

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

66/20 KV 2x40 MVA

para suministro eléctrico a planta de proceso
de mina de potasa



Grado en Ingeniería
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Nombre y apellidos del autor: Imanol Goicoechea Díez

Nombre y apellidos del director/es: Alfredo Ursúa

Pamplona, fecha de defensa: 30 de marzo de 2017

RESUMEN

Se proyecta la construcción de una subestación transformadora de intemperie de 66/20 kV con una potencia de 2x40 MVA que se utilizará para dar suministro a una planta de procesamiento de una mina de potasa. Cobra especial importancia el aseguramiento de suministro continuo y para esto se han tomado diferentes técnicas como son la redundancia de transformadores o la transferencia de carga en 66 kV. Existirá una sala eléctrica que albergará tanto las celdas de media tensión como todos los servicios auxiliares y el control de la subestación. Esta subestación alimentará a dos anillos que distribuirán la energía eléctrica a los diferentes centros de transformación existentes por la planta.

Palabras clave: Subestación, Redundancia, Suministro continuo, Transferencia de carga, Centros de transformación.

This project explains the construction of an outdoor transformer substation of 66/20 kV with a 25x40 MVA power. It will be used to supply energy to a process plant from a potash mine. Different techniques have been implemented, such as transformer redundancy or load transfer at 66 kV, in order to assure continuous supply, a very relevant issue in this project. There will be an E-House to host all the medium voltage switchgears, as well as the auxiliary services and the control of the substation. This substation will feed two rings that will distribute the energy to the different transformation centers existing all around the plant.

Key words: Substation, Redundancy, Continuous supply, Load transfer, Transformation center.

Contenido

- 1. MEMORIA**
- 2. ANEXO 1: CÁLCULOS**
- 3. ANEXO 2: PLANOS**
- 4. ANEXO 3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**
- 5. ANEXO 4: PLIEGO DE CONDICIONES DE MONTAJE ELECTROMECAÁNICO**
- 6. ANEXO 5: RELACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS AFECTADOS**

1. MEMORIA

ÍNDICE

1. OBJETO	3
2. ALCANCE.....	3
3. EMPLAZAMIENTO.....	3
4. PETICIONARIO	4
5. ANTECEDENTES Y CONDICIONES DE PARTIDA	4
5.1 PROCESOS.....	5
6. NORMATIVA APLICABLE	8
7. LINEA DE ALTA TENSIÓN 66 kV	8
8. EXPOSICIÓN DE LA SUBESTACIÓN	10
8.1 SISTEMA DE ENTRADA (66 kV):	11
8.2. SISTEMA DE SALIDA EN 20 kV	12
8.2.1. Sala eléctrica.....	12
8.3. SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIONES.....	12
8.4. RED DE TIERRAS.....	13
9. DESCRIPCIÓN DE LOS ANILLOS DE MEDIA TENSIÓN	14
9.1. ANILLO 1: PLANTA DE PROCESOS.....	15
9.2. ANILLO 2: TALLERES	16
10. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	17
10.2. SISTEMA DE 66 kV DE INTEMPERIE	17
10.2.1. Estructura metálica	17
10.2.2. Embarrado.....	17
10.2.3. Conexionado embarrado – aparamenta:.....	18
10.2.4. Transformadores de Potencia	18
10.2.5. Aparamenta eléctrica	19
10.3. SALA ELÉCTRICA.....	24
10.3.1. Equipos de medida de energía.....	24
10.3.2. Servicios auxiliares	24
10.3.3. Equipo de corriente continua.....	25
10.4. CABLEADO	25
10.4.1. Cableado de interconexión entre el TP y las celdas de MT.....	26
10.4.2. Cableado de interconexión entre la celda de protección y el Transformador de S.S.A.A. 26	

10.4.3.	Cableado de interconexión transformador de S.S.A.A. y C.B.T.....	26
10.4.4.	Cableado de interconexión del equipo de Corriente Continua y el C.B.T.....	26
10.5.	ALUMBRADO Y TOMAS DE FUERZA	26
10.6.	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	27
10.7.	PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA	27
11.	OBRA CIVIL	29
11.2.	PARQUE EXTERIOR	29
11.2.1.	Explanación y acondicionamiento del terreno.....	29
11.2.2.	Vallado exterior.....	29
11.2.3.	Cimentaciones y soportes de apartamento.....	29
11.2.4.	Canalizaciones de cables	30
11.2.5.	Bancada del transformador.....	30
11.2.6.	Foso de recogida de aceite.....	30
11.2.7.	Acabado.....	30
11.3.	SALA ELÉCTRICA.....	30
12.	CONCLUSIONES	31
13.	BIBLIOGRAFÍA	31

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1:	Situación.....	3
Imagen 2:	Huella general.....	5
Imagen 3:	Minador continuo.....	5
Imagen 4:	Apoyo tipo 62E serie 1.....	10
Imagen 5:	Apoyo tipo Cóndor.....	10
Imagen 6:	Diagrama subestación en H.....	10
Imagen 7:	Anillos de media tensión.....	14
Imagen 8:	Celdas de media tensión.....	24
Imagen 9:	Protección atmosférica.....	28

1. OBJETO

Este proyecto tiene como finalidad la