos arrollamientos son:

- Primer arrollamiento: devanado de medida y protección de 30 VA, CI 0,2 3P.
- Segundo arrollamiento: devanado de medida y protección de 30 VA, CI 0,5 3P.

6.2.2.2 Transformadores de tensión de 30 kV

Los transformadores seleccionados para estas celdas de medida de Media Tensión cuentan con dos arrollamientos de relación de transformación $30/\sqrt{3}: 0,110/\sqrt{3}$ kV. Los dos arrollamientos son:

- Primer arrollamiento: devanado de medida de 30 VA, CI 0,2.
- Segundo arrollamiento: devanado de protección de 50 VA, 3P.

6.2.2.3 Consumo de los transformadores de tensión

El consumo de los transformadores de tensión se calcula de forma similar al de los transformadores de intensidad, sumando las pérdidas en el conductor y el consumo de los relés a los que alimenta.

El conductor empleado para la conexión de los transformadores de tensión y los relés es cable de aluminio de 6 mm² de sección y se considera una distancia máxima desde los transformadores de tensión hasta la sala de control y protecciones de 85 m. La expresión para el cálculo del consumo de los transformadores de voltaje es la siguiente:

$$S = R \cdot I^2 + VA \quad (94)$$

Donde:

- R es la resistencia del conductor calculada como el producto de la resistividad del aluminio a 70°C por la longitud entre la sección del conductor.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0,033 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{85 m}{6 mm^2} = 0,468 \Omega \quad (95)$$

- I es la intensidad que circula por el conductor, menos de 1A en los transformadores de tensión.
- VA es el consumo de potencia de los relés.

Por tanto, se obtiene el consumo máximo de los transformadores de intensidad.

$$S = R \cdot I^2 + VA = 0,468 \Omega \cdot (1 A)^2 + 15 VA = 15,468 VA \quad (96)$$

6.3 Cálculo de los servicios auxiliares

Los sistemas de servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua cuentan con una potencia instalada de 199,2 kW, tal y como se detalla en este apartado. Para alimentar lo sistemas se proyectan dos transformadores de 230 kVA que trabajaran individual y alternamente.

6.3.1 Sistemas de corriente alterna

6.3.1.1 Circuito de control

El circuito de control cuenta con una potencia estimada de 3 kW y es alimentado por tensión monofásica de 230 V. Por tanto, la intensidad que circula por el circuito es la siguiente:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3000 W}{230 V} = 13,043 A \quad (97)$$

Cumpliendo lo establecido en Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y la norma UNE-HD 60364-5-52:2022, se debe emplear conductor tripolar de cobre de 1,5 mm² de sección, XLPE3, que instalado en canaletas (método de instalación B2 en tabla A.52.3 de la norma), tiene una corriente admisible de 18,5 A.

Tabla C.52.1 - Corrientes admisibles en amperios - Temperatura ambiente 30 °C en el aire

Método de referencia de la tabla B.52.1	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento												
	A1	3 PVC	2 PVC	3 XLPE	2 XLPE								
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE					2 XLPE			
B1				3 XLPE	2 PVC								
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE						
C					3 PVC								
E						3 PVC	2 PVC	3 XLPE		2 XLPE			
F							3 PVC	2 PVC	3 XLPE		2 XLPE		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Tamaño [mm ²]													
Cobre													
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	18,5	19,5	22	23	24	26	-	
2,5	17,5	18	19,5	21	23	25	27	30	31	33	36	-	
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-	
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-	
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-	
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-	
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161	
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200	
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242	
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310	
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377	
120	-	-	-	239	249	279	299	322	346	382	410	437	
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504	
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575	
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679	
Aluminio													
2,5	13,5	14	15	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	-	
4	17,5	18,5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-	
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-	
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-	
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-	
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121	
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150	
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184	
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237	
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289	
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337	
150	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389		
185	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447		
240	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530		

NOTA: Se debería consultar la tabla apropiada de corrientes admisibles dadas en el anexo B con el fin de determinar el rango de tamaños de los conductores para los cuales son aplicables las corrientes admisibles anteriores para cada método de instalación.

Tabla A.52.3 - Ejemplos de métodos de instalación proporcionando las indicaciones para determinar las corrientes admisibles












Elemento nº	Métodos de instalación	Descripción	Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B)
1	 local	Conductores aislados o cables unipolares en tubo en el interior de una pared térmicamente aislante ^{a,c}	A1
2	 local	Cables multipolares en tubo en el interior de una pared térmicamente aislante ^{a,c}	A2
3	 local	Cable multipolar en el interior de una pared térmicamente aislante ^{a,c}	A1
4		Conductores aislados o cables unipolares en tubo sobre pared de madera o de mampostería, o separado de ella a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo ^c	B1
5		Cable multipolar en un tubo sobre pared de madera o de mampostería, o separado de ella a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo ^c	B2
6		Conductores aislados o cables unipolares en canales (incluyendo canales de múltiples compartimentos) sobre una pared de madera o mampostería: - en recorrido horizontal ^b - en recorrido vertical ^{b,c}	B1
7			
8		Cable multipolar en canales (incluyendo canales de múltiples compartimentos) sobre una pared de madera o mampostería: - en recorrido horizontal ^b - en recorrido vertical ^{b,c}	En estudio ^d (El método B2 puede utilizarse)
9			
10		Conductores aislados o cables unipolares en canales suspendidos ^b	B1
11		Cable multipolar en canales suspendidos ^b	B2

Tabla 12. Corrientes admisibles en amperios según tamaño del conductor y el método de instalación.

6.3.1.2 Circuito de fuerza

El circuito de fuerza se compone de los enchufes y cajas de tomas que se proyectan en el edificio prefabricado. Cuenta con una potencia máxima de suministro de 198 kW.

En cada una de las salas, a excepción del almacén, y en la parte posterior del edificio (dentro del recinto de la subestación) se instalan cajas de tomas con las siguientes tomas:

- 4 tomas monofásicas de 230 V y 16 A.
- 2 tomas trifásicas de 400 V y 16 A.
- 1 toma trifásica de 400 V y 32 A.

En total las 4 cajas de tomas tienen una potencia de 89 kW.

El conector de acometida a las cajas de tomas se dimensiona de forma que sea capaz de soportar 64 A. Con tal fin, y respetando la norma UNE-HD 60364-5-52:2022, se emplea conductor de 16 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 80 A y aislamiento de XLPE.

Además, se proyecta una toma trifásica de 125 A y 400 V con potencia de 87 kW. Especialmente pensada para la realización del mantenimiento y filtrado del aceite de los transformadores y reactancias. El conductor empleado en esta toma es de 50 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 157 A y aislamiento de XLPE.

6.3.1.3 Circuito de alumbrado

El circuito de alumbrado alimenta las luminarias que se encuentran en el interior de las salas del edificio prefabricado y las luminarias o proyectores exteriores que iluminan la subestación.

El circuito de alumbrado cuenta con una potencia de 10 kW. Por tanto, el conductor empleado hasta el cuadro es de 2,5 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 25 A y aislamiento de XLPE.

6.3.1.4 Circuito de emergencia

El circuito de emergencia alimenta las baterías que, a su vez, alimentan las luminarias de emergencia.

El circuito tiene una potencia de 1 kW. El conductor empleado es 1,5 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 18,5 A y aislamiento de XLPE.

6.3.2 Sistemas de corriente continua

El sistema de corriente continua está formado por dos grupos rectificador batería de 125 Vcc. Ambos rectificadores son monofásicos con entrada a 230 V en corriente alterna y salida 125 V en corriente continua y 40 A. La potencia requerida por tanto es de:

$$P_{cc} = V \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 40 \text{ A} = 9200 \text{ W} \quad (98)$$

Los conductores de entrada a los rectificadores deben ser capaces de soportar 40 A (suponiendo que la eficiencia de los transformadores es del 100%), por tanto, el conductor empleado es de 10 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 60 A y aislamiento de XLPE.

El tiempo de carga de las baterías, teniendo en cuenta que tienen una capacidad de 200 Ah y que se emplean 25 A para cargarlas, se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$t_{carga} = \frac{200 \text{ A} \cdot h}{25 \text{ A}} = 8 \text{ h} \quad (99)$$

7. Red de tierras

La subestación dispone de red de tierra formada por malla enterrada y picas. El objetivo de la instalación de tierra es proteger a las personas que puedan encontrarse dentro de la subestación fijando unos valores máximos admisibles de tensiones de paso y contacto ante cualquier defecto en la instalación.

La normativa que debe cumplir la instalación de puesta a tierra queda definida por la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13 y por el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

Para la realización de los cálculos y el dimensionamiento de los conductores, se toma como intensidad de cortocircuito máxima el valor obtenido en el apartado 3.2 del presente documento perteneciente a una falta trifásica, $I_{CC} = 13,996 \text{ kA}$. Como valor de la intensidad de falta a tierra se toma el mismo valor de $13,996 \text{ kA}$.

7.1 Datos de partida

- Intensidad de falta a tierra (I_F): 13.966 Ka
- Resistividad del terreno (ρ): 100 $\Omega \cdot \text{m}$
- Resistividad del recubrimiento de grava (ρ_g): 3.000 $\Omega \cdot \text{m}$
- Área de la malla de tierra (A): 3655 m^2
- Profundidad de enterramiento (h): 0,6 m
- Sección del cable de malla a tierra: 100 mm^2
- Longitud del conductor enterrado (L): 2875 m
- Tiempo de falta considerado (t): 0,5

7.2 Cálculo de la resistencia de puesta a tierra

Se realiza el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la instalación empleando tres metodologías diferentes.

La primera forma en la que se realiza el cálculo es siguiendo la Instrucción Técnica Complementaria ITC-RAT 13, en la que se detallan los requerimientos de las Instalaciones de Puesta a Tierra. Para el cálculo de la ITC-RAT 13 indica que se emplee la siguiente expresión:

$$R_T = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L} = \frac{100 \Omega \cdot m}{4 \cdot 34,109 m} + \frac{100 \Omega \cdot m}{2875 m} = 0,7677 \Omega \quad (100)$$

Donde:

- ρ es la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- L es la longitud del conductor enterrado.
- r es el radio en metros de un círculo de igual superficie al área cubierta por la malla.

La segunda forma en la que se realiza el cálculo es siguiendo la norma IEEE 80-2013. En ella se indica la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 R_T &= \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A_r}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A_r}}} \right) \right] \quad (101) \\
 &= 100 \Omega m \cdot \left[\frac{1}{2875 m} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 3655 m^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + 0,6 m \cdot \sqrt{\frac{20}{3655 m^2}}} \right) \right] \\
 &= 0,7588 \Omega
 \end{aligned}$$

Donde:

- ρ es la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- L es la longitud del conductor enterrado.
- A_r es el área cubierta por la malla.
- h es la profundidad de enterramiento de la malla.

El tercer y último método empleado es el de Laurent y Niemann.

$$\begin{aligned}
 R_T &= 0,443 \cdot \rho \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{A_r}} + \frac{1}{L} \right) = 0,443 \cdot 100 \Omega \cdot m \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3655 m^2}} + \frac{1}{2875 m} \right) \quad (102) \\
 &= 0,7482 \Omega
 \end{aligned}$$

Donde:

- ρ es la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$.
- L es la longitud del conductor enterrado.
- A_r es el área cubierta por la malla.

Los valores obtenidos en cada uno de los tres métodos son:

Método de Cálculo	ITC-RAT 13	IEEE 80-2013	Laurent y Niemann
Resistencia de Puesta a Tierra	0,7677 Ω	0,7588 Ω	0,7482 Ω

Tabla 13. Resistencia de puesta a tierra según método de cálculo.

Se puede observar que todos los valores son similares y están por debajo del límite recomendado de 1 Ω para subestaciones de potencia y de 5 Ω para subestaciones de distribución.

7.3 Cálculo del conductor de tierra

El conductor empleado para la malla de tierra es cable de cobre desnudo de 100 mm² de sección. Las conexiones de los elementos a la malla se realizan mediante cable de cobre desnudo de 95 mm² de sección.

Se supone que la intensidad de cortocircuito trifásico es disipada en un 70% por la malla de tierra de la subestación y que se admite el aumento de la temperatura final del cable hasta 300°C sin que suponga riesgo de incendio (factor 1,2 en el denominador). El tiempo mínimo a considerar de duración del defecto es de 1s, no pudiéndose superar los 160 A/mm² de densidad de corriente para el cobre. Por tanto, se obtiene una sección del conductor mínima teórica de:

$$S_{min} = \frac{0,7 \cdot 13966 A}{160 \frac{A}{mm^2} \cdot 1,2} = 50,918 mm^2 \quad (103)$$

Queda así justificada la elección de las secciones de los conductores de puesta a tierra, que cumplen la sección mínima requerida por la norma.

7.3 Cálculo de tensiones de paso y contacto admisibles

A continuación, se determinan las tensiones de paso y contacto admisibles siguiendo el procedimiento descrito por la ITC-RAT-13.

Primero se determina la tensión de contacto aplicada admisible a la que puede estar sometido el cuerpo de una persona entre la mano y los pies, en función del tiempo de falta, con la gráfica o tabla de valores que se indica en la instrucción.

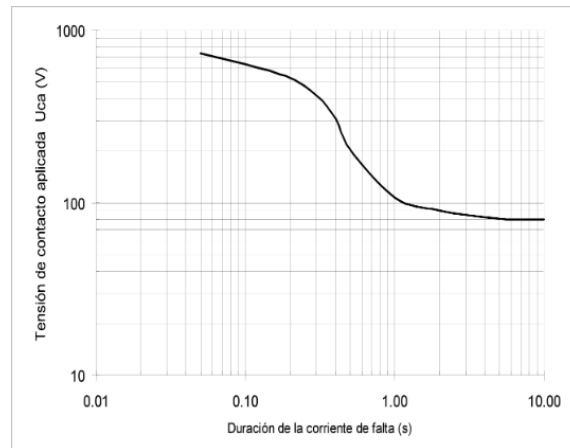


Figura 7. Grafica de tensión de contacto aplicada según la corriente de falta.

Duración de la corriente de falta, t_f (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{ca} (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Tabla 14. Tensión de contacto aplicada según la corriente de falta

Como el terreno de la subestación está recubierto con una capa de grava de 0,1 m de elevada resistividad, es necesaria la utilización de un coeficiente reductor calculado con la siguiente expresión:

$$C_s = 1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2 \cdot h_s + 0,106} \right) = 1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{100}{3000}}{2 \cdot 0,1 + 0,106} \right) = 0,665 \quad (104)$$

Donde:

- ρ es la resistividad del terreno natural.
- ρ_s es la resistividad de la capa superficial.
- h_s es el espesor de la capa superficial.

Las tensiones de contacto y paso se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + C_s \cdot R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] \quad (105)$$

$$= 633 \text{ V} \cdot \left[1 + \frac{2000 \text{ } \Omega + 0.665 \cdot 3 \cdot 3000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}}{2 \cdot 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}} \right] = 3160,537 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 U_p &= U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 2 \cdot C_s \cdot R_{a2}}{Z_B} \right] = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 2 \cdot C_s \cdot R_{a2}}{Z_B} \right] \quad (106) \\
 &= 10 \cdot 633 \text{ V} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot 2000 \Omega + 2 \cdot 0.665 \cdot 3 \cdot 3000 \Omega \cdot m}{1000 \Omega \cdot m} \right] \\
 &= 107431,494
 \end{aligned}$$

Donde:

- U_{ca} es la tensión de contacto aplicada admisible.
- C_s es el coeficiente reductor.
- R_{a1} es la resistencia equivalente al calzado con suela aislante.
- R_{a2} es la resistencia a tierra del punto de contacto de un pie con el terreno.
- Z_B es la impedancia del cuerpo humano.

De igual manera, se calculan las tensiones de paso y contacto siguiendo el procedimiento indicado en la norma IEEE 80-2013.

Primero, se obtiene el coeficiente reductor:

$$C_s = 1 - 0,09 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2 \cdot h_s + 0,09} \right) = 1 - 0,09 \left(\frac{1 - \frac{100 \Omega \cdot m}{3000 \Omega \cdot m}}{2 \cdot 0,1 \text{ m} + 0,09} \right) = 0,7 \quad (107)$$

Donde:

- ρ es la resistividad del terreno natural.
- ρ_s es la resistividad de la capa superficial.
- h_s es el espesor de la capa superficial.

Las tensiones de contacto y paso se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 U_c &= (Z_b + 1,5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} = (1000 \Omega + 1,5 \cdot C_s \cdot 3000 \Omega \cdot m) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{0,1 \text{ s}}} \quad (108) \\
 &= 2060,382 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_p &= (Z_b + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{t_s}} = (1000 \Omega + 6 \cdot C_s \cdot 3000 \Omega \cdot m) \cdot \frac{0,157}{\sqrt{0,1 \text{ s}}} \quad (109) \\
 &= 6752,095 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Donde:

- C_s es el coeficiente reductor.
- Z_B es la impedancia del cuerpo humano.
- ρ_s es la resistividad de la capa superficial.

Se puede observar que los valores obtenidos en el cálculo mediante la norma IEEE 80-2013 son más restrictivos que los obtenidos mediante las expresiones indicadas en la ITC-RAT 13, y por ello, los que se deben tener en consideración.

	ITC-RAT 13	IEEE 80-2013
Coeficiente reductor (Cs)	0,6651	0,7
Tensión de contacto admisible (Uc)	3160,537 V	2060,382 V
Tensión de paso admisible (Up)	107431,494	6752,095 V

Tabla 15. Coeficiente reductor, tensión de contacto y paso admisibles según el método de cálculo.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 220/30 KV PARA PLANTA INDUSTRIAL EN RIVABELLOSA

DOCUMENTO IV: PLIEGO DE CONDICIONES



Estudiante: García Quintas, Álvaro

Director/Directora: Valverde Santiago, Víctor

Curso: 2022-2023

Fecha: 04, 09, 2023

Índice

1. Objeto.....	4
2. Ámbito de aplicación.....	4
3. Condiciones administrativas	5
3.1 Documentación de la obra	5
3.2 Licencia de obra	6
3.3 Contrato.....	6
3.4 Rescisión del contrato.....	6
3.5 Indemnizaciones y reclamaciones	7
3.6 Seguros	8
3.7 Responsabilidades.....	9
3.8 Legislación social.....	10
3.9 Causas de fuerza mayor	10
3.10 Plazos de entrega y ejecución	11
3.11 Legalización.....	11
3.12 Aceptación provisional	12
3.13 Periodo de garantía	12
3.14 Aceptación final.....	13
4. Condiciones Económicas.....	13
4.1 Liquidaciones.....	13
4.2 Precios y condiciones de pagos.....	13
4.3 Plazos y penalizaciones.....	14
4.4 Fianza.....	14
5. Normas generales de seguridad	15
5.1 Entrada, estancia y tránsito en la planta industrial	15
5.2 Trabajo en altura.....	15
5.3 Iluminación.....	15

5.4 Lugares de trabajo	16
5.5 Productos químicos	16
5.6 Materiales prohibidos	17
5.7 Actividades que generen fuego o chispa.....	17
5.8 Equipos de trabajo	17
5.9 Material excedente de obra.....	17
5.10 Accidentes	17
5.11 Emergencias.....	18
5.12 Medidas disciplinarias	18
6. Medioambiente	19
6.1 Sistema de Gestión Ambiental.....	19
6.2 Gestión de Residuos.....	19
6.3 Contaminación del suelo.....	20
6.4 Responsabilidades.....	20
6.5 Vertidos y emisiones.....	20
6.6 Maquinaria	21
7. Condiciones facultativas	22
7.1 Medios del Contratista	22
7.2 Persona de contacto	22
7.3 Otras obligaciones	22
8. Condiciones técnicas.....	24
8.1 Suministro de materiales y elementos.....	24
8.2 Equipo eléctrico	24
8.2.1 Transformadores de potencia y reactancias.....	24
8.2.2 Embarrados, conductores y conexiones.....	25
8.2.3 Interruptores.....	25
8.2.4 Seccionadores	26
8.2.5 Transformadores de medida y protección	26

8.2.6 Pararrayos	26
8.2.7 Celdas de media tensión	27
8.2.8 Puesta a tierra.....	27
8.3 Obra civil.....	27
8.3.1 Movimiento de tierras	27
8.3.2 Red de drenaje	27
8.3.3 Hormigones.....	28
8.3.4 Estructura metálica	28
8.4 Puesta en marcha.....	29
8.4.1 Condiciones previas para la puesta en marcha	29

1. Objeto

El objeto del presente pliego de condiciones es presentar y establecer los requisitos generales que se deben cumplir en la ejecución de las obras del proyecto “Subestación de transformación 220/30 kV para planta industrial en Rivabellosa”. Así mismo, se establecen las condiciones técnicas, facultativas, legales y el control de calidad que deben cumplir los materiales empleados.

Las condiciones y operaciones descritas en el presente documento no tienen carácter limitativo, es decir, además de las indicadas se realizarán todas operaciones que se precisen para la correcta ejecución de la obra.

Es responsabilidad del Contratista el cumplimiento de lo dispuesto en el presente documento.

2. Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación del presente pliego de condiciones abarca la construcción de la subestación y todos los elementos que la componen.

Los documentos que componen el presente proyecto son:

- Documento I: Memoria
- Documento II: Planos
- Documento III: Cálculos
- Documento IV: Pliego de Condiciones
- Documento V: Presupuesto

Lo establecido por este pliego de condiciones debe ser aplicado en todos los trabajos realizados en el proceso de construcción de la subestación de transformación, incluyendo el parque de intemperie y el edificio prefabricado.

Además, las operaciones adicionales que no se hayan definido y que sean necesarias para la correcta ejecución de la obra, deben ajustarse a las condiciones descritas en este documento.

3. Condiciones administrativas

3.1 Documentación de la obra

Los representantes de la autoridad podrán solicitar la documentación completa de la obra, o una fotocopia de esta en su defecto, en cualquier momento antes del inicio de la actividad y durante la ejecución de la misma. La no tenencia de dicha documentación supondrá sanciones económicas.

Particularmente, los documentos necesarios en materia preventiva que deben estar en regla y presentes en la obra son:

1. Libro de órdenes y asistencias.
2. Libro de visitas de la Inspección de Trabajo (Electrónico).
3. Libro de incidencias del Plan de Seguridad y Salud.
4. Libro de subcontratación.
5. Plan de seguridad y salud.
6. Comunicaciones de apertura o de reanudación de la actividad.
7. Servicio de organización de la prevención de cada empresa.
8. Plan de emergencia.
9. Registro de formaciones recibidas por las personas trabajadoras.
10. Reconocimientos médicos de trabajadores aptos.
11. Documentación de empresas actualizada.
12. Documentación de la maquinaria.
13. Actas de reuniones realizadas por el coordinador de seguridad y salud.
14. Acta de designación de recursos preventivos.
15. Registro de la entrega de los Equipos de Protección Individual (EPI).
16. Investigación de los accidentes laborales.

3.2 Licencia de obra

Para dar comienzo a la obra es imprescindible la tenencia de licencia de obras. Dicha licencia expedida por el ayuntamiento municipal hará referencia a la documentación componente del presente proyecto. El objeto de la licencia es garantizar que las actividades a realizar cumplen con la normativa vigente.

La construcción no comenzará hasta que no se haya recibido la licencia. Se debe tener en cuenta que una vez entregados los documentos requeridos por la administración pública y pagadas las tasas pertinentes, la espera media para la aceptación es de alrededor de tres meses.

3.3 Contrato

Las partes formalizarán el acuerdo mediante documento privado que, por cualquier parte, podrá ser elevado a escritura pública. El Contratista correrá con los costos asociados a este proceso. Este acuerdo contendrá la compra de los materiales necesarios para completar la serie de obras descritas, la programación, la mano de obra y los equipos auxiliares para completar la obra en el tiempo previsto, así como la reposición de los componentes dañados, la finalización de los proyectos complementarios y los que resulten de modificaciones realizadas durante la ejecución, realizándose estas últimas en los términos previstos.

El contrato contendrá referencias tanto al Contratista como a la Empresa, así como a todos los documentos que integran el proyecto técnico de la obra.

3.4 Rescisión del contrato

En las circunstancias previstas en la Ley 32/2006, de 18 de octubre, que regula la subcontratación en el sector de la construcción, el Contratista podrá rescindir el contrato sin derecho al abono de una cantidad mayor a la proporcional correspondiente al trabajo realizado.

El incumplimiento de cualquier disposición de este acuerdo o establecida en los documentos del proyecto dará derecho a la Empresa a rescindir el acuerdo. Las causas enumeradas a continuación suponen motivo suficiente para la resolución del contrato por parte de la Empresa:

- El incumplimiento del contrato, que incluye la fecha de inicio de actividad, obligaciones con terceros, etc.

- El incumplimiento de las instrucciones del técnico supervisor de la Empresa.
- La ejecución negligente de la actividad.
- El incumplimiento de la legislación vigente.
- El abandono injustificado de la obra.
- La quiebra o incumplimiento de pagos del Contratista.

El incurrimento en alguno de los puntos descritos será comunicado a través de un escrito al Contratista, pudiendo suponer la paralización inmediata de la obra. La paralización de actividades por estos motivos no exime al Contratista del cumplimiento de las fechas de ejecución y finalización de las obras, aplicándose penalizaciones en caso de no cumplimiento. Tras el aviso de paralización de actividades el Contratista debe proceder de forma inmediata a detener cualquier actividad.

En caso de rescisión del contrato, siempre y cuando los trabajos realizados hayan sido ejecutados de acuerdo con la legislación y al contrato, el Contratista será retribuido con la parte proporcional de los trabajos ejecutados. Además, el Contratista se compromete a aportar los derechos de subcontratación a la empresa promotora.

En caso de que la Empresa decida la rescisión del contrato de forma unilateral, el Contratista tiene derecho a solicitar la total liquidación del contrato y devolución de fianzas y retenciones existentes. El Contratista deberá presentar una factura por las prestaciones realizadas. Las reclamaciones relativas a la pérdida de volumen de negocio o ganancias ajenas a la prestación realizada no serán aceptadas.

El Contratista no podrá rescindir el contrato unilateralmente.

3.5 Indemnizaciones y reclamaciones

Las deficiencias de la instalación que surjan dentro del periodo de garantía fijado serán solventadas sin coste alguno por el Contratista, incluyendo la puesta en marcha posterior a la actuación requerida. En dicho periodo de garantía, las reparaciones que impliquen un coste serán cargadas íntegramente al Contratista.

La Empresa se reserva el derecho a efectuar las actuaciones de subsanación de pequeños errores por sus propios medios sin pérdida de la garantía. En estos casos, la Empresa pondrá en conocimiento con anterioridad al Contratista, quien deberá costear los gastos de la reparación.

Tras la realización de cualquier reparación que precise el paro o el funcionamiento incompleto de la instalación, la Empresa elaborará un acta indicando los días de paro o funcionamiento fuera de los parámetros técnicos de servicio con el fin de que se produzca una prórroga de la garantía en tantos días como los días de funcionamiento anormal de la instalación.

El suministro o instalación por parte del Contratista de elementos sin comprobación de funcionamiento y fiabilidad otorgará derecho a la Empresa a la reclamación de indemnizaciones en caso de fallos.

Tras la realización de cualquier reparación reclamada por la Empresa, esta podrá exigir un control de calidad, comprometiéndose el Contratista a realizarlo.

La Empresa no se hace responsable de las pérdidas o daños en los bienes del Contratista. A pesar de ello, el personal de seguridad velará por todos los materiales, elementos y herramientas que se encuentren dentro de la parcela.

La Empresa quedará eximida de cualquier reclamación y responsabilidad de terceros, siendo el Contratista quien deba responsabilizarse de las reclamaciones de las empresas subcontratadas.

El Contratista acepta y asume la completa responsabilidad de cumplir de manera precisa todas las obligaciones establecidas por las disposiciones nacionales, provinciales o municipales, así como las reglamentaciones, ordenanzas o estatutos relacionados con el seguro de desempleo, seguro de accidentes de trabajo y cualquier otra norma que pueda generar cargos o responsabilidades para la Empresa propietaria.

El Contratista se compromete a reembolsar a la Empresa cualquier suma que esta última se vea obligada a pagar como resultado de negligencias por parte del Contratista en el cumplimiento de sus obligaciones.

3.6 Seguros

El Contratista es responsable de contratar todos los seguros necesarios para llevar a cabo el proyecto, incluyendo transporte, montaje, etc. La cantidad asegurada deberá ser suficiente para cubrir posibles reclamaciones por indemnización, destrucción, pérdida de propiedad y fianzas correspondientes al proyecto. Además, el Contratista también deberá asegurarse por una cantidad adecuada contra reclamaciones por daños corporales (invalidez, lesiones y muerte) y daños a terceros. El contrato establecerá la necesidad de obtener seguros de construcción.

Antes de iniciar los trabajos contratados, el Contratista proporcionará a la Empresa una lista de las pólizas de seguro de construcción. Esto es solo con el propósito de informar a la Empresa sobre el alcance y los efectos de dichas pólizas, sin que su conocimiento implique conformidad o exención de las responsabilidades que el Contratista asume para cubrir todos los riesgos derivados de la ejecución de los trabajos. Además, el Contratista deberá entregar copias de los recibos de pago de las mencionadas pólizas.

Los seguros y coberturas mínimas requeridas son:

- Seguro de Responsabilidad Civil que incluya a los subcontratistas, con un límite mínimo de cobertura para daños materiales, personales, pérdidas de producción, productos, errores y omisiones, y sus consecuencias, en caso de siniestros causados en la empresa durante la realización de su actividad.
- Las coberturas del Seguro de Responsabilidad Civil requeridas son: Responsabilidad Civil Explotación, Responsabilidad Civil Subsidiaria de Subcontratistas, Responsabilidad Civil Patronal, Responsabilidad Civil Cruzada, Responsabilidad Civil Productos y Post-Trabajos, Responsabilidad Civil Profesional, Responsabilidad Civil Bienes en Depósito y/o Custodia, Defensa y Fianzas.
- Seguro contra daños por incendio, rayo y explosión para los bienes en construcción y montaje que cubra el valor total de estos bienes.

Todas las pólizas de seguro serán redactadas de tal manera que el Asegurador se comprometa a no cancelar la póliza durante su período de vigencia sin previo aviso por escrito a la Empresa con treinta días de anticipación a la fecha de cancelación.

Si el Contratista considera que se requieren seguros adicionales durante la ejecución de los trabajos, deberá notificarlo por escrito a la Empresa. La aceptación de esta propuesta por parte de la Empresa queda a su criterio

3.7 Responsabilidades

El Contratista asume la responsabilidad exclusiva de los accidentes laborales y los daños derivados de la ejecución de los trabajos acordados. Debe acatar y cumplir todas las leyes y normativas vigentes, siendo el único responsable de garantizar su cumplimiento. La Empresa queda eximida de cualquier responsabilidad en este sentido.

3.8 Legislación social

El Contratista es responsable de cumplir todas las obligaciones relacionadas con el personal empleado en cuanto a seguridad social y seguro de accidentes, incluyendo las posibles empresas subcontratadas. Debe cumplir la normativa laboral vigente, las regulaciones que rigen las relaciones laborales entre empresas y trabajadores, la legislación sobre accidentes laborales, los subsidios y cualquier otro aspecto relacionado con la seguridad social.

El Contratista deberá declarar de manera explícita que está al día en los pagos a la seguridad social y en todas las demás obligaciones relacionadas con el personal directamente vinculado a las prestaciones especificadas en los pliegos de condiciones. La Empresa no asume ninguna obligación de pago directa o indirecta en relación con los salarios, sueldos o pagos pendientes a la seguridad social que correspondan al Contratista adjudicado.

3.9 Causas de fuerza mayor

Las partes acuerdan definir como casos fortuitos o de fuerza mayor aquellos eventos o acciones que, más allá del control razonable de ambas partes y sin posibilidad de preverlos, afecten el progreso normal de los trabajos acordados, siempre y cuando no sean resultado de negligencia por parte de quien los produzca o de sus empleados. Estos casos fortuitos o de fuerza mayor pueden incluir, pero no se limitan a, los siguientes: incendios, inundaciones, terremotos, desastres naturales, guerras, operaciones militares, revoluciones, disturbios civiles, huelgas y epidemias.

En caso de que la ejecución o cumplimiento del contrato se vea impedida, retrasada u obstaculizada debido a un caso fortuito o de fuerza mayor, ninguna de las partes será considerada responsable por el incumplimiento de los términos del contrato. En tales situaciones, la fecha de finalización de los trabajos acordados se prorrogará por el período que las partes acuerden de mutuo acuerdo.

Una vez que el evento o circunstancia de fuerza mayor o caso fortuito haya cesado, las partes se reunirán para evaluar la situación y acordar los ajustes necesarios para completar las actividades contratadas. El Contratista presentará una revisión de la ruta crítica de la obra y propondrá alternativas de acción, las cuales serán formalizadas de común acuerdo.

3.10 Plazos de entrega y ejecución

El inicio de la obra por parte del Contratista se llevará a cabo dentro del plazo estipulado en el contrato acordado con la Empresa. El Contratista tiene la obligación de notificar por escrito al Director Técnico designado por la empresa la fecha de inicio de los trabajos.

Para la ejecución, entrega y puesta en marcha de la instalación, se establecerá un plazo de veinticuatro (24) semanas a partir de la firma del contrato, incluyendo días festivos y fines de semana.

En caso de que ocurran circunstancias imprevistas o situaciones de fuerza mayor que puedan afectar el tiempo estimado para la finalización de la instalación, el Contratista deberá notificar por escrito a la Empresa propietaria, proporcionando una justificación oficial de dichas circunstancias.

3.11 Legalización

La legalización de las obras será responsabilidad del Contratista, quien deberá llevar a cabo todos los trámites necesarios de acuerdo con la legislación vigente. Estos trámites incluyen la presentación de proyectos de actividad o instalación, estudios de impacto ambiental, solicitud de licencias de actividad, obras y apertura, así como inscripciones provisionales o definitivas, puesta en servicio y desinfecciones, entre otros. Además, deberá pagar todas las tasas requeridas y cumplir con los documentos reglamentarios establecidos por la administración pública, como los libros de registro.

En caso de que se requieran protocolos, ensayos, mediciones, inspecciones, u otros procedimientos para las respectivas legalizaciones, estos serán realizados por un Organismo de Control Autorizado (OCA), seleccionado por la Empresa. Los costos de estos servicios correrán a cargo del Contratista.

Cualquier medida correctora o modificación del proyecto que la Empresa considere necesaria será responsabilidad del Contratista, sin incurrir en costos adicionales para la Empresa.

Para evitar problemas en este sentido, el Contratista podrá realizar consultas al departamento encargado del proyecto para conocer las condiciones que deben cumplir las instalaciones. Además, el Contratista deberá demostrar, a través de análisis realizados por un OCA, si la Empresa, que la instalación suministrada cumple con los valores admisibles en cuanto a emisiones de ruido, aguas residuales, escape de humos, etc., de acuerdo con la legislación vigente tanto durante la fase de ejecución como de funcionamiento.

Es importante tener en cuenta que la legislación vigente aplicable será aquella en vigor durante la etapa de montaje.

3.12 Aceptación provisional

Una vez emitido el Certificado de Fin de Obra, la Empresa evaluará las condiciones del entorno y la instalación y autorizará la aceptación provisional en caso de ser positiva la evaluación. A partir de esa fecha, comenzará el período de garantía.

Si las obras no están en condiciones de ser recibidas, se dejará constancia en el acta y se proporcionarán al Contratista las instrucciones necesarias para corregir los defectos observados, estableciendo un plazo para hacerlo. Una vez vencido este plazo, se llevará a cabo una nueva inspección para proceder a la aceptación provisional de la obra.

Si, después de convocar por segunda vez la aceptación provisional de la obra, esta no puede ser recibida, se dejará constancia en un acta y se otorgará al Contratista un nuevo plazo para subsanar los defectos o carencias observados.

Si el Contratista no cumple dentro de ese segundo plazo, se podrá declarar la resolución del contrato con una pérdida porcentual de la fianza establecida en el contrato.

3.13 Periodo de garantía

La garantía entrará en vigor en la fecha de firma del acta de aceptación final entre el Contratista y la Empresa.

Durante un período de 24 meses, la garantía cubrirá piezas, horas de trabajo, viajes y transporte de materiales para cualquier bien adquirido por la Empresa.

El Contratista también aceptará la responsabilidad de la garantía para sus proveedores. Además, deberá asumir los costos de reparación de defectos ocultos que sean detectados durante el período de garantía, siempre y cuando le sean atribuibles y estén relacionados con los trabajos contratados.

En caso de que el Contratista no cumpla con la solicitud de corrección de las deficiencias ocultas en el plazo estipulado por escrito por la Empresa, esta última se reserva el derecho de encargar la reparación a terceros, a expensas del Contratista.

Si se identifica una deficiencia oculta significativa que afecte considerablemente la utilidad de la instalación y la capacidad de producción, y sea imputable al Contratista, este deberá compensar los daños causados por dicha deficiencia.

3.14 Aceptación final

La aceptación final de la instalación se llevará a cabo después de que haya transcurrido el período de garantía. A partir de la fecha de la aceptación provisional, el Contratista solo será responsable por los defectos de construcción o montaje.

Si durante el proceso de inspección para la aceptación final de la obra o instalación se detecta que no cumple con las condiciones requeridas, se pospondrá la aceptación final. En este caso, la propiedad establecerá plazos para que el Contratista corrija los fallos identificados. Si el Contratista no cumple con estos plazos, la Empresa tendrá la opción de rescindir el contrato y retener la fianza como compensación.

4. Condiciones Económicas

4.1 Liquidaciones

Una vez finalizada la obra, se llevará a cabo la liquidación final de acuerdo con los criterios establecidos en el contrato.

El Contratista presentará la liquidación de la instalación completada para su verificación por parte de la dirección de obra en un plazo de diez (10) días laborables a partir de la fecha de recepción. Junto con la liquidación, se adjuntarán todos los documentos necesarios para su comprobación.

En caso de rescindir el contrato por las causas mencionadas en este documento o mediante acuerdo mutuo, se realizará el pago al Contratista por las partes de la obra ejecutadas y los materiales utilizados en la obra.

La rescisión del contrato conllevará la retención de la fianza, que será utilizada para cubrir los posibles gastos de conservación, el período de garantía y los costos relacionados con el mantenimiento hasta la fecha de una nueva adjudicación.

4.2 Precios y condiciones de pagos

Al finalizar el contrato, el Contratista proporcionará una lista de los precios de las unidades de obra que componen el proyecto. Estos precios, si son aceptados, tendrán valor contractual y se aplicarán a posibles variaciones que puedan surgir.

Los suministros, trabajos y servicios del proyecto serán facturados de acuerdo a los precios establecidos en el Documento V: Presupuesto. Dichas tarifas incluyen los estudios, desarrollo, instalación y puesta en marcha de todos los servicios ofrecidos.

Los pagos se realizarán mediante transferencia bancaria y deberán efectuarse en un plazo de 90 días a partir de la fecha de la factura.

En caso de que sea necesario llevar a cabo unidades de obra no previstas en el proyecto, se acordará previamente el precio entre el Director Técnico y el Contratista antes de iniciar los trabajos. Dicho precio será presentado a la Empresa para su aceptación o rechazo.

4.3 Plazos y penalizaciones

Antes de iniciar la actividad, el Contratista deberá presentar un programa de ejecución detallado en el que se deben incluir de manera precisa lo siguiente:

- Organización de los trabajos.
- Descripción de los recursos necesarios, incluyendo personal, materiales, instalaciones y equipos.
- Estimación de los plazos de ejecución para los diferentes trabajos, incluyendo transporte y puesta en marcha
- Gráficos, diagramas y organigramas que representen las diversas actividades o trabajos (Gantt).

Este programa sólo podrá ser modificado por el Contratista, si es con el fin de acortar los plazos de ejecución, previa aprobación. En caso de que dicha modificación genere gastos adicionales para la Empresa, será necesario contar con la aprobación previa de esta última.

El plazo total para la ejecución completa de la obra es de veinticuatro (24) semanas a partir de la firma del contrato.

El no cumplimiento por parte del Contratista de los plazos acordados en el contrato supondrá penalizaciones que, de igual manera, quedarán definidas en el contrato.

4.4 Fianza

El Contratista deberá depositar una fianza especificada en el contrato. De igual manera, en el contrato se establecen las condiciones para la recuperación de la fianza y las causas que suponen pérdidas porcentuales de la misma.

5. Normas generales de seguridad

El Contratista y sus subcontratistas se comprometen a cumplir con las directivas europeas, la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, los Reales Decretos y otras disposiciones legales aplicables vigentes, así como las Normas generales de seguridad y salud propias de la Empresa. Se prohíbe el uso de cualquier medio de trabajo o herramienta que no cumpla con las especificaciones del Mercado CE.

5.1 Entrada, estancia y tránsito en la planta industrial

Antes de iniciar la ejecución de la obra, la Empresa y el Contratista deben realizar la Planificación de la Coordinación de la Actividad Preventiva, lo cual implica el intercambio de documentos entre las partes.

El Contratista debe entregar la documentación requerida por la legislación vigente antes y durante la ejecución del trabajo. La autorización para iniciar la ejecución está condicionada a la correcta realización de la coordinación mencionada y la entrega de toda la documentación requerida debidamente completada.

Los trabajadores no deben permanecer en áreas distintas a aquellas donde realizan su trabajo y deben seguir los itinerarios indicados previamente. No se les permite cruzar las líneas de producción. Queda estrictamente prohibido manipular interruptores u otros equipos de las instalaciones sin una autorización especial.

Durante el tránsito por la planta, la velocidad máxima permitida para los vehículos es de 40 km/h.

5.2 Trabajo en altura

Los trabajadores que realicen labores en altura deben contar con la formación necesaria y el equipo de prevención adecuado para evitar caídas, como arneses de seguridad, escaleras, andamios y líneas de vida. Los andamios deben cumplir con las condiciones de seguridad necesarias para evitar accidentes.

5.3 Iluminación

Todas las zonas de trabajo deben estar correctamente iluminadas con el fin de prevenir caídas y maniobras incorrectas. Se debe garantizar un mínimo de 125 lux en todo momento en el que se esté desarrollando actividad.

5.4 Lugares de trabajo

Los lugares de trabajo deben mantenerse en buen estado de orden, limpieza e higiene. Al finalizar cualquier trabajo se debe limpiar y ordenar la zona para evitar condiciones inseguras.

Botellas de gas y gases fluorados

Los recipientes de gases comprimidos que se permiten en el área de trabajo son únicamente los estrictamente necesarios para desarrollar las labores requeridas. Todas las botellas de gas deben estar etiquetadas, debidamente sujetas y fuera del alcance de fuentes de calor. Una vez finalizada la jornada o su uso, deben ser cerradas y almacenadas en una zona designada por la Empresa.

Por otra parte, cualquier manipulación de gases fluorados debe efectuarse en cumplimiento de la legislación vigente. Además, los residuos generados por la utilización de estos gases deben ser gestionados por quien los esté empleando.

5.5 Productos químicos

Los productos químicos sólo podrán ser utilizados de acuerdo con los usos autorizados estipulados en la normativa vigente y en las respectivas hojas de seguridad. Para ello, cada vez que se utilice un nuevo producto, el Contratista deberá solicitar por escrito la aprobación de su uso a la Empresa, presentando las correspondientes hojas de datos de seguridad del producto. Es importante destacar que los productos químicos siempre deben estar debidamente etiquetados. En caso de transferirlos a recipientes distintos a los originales, estos recipientes deben ser apropiados, estar bien cerrados y correctamente etiquetados. El Contratista es responsable de asegurar que su personal encargado de manejar los productos químicos reciba la formación adecuada, conozca claramente los procedimientos básicos de actuación, utilice los equipos de protección personal especificados en las hojas de seguridad, esté capacitado para intervenir rápidamente en caso de ser necesario.

Una vez finalizada la jornada o su uso, deben ser cerrados y almacenados en una bandeja de contención a prueba de derrames, suministrada por el Contratista, que esté protegida de la lluvia y en una zona designada por la Empresa. Además, en el área de almacenamiento se deberán tener disponibles las hojas de seguridad de cada producto químico.

5.6 Materiales prohibidos

Queda prohibido el uso de materiales que contengan o estén revestidos con silicona o politetrafluoroetileno en toda la planta. Esto incluye, entre otros, aislamientos de cables, lubricantes, productos de limpieza, y cualquier otro material que contenga estas sustancias.

5.7 Actividades que generen fuego o chispa

Queda terminantemente prohibido la realización de actividades que puedan implicar la generación de un incendio realizar cualquier operación que pueda generar un incendio (soldadura, corte, etc.) a menos que se cuente con una autorización expresa y por escrito de la empresa.

En caso de obtener dicha autorización, el servicio de Bomberos de la empresa se encargará de supervisar la actividad. El Contratista deberá disponer para estos casos de un extintor de polvo de en el área de trabajo.

Queda prohibido dar comienzo al trabajo hasta que los Bomberos hayan otorgado la autorización correspondiente.

5.8 Equipos de trabajo

Todos los equipos de trabajo, incluyendo enchufes, cables, protecciones, fusibles, hilos de tierra, etc., deben encontrarse en buenas condiciones y cumplir con las normas de seguridad establecidas.

5.9 Material excedente de obra

En caso de que exista material excedente proporcionado por el Contratista y que no sea propiedad de la Empresa, es necesario obtener la autorización del departamento de Seguridad para su salida de la planta. Para ello, el Contratista deberá entregar al Técnico Responsable del proyecto un formulario de entrada y salida de materiales para empresas externas cumplimentado. Una vez revisado y aprobado, este documento será remitido al departamento de Seguridad para que se permita la salida del material en cuestión.

5.10 Accidentes

Es obligatorio informar al departamento de Seguridad de la Empresa sobre cualquier incidente o accidente que involucre al personal subcontratado.

5.11 Emergencias

En caso de que ocurra una situación de emergencia en las instalaciones de la Empresa, todo el personal de la empresa subcontratada debe interrumpir sus labores, asegurar que se encuentren en condiciones seguras, desconectar los equipos que estén utilizando y abandonar la zona dirigiéndose a los puntos de encuentro que se indiquen en los planos correspondientes al Plan de Emergencias.

5.12 Medidas disciplinarias

Toda persona que no cumpla los Procedimientos de Seguridad estará sujeta a sanciones que podrán resultar en su expulsión temporal o permanente de las instalaciones de la planta. En caso de que exista un riesgo de accidente grave, la Empresa se reserva el derecho de tomar la decisión de detener por completo las labores en curso.

6. Medioambiente

6.1 Sistema de Gestión Ambiental

La Empresa cuenta con la certificación ISO 14001 y requiere que el Contratista con personal trabajando en las instalaciones y que puedan tener un impacto en el medio ambiente, también estén certificados según la norma ISO 14001.

En caso de duda sobre la prestación del servicio, el Contratista debe consultar con la Empresa para garantizar la preservación del medio ambiente y evitar sanciones económicas, administrativas o penales relacionadas con el medio ambiente. El Contratista será el único responsable de las consecuencias derivadas de cualquier incumplimiento en este sentido. Además, se compromete a cumplir con la normativa ambiental vigente y a satisfacer los requisitos ambientales establecidos por la Empresa.

La empresa puede llevar a cabo auditorías en el transcurso de las actividades del Contratista, previa autorización. Asimismo, el Contratista debe proporcionar los registros ambientales solicitados.

6.2 Gestión de Residuos

Si durante la ejecución de una obra se generan residuos en las instalaciones de la Empresa, será responsabilidad del Contratista gestionar adecuadamente dichos residuos. Al finalizar el trabajo contratado, el Contratista deberá dejar la zona completamente limpia, sin residuos ni suelos contaminados. Se prestará especial atención a la retirada de envases y embalajes de cualquier tipo.

La gestión de residuos debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El Contratista debe mantener las instalaciones y sus alrededores limpios y ordenados, sin restos de ningún tipo.
- Todo el material necesario para la gestión de residuos, incluyendo contenedores y transporte, debe ser proporcionado por el Contratista.
- El Contratista es responsable de gestionar correctamente los residuos generados por su actividad y debe enviarlos a un gestor autorizado. En cualquier momento, la Empresa puede solicitar la documentación que demuestre que esta gestión se ha realizado de acuerdo con la legislación vigente. Bajo ninguna circunstancia los residuos deben ser incorporados a la gestión de la Empresa.

- En el caso de residuos de construcción, se deben cumplir las disposiciones establecidas en la legislación vigente. El costo de la gestión de residuos corre a cargo del Contratista.
- Queda terminantemente prohibido depositar residuos reciclables como metales, cartón, vidrio, madera o residuos peligrosos en contenedores de basura.

6.3 Contaminación del suelo

En caso de que la actividad del Contratista genere accidentes que puedan resultar en la contaminación del suelo, como derrames de aceite u otros materiales, será responsabilidad exclusiva del mismo hacer frente a todos los gastos y llevar a cabo la gestión del suelo contaminado. Deberá tomar todas las medidas necesarias para limpiar y rehabilitar el suelo afectado, cumpliendo con los requisitos legales y normativas aplicables.

6.4 Responsabilidades

En caso de que el Contratista, su personal o las empresas subcontratadas por él incumplan las obligaciones establecidas en esta cláusula o en la normativa ambiental vigente, el Contratista será considerado responsable y asumirá cualquier sanción administrativa o reclamación por daños y perjuicios personales o materiales que resulten de dicho incumplimiento. .

Además, el incumplimiento de cualquiera de las obligaciones establecidas en esta cláusula puede dar lugar a la resolución automática del contrato, sin perjuicio de las responsabilidades que el Contratista pueda enfrentar por dicha infracción, tanto en el ámbito contractual como en relación a la normativa aplicable.

6.5 Vertidos y emisiones

El Contratista tiene terminantemente prohibido realizar vertidos a la red de aguas residuales sin obtener previamente la autorización por escrito de la Empresa. Dicha autorización especificará el punto de la red donde se permite realizar el vertido. Es responsabilidad del Contratista tomar todas las medidas razonablemente posibles para prevenir la contaminación del agua y del aire, y abstenerse de verter productos contaminantes.

6.6 Maquinaria

La maquinaria que ingrese al recinto debe encontrarse en buen estado, sin presentar derrames o goteos de aceites, combustibles u otras sustancias peligrosas. El Contratista será responsable del estado de la maquinaria de las empresas subcontratadas.

No se permitirá realizar reparaciones o labores de mantenimiento en la maquinaria que puedan ocasionar derrames de sustancias peligrosas en el centro de trabajo, a menos que se cuente con la autorización expresa, previa y por escrito de la Empresa. En caso de que se autoricen actividades de esa índole, las reparaciones se llevarán a cabo en una zona designada por la Empresa, donde cualquier derrame pueda ser fácilmente controlado con un mínimo riesgo de contaminación del suelo o del agua.

7. Condiciones facultativas

7.1 Medios del Contratista

El Contratista será responsable de proporcionar, a su cargo, todas las herramientas y recursos necesarios para llevar a cabo correctamente las tareas contratadas. La falta de medios o su inadecuación no podrá ser utilizada como excusa justificativa en caso de incumplimiento total o parcial de los servicios acordados.

El Contratista utilizará productos y materiales de alta calidad y de marcas reconocidas, que sean adecuados para el propósito del proyecto y cumplan con las regulaciones ambientales vigentes. Además, deberá contar con todos los certificados necesarios relacionados con los productos que suministre, los cuales deberán ser puestos a disposición de la Empresa antes de la entrega por parte del Contratista.

Con el fin de que la Empresa pueda cumplir con los requisitos legales de inclusión en la lista de sustancias peligrosas, en caso de que existan, el Contratista deberá informar a la Empresa sobre su uso, tanto al inicio de la prestación de servicios como en caso de cualquier nuevo uso de dichas sustancias. Además, el Contratista deberá proporcionar las fichas técnicas y de seguridad del producto correspondiente.

7.2 Persona de contacto

Antes de dar comienzo a los servicios acordados, el Contratista deberá proporcionar a la Empresa los datos de una persona de contacto designada por él, quien será responsable de todas las comunicaciones entre ambas partes en el contexto de la relación contractual establecida.

En caso de que haya un cambio en la persona de contacto designada, el Contratista deberá notificarlo a la Empresa con la debida antelación.

7.3 Otras obligaciones

El Contratista conservará la autoridad de supervisión sobre sus empleados, asumiendo los resultados directos de su trabajo, así como las responsabilidades y riesgos asociados a las labores realizadas. Debe ejercer estas facultades de forma exclusiva, sin permitir interferencias de ninguna persona física o jurídica.

El personal contratado por el Contratista estará bajo su gestión y responsabilidad exclusivas, y su relación laboral será directa y exclusivamente con él, sin que exista ninguna relación laboral con la Empresa. El Contratista es responsable de pagar los salarios, complementos, dietas y gastos de desplazamiento, así como las cotizaciones de la Seguridad Social, seguros sociales y de accidentes de todo el personal empleado para llevar a cabo el trabajo acordado.

Cuando el personal del Contratista realice tareas dentro de las instalaciones de la Empresa, el Contratista garantizará que sus trabajadores estén debidamente identificados y cumplan con las normas de acceso, seguridad, uso, prevención de riesgos laborales y cualquier otra directriz específica de la Empresa. Asimismo, el Contratista será responsable de cualquier pérdida o daño que sus empleados puedan causar a los bienes e instalaciones de la Empresa. El Contratista también asumirá la responsabilidad ante la Empresa por cualquier acto u omisión de su personal que constituya una infracción penal, civil o administrativa.

En caso necesario, el Contratista proporcionará a su personal uniformes de trabajo y todos los elementos necesarios según sus funciones, de acuerdo con la normativa vigente en materia de seguridad e higiene laboral, para identificarlos como empleados del Contratista.

La Empresa puede exigir en cualquier momento que los trabajos se realicen con condiciones de seguridad y respeto al medio ambiente más estrictas que las requeridas por la ley. En tal caso, ambas partes se reunirán para determinar cómo esta variación puede afectar las condiciones del contrato.

8. Condiciones técnicas

8.1 Suministro de materiales y elementos

Los materiales y elementos serán suministrados en el lugar de la obra, incluyendo su descarga, almacenamiento y transporte en el sitio.

Esto también se aplica a los materiales proporcionados por el comprador para su montaje. Cualquier costo adicional de transporte debido a retrasos en la descarga será responsabilidad del Contratista.

La descarga de materiales y maquinaria destinados al uso interno se llevará a cabo de manera inmediata y sin ningún cargo para la Empresa.

El Contratista será responsable de realizar un Control de Calidad en la recepción de los materiales necesarios para la ejecución del proyecto.

El suministro de materiales deberá ajustarse al progreso de los trabajos y se acordará con la Empresa la ubicación designada para el acopio de los materiales, teniendo en cuenta que esta área siempre debe mantenerse ordenada y cerrada bajo la responsabilidad del Contratista.

8.2 Equipo eléctrico

Todo equipamiento eléctrico que se instale debe cumplir las normas y especificaciones técnicas UNE-EN generales y particulares indicadas en el Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba 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.

Todas las características técnicas de los diferentes elementos deben ajustarse a lo especificado en el Documento I: Memoria.

8.2.1 Transformadores de potencia y reactancias

Es imprescindible que los transformadores de potencia y las reactancias lleven la placa de características en un lugar visible.

Las actividades principales a desarrollar para el montaje de los transformadores y reactancias son las siguientes:

- Descarga y transporte de los elementos y accesorios hasta su ubicación final, incluyendo los accesorios.
- Montaje completo.
- Llenado de aceite.
- Aprobación o recepción final.

Dichas actividades deben ser llevadas a cabo por el fabricante de los transformadores, quien además debe supervisar la puesta en marcha de los mismos.

8.2.2 Embarrados, conductores y conexiones

Las características técnicas, como materiales, diámetros, etc., de los embarrados y conductores deben especificarse en la Memoria de este proyecto.

El montaje de los embarrados tubulares debe realizarse en el suelo y posteriormente se deben izar los tramos.

El montaje de los conductores se realiza de forma similar a la de los embarrados tubulares, ejecutándolos en el suelo y elevándolos posteriormente.

Las conexiones se realizan con los elementos ya izados, asegurando la limpieza en las conexiones y el apriete indicado en la especificación del fabricante de cada conexión.

8.2.3 Interruptores

Los interruptores del lado de 220 kV deben ser tripolares, de SF6 y de servicio a intemperie. Los cuatro interruptores seleccionados para el lado de Alta Tensión, correspondientes a las dos posiciones de línea y a las dos posiciones de transformadores, deben tener similares características. Todos ellos deben disponer de accionamiento manual y automático.

Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Desembalaje.
- Instalación de los interruptores en las bancadas asegurando la nivelación.
- Llenado de los interruptores de SF6.
- Comprobación de la densidad y presión del SF6.

El proceso deberá estar supervisado y aprobado por el fabricante de los interruptores.

8.2.4 Seccionadores

Los seccionadores del lado de 220 kV deben ser tripolares y de servicio a intemperie. Dos de los seis seccionadores necesarios en este proyecto, cuentan con puesta a tierra. Los dos seccionadores con puesta a tierra deben ser los ubicados en las posiciones de línea, antes de los interruptores. El accionamiento de los seccionadores es eléctrico y las operaciones de apertura y cierre se realizan simultáneamente en las tres columnas rotativas del o fases.

Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Desembalaje.
- Instalación de los seccionadores asegurando la nivelación.
- Ajuste y engrase.
- Comprobación de penetración de cuchillas de puesta a tierra.

8.2.5 Transformadores de medida y protección

Los transformadores de intensidad y protección se deben colocar encima de las estructuras metálicas dispuestas para ello. Es imprescindible que lleven la placa de características en un lugar visible.

Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Desembalaje.
- Instalación de los transformadores de tensión e intensidad en los soportes metálicos.
- Medición de aislamientos.
- Comprobación de polaridad y medición de relación de transformación en los transformadores de intensidad.

8.2.6 Pararrayos

Los pararrayos se deben colocar encima de las estructuras metálicas dispuestas para ello.

Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Desembalaje.
- Instalación de los pararrayos en los soportes metálicos.
- Instalación de contadores de descargas.
- Medición de aislamientos.

8.2.7 Celdas de media tensión

Las celdas blindadas de media tensión se deben colocar en la Sala de celdas de Media Tensión del edificio prefabricado, agrupadas como un único conjunto.

Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Desembalaje.
- Colocación y unión de celdas.
- Unión de embarrados.
- Instalación del cableado.
- Realización de la puesta a tierra.

8.2.8 Puesta a tierra

Todos aquellos elementos metálicos que no deban soportar tensión se deben conectar a la malla de tierra. La instalación de puesta a tierra debe garantizar que la corrientes de paso y contacto no sean mayores a las de diseño.

En el Documento II: Planos se indica la disposición que debe tener la malla de tierra y en el Documento I: Memoria se especifica la profundidad de enterramiento así como las características de los conductores. Las conexiones se deben realizar con soldadura aluminotérmica.

8.3 Obra civil

8.3.1 Movimiento de tierras

El primer paso consiste en el desbroce completo del espacio en el que se va a proceder a la instalación de la subestación. Tras ello, se deben iniciar las tareas de movimiento de tierras, nivelado y compactación del terreno.

8.3.2 Red de drenaje

La subestación debe tener una red de drenaje superficial para conducir aguas de lluvia o de subsuelo al exterior del recinto, formada por tubos drenantes de policloruro de vinilo recubiertos por material filtrante. La disposición de las tuberías y arquetas queda definida en el Documento II: Planos.

8.3.3 Hormigones

Para la realización de las bases o cimentaciones de la apartamenta, bancada de los transformadores, cimentación del edificio prefabricado y el edificio prefabricado se emplea hormigón.

Se debe cumplir rigurosamente lo establecido en el Código Estructural aprobado en el Real Decreto 470/2021 del 29 de junio de 2021. Particularmente, en el Capítulo 8 hace referencia a las propiedades tecnológicas de los materiales para las estructuras de hormigón, quedando definidas las clases de cementos que se pueden emplear y los requerimientos del agua y áridos necesarios.

El proceso a seguir para la creación de las bases y cimentaciones es:

- Vertido de hormigón de limpieza en excavaciones.
- Repunteo.
- Armado de las parrillas.
- Colocación de pernos de anclaje para la estructura metálica.
- Encofrado.
- Hormigonado.
- Retirada de encofrado.
- Se deben respetar los tiempos de fraguado del hormigón.

8.3.4 Estructura metálica

Los soportes metálicos se deben colocar en las bases de hormigón previstas para ello. La ubicación de las bases se detalla en el Plano 3 del Documento II: Planos.

Para su montaje se deben seguir los siguientes pasos:

- Desembalaje.
- Revisión de dimensiones y taladros.
- Fijación de las estructuras metálicas.
- Corrección de alineación, aplomado y nivelado.

8.4 Puesta en marcha

Una vez finalizado el montaje y la puesta a punto de la instalación, el Contratista solicitará el comienzo de la puesta en marcha con el objetivo de trabajar con el producto y corregir errores, deficiencias o carencias, así como afinar y optimizar la instalación para cumplir con los estándares de calidad. El departamento encargado del proyecto evaluará las condiciones del entorno, la instalación o la obra y autorizará la puesta en marcha si considera que se reúnen las condiciones previas para la puesta en marcha necesarias. El objetivo de esta verificación es asegurar que no existan deficiencias graves, defectos fundamentales, especialmente en términos de seguridad y funcionamiento de la instalación.

La autorización para poner en servicio la instalación es responsabilidad exclusiva de la Empresa, concretamente del departamento encargado del proyecto. A partir de este momento, el personal de la Empresa, previa formación impartida por el Contratista, podrá comenzar a utilizar la instalación, y el equipo de mantenimiento trabajará junto con el Contratista principalmente en labores de seguimiento, lo cual permitirá familiarizarse con la nueva instalación y facilitar la formación posterior del personal.

Durante la puesta en marcha, la responsabilidad de la instalación recae únicamente en el Contratista, aunque el personal de la Empresa participe en ella. Esta autorización no implica ninguna liberación económica.

8.4.1 Condiciones previas para la puesta en marcha

Para que la Empresa pueda autorizar la puesta en marcha, se deben cumplir sin excepción las siguientes condiciones mínimas:

1. El Contratista habrá entregado una copia de la documentación provisional, en caso de que la documentación definitiva no esté disponible en ese momento.
2. El montaje y la puesta a punto de la instalación deben estar completos y cumplir todos los requisitos establecidos en este pliego de condiciones en cuanto a funcionalidad, seguridad y requisitos legales. La instalación no debe presentar defectos graves y debe cumplir con parámetros aceptables de calidad. Para evaluar estas condiciones, tanto la Empresa como el Contratista llevarán a cabo una revisión de la instalación y se realizarán pruebas de funcionamiento bajo la supervisión del departamento responsable del proyecto. Estas pruebas abarcarán todos los aspectos del funcionamiento de la instalación, incluso provocando fallos controlados para comprobar la respuesta automática.

3. Se asegurará que todas las protecciones o funciones de seguridad exigidas son correctas y que la instalación cumple con todas las condiciones de seguridad establecidas por la normativa. El Contratista entregará una lista de verificación en la que se detallarán los elementos de seguridad supervisados en la instalación, como relés de protección, puertas de acceso o sistemas de emergencia.
4. Tanto la instalación como la zona previamente ocupada deben presentar un estado óptimo de limpieza. Además, las zonas ocupadas por el Contratista durante el montaje y la puesta a punto deberán haber sido liberadas, retirando herramientas y material residual.
5. En caso de que la puesta en marcha requiera la participación del personal de la Empresa, se les habrá proporcionado la formación necesaria, incluyendo información sobre los riesgos asociados al uso de los equipos de trabajo y las medidas de prevención y protección que deben tomarse. Además, se les habrá proporcionado las instrucciones y demás información relevante.
6. El Contratista habrá proporcionado un listado detallado de los repuestos críticos y recomendados para la instalación, incluyendo el precio, plazo de entrega, nombre del fabricante, referencia, marca y modelo. Además, el Contratista debe contar con los repuestos necesarios para mantener en funcionamiento constante e ininterrumpido la instalación desde su puesta en marcha. La lista de repuestos para la puesta en marcha se elaborará en colaboración con la Empresa. El Contratista deberá mantener disponibles estos repuestos hasta que la Empresa disponga de los recambios.

Si no se cumplen las condiciones para la puesta en marcha, la Empresa no autorizará dicho proceso y se dará un plazo al Contratista para corregir los defectos.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SUBESTACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 220/30 KV PARA PLANTA INDUSTRIAL EN RIVABELLOSA

DOCUMENTO V: PRESUPUESTO



Estudiante: García Quintas, Álvaro

Director/Directora: Valverde Santiago, Víctor

Curso: 2022-2023

Fecha: 04, 09, 2023

Índice

1. Suministro de aparamenta exterior 220 kV	2
2. Suministro de aparamenta exterior 30 kV	2
3. Suministro de puesta a tierra	3
4. Suministro de estructura metálica.....	3
5. Suministro de aparamenta interior 30 kV	4
6. Suministro de servicios auxiliares, control y comunicaciones.....	5
7. Suministro y ejecución de obra civil	6
8. Montaje y pruebas	7
9. Resumen de presupuesto.....	7

1. Suministro de aparamenta exterior 220 kV

1. Suministro Aparamenta Exterior 220 kV					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
1.1	ud.	Pararrayos autoválvula de 220 kV	12	1.600,00 €	19.200,00 €
1.2	ud.	Transformador de tensión 220 kV	9	14.000,00 €	126.000,00 €
1.3	ud.	Seccionador con puesta a tierra 220 kV	2	12.500,00 €	25.000,00 €
1.4	ud.	Interruptor tripolar 220 kV	4	75.000,00 €	300.000,00 €
1.5	ud.	Transformador de intensidad posición de línea 220 kV	6	10.500,00 €	63.000,00 €
1.6	ud.	Transformador de intensidad posición de transformador 220 kV	6	10.500,00 €	63.000,00 €
1.7	ud.	Seccionador 220 kV	4	11.200,00 €	44.800,00 €
1.8	ud.	Transformador de potencia 40MVA, 220/30kV	2	745.000,00 €	1.490.000,00 €
1.9	ud.	Transformador de intensidad bushing 220 kV de medida o protección	12	3.000,00 €	36.000,00 €
1.10	ud.	Transformador de intensidad bushing 30 kV de medida o protección	12	3.000,00 €	36.000,00 €
1.11	m	Embarrado 220 kV, 150/125mm, aleación de Al	93	170,00 €	15.810,00 €
1.12	ud.	Aislador C10-1050 220 kV	15	2.200,00 €	33.000,00 €
1.13	m	Conductor unipolar 483-AL1/33-ST1A	360	4,30 €	1.548,00 €
Total					2.253.358,00 €

2. Suministro de aparamenta exterior 30 kV

2. Suministro Aparamenta Exterior 30 kV					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
2.1	ud.	Aislador 30 kV	6	1.100,00 €	6.600,00 €
2.2	m	Embarrado 30 kV, 63/53mm, aleación de Al	24,3	80,00 €	1.944,00 €
2.3	m	Conductor unipolar AL HEPRZ1 de 630 mm ²	260	5,50 €	1.430,00 €
2.4	ud.	Pararrayos autoválvula de 30 kV	6	900,00 €	5.400,00 €
Total					15.374,00 €

3. Suministro de puesta a tierra

3. Suministro Puesta a tierra					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
3.1	m	Conductor de Malla de Tierra Cu 100mm ²	3000	9,80 €	29.400,00 €
3.2	ud.	Pica acero-cobre 2000x14 mm	4	11,60 €	46,40 €
3.3	50 ud.	Piezas conexión de tierra	4	655,00 €	2.620,00 €
3.4	ud.	Reactancia de puesta a tierra	2	57.000,00 €	114.000,00 €
3.5	ud.	Transformador de intensidad bushing de reactancia de puesta a tierra	2	3.000,00 €	6.000,00 €
Total					152.066,40 €

4. Suministro de estructura metálica

4. Suministro Estructura metálica					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
4.1	ud.	Soporte pararrayos autoválvula 220 kV	12	900,00 €	10.800,00 €
4.2	ud.	Estructura de pórtico	1	30.000,00 €	30.000,00 €
4.3	ud.	Soporte transformador de tensión de 220 kV	9	900,00 €	8.100,00 €
4.4	ud.	Soporte transformador de intensidad	12	900,00 €	10.800,00 €
4.5	ud.	Soporte seccionador con puesta a tierra 220 kV	2	3.800,00 €	7.600,00 €
4.6	ud.	Soporte interruptor 220 kV	4	3.200,00 €	12.800,00 €
4.7	ud.	Soporte seccionador 220 kV	4	3.500,00 €	14.000,00 €
4.8	ud.	Soporte aislador 220 kV	6	850,00 €	5.100,00 €
4.9	ud.	Estructura soporte de aisladores de embarrado principal 220 kV	3	1.600,00 €	4.800,00 €
4.10	50 ud.	Piezas de conexión y derivación	4	700,00 €	2.800,00 €
4.11	ud.	Soporte pararrayos autoválvula 30 kV	6	700,00 €	4.200,00 €
4.12	ud.	Soporte aisladores 30 kV	1	1.000,00 €	1.000,00 €
Total					112.000,00 €

5. Suministro de aparamenta interior 30 kV

5. Suministro Aparamenta Interior 30 kV					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
5.1	ud.	Celda de 36 kV de doble barra blindada de SF6. Para transformador equipada según esquema unifilar.	2	40.000,00 €	80.000,00 €
5.2	ud.	Celda de 36 kV de doble barra blindada de SF6. Para línea equipada según esquema unifilar.	8	29.500,00 €	236.000,00 €
5.3	ud.	Celda de 36 kV de doble barra blindada de SF6. Para medida equipada según esquema unifilar.	2	25.700,00 €	51.400,00 €
5.4	ud.	Celda de 36 kV de doble barra blindada de SF6. Para servicios auxiliares equipada según esquema unifilar.	2	31.200,00 €	62.400,00 €
5.5	ud.	Celda de 36 kV de doble barra blindada de SF6. Para enlace de barras equipada según esquema unifilar.	1	23.000,00 €	23.000,00 €
				Total	452.800,00 €

6. Suministro de servicios auxiliares, control y comunicaciones

6. Suministro Servicios auxiliares, control y comunicaciones					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
6.1	ud.	Armario de protección y control de posición de transformador (UCP)	2	36.000,00 €	72.000,00 €
6.2	ud.	Armario de protección y control de posición de línea (UCP)	2	30.000,00 €	60.000,00 €
6.3	ud.	Unidad de control de subestación (UCS)	1	27.000,00 €	27.000,00 €
6.4	ud.	Armario de comunicaciones	2	35.000,00 €	70.000,00 €
6.5	ud.	Armario RTU de transmisión	1	7.000,00 €	7.000,00 €
6.6	ud.	Armario de medida AT	1	20.000,00 €	20.000,00 €
6.7	ud.	Armario de Servicios auxiliares Corriente Alterna	1	35.000,00 €	35.000,00 €
6.8	ud.	Armario de Servicios auxiliares Corriente Continua	1	26.000,00 €	26.000,00 €
6.9	ud.	Armario de iluminación y fuerza	1	5.000,00 €	5.000,00 €
6.10	ud.	Módulo de medida tarifador	2	3.500,00 €	7.000,00 €
6.11	ud.	Luminarias led estancos de 4.200 lm, 25,5W, IP66, IK08	7	115,60 €	809,20 €
6.12	ud.	Caja de tomas de corriente	4	154,00 €	616,00 €
6.13	ud.	Toma trifásica 400 V, 125 A	1	63,50 €	63,50 €
6.14	ud.	Sistema de detección de humo y calor	1	352,50 €	352,50 €
6.15	ud.	Extintor CO2 de 5 kg	6	80,10 €	480,60 €
6.16	ud.	Detector de movimiento contra intrusismo	8	69,50 €	556,00 €
6.17	ud.	Báculo 12 m de altura y 4mm de espesor, con cruceta en forma de "T" de 1 m	8	593,30 €	4.746,40 €
6.18	ud.	Luminaria tipo proyector led de 15.840 lm, 108 W, IP 66, IK09	16	654,80 €	10.476,80 €
6.19	ud.	Alumbrado de emergencia	4	14,90 €	59,60 €
6.20	ud.	Transformador de Servicios auxiliares 230 kVA, 30/0,420-0,242 kV	2	43.000,00 €	86.000,00 €
6.21	ud.	Rectificador monofásico 230V y 50 Hz a 125 Vcc 40 A	2	9.000,00 €	18.000,00 €
6.22	ud.	Batería níquel-cadmio 200 Ah	2	7.000,00 €	14.000,00 €
6.23	ud.	Equipo cargador de baterías	2	242,50 €	485,00 €
6.24	m	Conductor 3x1,5 mm2, Cu, XLPE, para Circuito de control	4000	0,60 €	2.400,00 €
6.25	m	Conductor 5x16 mm2, Cu, XLPE, para Circuito de fuerza	200	7,80 €	1.560,00 €
6.26	m	Conductor 4x50 mm2, Cu, XLPE, para Circuito de fuerza	20	18,30 €	366,00 €
6.27	m	Conductor 5x2,5 mm2, Cu, XLPE, para Circuito de alumbrado	700	1,40 €	980,00 €
6.28	m	Conductor 5x1,5 mm2, Cu, XLPE, para Circuito de emergencia	50	0,90 €	45,00 €
6.29	m	Conductor 5x10 mm2, Cu, XLPE, para Circuito a rectificador cc	20	4,90 €	98,00 €
6.30	m	Tubo de canalización eléctrica de 110 mm Ø	2000	2,15 €	4.300,00 €
				Total	475.394,60 €

7. Suministro y ejecución de obra civil

7. Suministro y ejecución de Obra civil					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
7.1	m2	Acondicionamiento de terreno (desbroce, excavación, nivelación)	4000	4,50 €	18.000,00 €
7.2	m3	Cimentaciones (bancadas de transformadores, zapatas de aparamenta)	213	8,30 €	1.767,90 €
7.3	ud.	Red de drenaje	1	26.500,00 €	26.500,00 €
7.4	m	Canalización eléctrica tipo A	217	72,00 €	15.624,00 €
7.5	m	Canalización eléctrica tipo B	84	79,00 €	6.636,00 €
7.6	m	Canalización eléctrica tipo BR	2,4	84,00 €	201,60 €
7.7	m2	Asfaltado de vial	294	17,00 €	4.998,00 €
7.8	m2	Acera perimetral	350	23,00 €	8.050,00 €
7.9	m	Muro de cerramiento	214	17,00 €	3.638,00 €
7.10	m	Vallado perimetral	214	13,00 €	2.782,00 €
7.11	m2	Capa de grava de 10 cm	3070	1,80 €	5.526,00 €
7.12	ud	Puerta corredera metálica de 7 x 2,2 m	1	875,00 €	875,00 €
7.13	ud	Puerta metálica peatonal de 1,2 x 2,2 m	1	275,00 €	275,00 €
7.14	ud.	Edificio prefabricado de hormigón con Sala de celdas de Media Tensión, sala de transformadores de Servicios Auxiliares, sala de control y protecciones y almacén (incluye cimentación, techado, acometidas, esacleras, canalones, desagües)	1	195.000,00 €	195.000,00 €
7.15	m	Barandilla 1,10 m de altura	32	65,00 €	2.080,00 €
7.16	ud.	Puerta de doble bisagra de 2,30 de alto x 1,90 de ancho, con rejilla de ventilación, galvanizada y esmaltada con poliuretano	4	310,00 €	1.240,00 €
7.17	ud.	Rejilla de ventilación con extractor galvanizada y esmaltada con poliuretano	2	297,00 €	594,00 €
7.18	ud.	Aire acondicionado split con bomba de calor	1	510,00 €	510,00 €
				Total	294.297,50 €

8. Montaje y pruebas

8. Montaje y pruebas					
Posición	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio TOTAL
8.1	ud.	Montaje y conexión de instalación a intemperie (estructura metálica, apartamento, transformadores, reactancias, conexión de controles y protecciones)	1	110.000,00 €	110.000,00 €
8.2	ud.	Montaje y conexión de instalación en interior del edificio (celdas, transformadores de servicios auxiliares, armarios de sala de protección y comunicaciones)	1	90.000,00 €	90.000,00 €
8.3	ud.	Instalación eléctrica de fuerza y alumbrado (circuito de fuerza, alumbrado exterior, alumbrado interior y alumbrado de emergencia)	1	30.000,00 €	30.000,00 €
8.4	ud.	Pruebas, mediciones y puesta en marcha	1	20.000,00 €	20.000,00 €
Total					250.000,00 €

9. Resumen de presupuesto

9. Resumen		
Posición	Descripción	Precio
1.	Suministro Apartamento Exterior 220 kV	2.253.358,00 €
2.	Suministro Apartamento Exterior 30 kV	15.374,00 €
3.	Suministro Puesta a tierra	152.066,40 €
4.	Suministro Estructura metálica	112.000,00 €
5.	Suministro Apartamento Interior 30 kV	452.800,00 €
6.	Suministro Servicios auxiliares, control y comunicaciones	475.394,60 €
7.	Suministro y ejecución de Obra civil	294.297,50 €
8.	Montaje y pruebas	250.000,00 €
Total Presupuesto		4.005.290,50 €

El presupuesto asciende a la cantidad de: CUATRO MILLONES, CINCO MIL DOSCIENTOS NOVENTA CON CINCUENTA CENTIMOS (4.005.290,50 €).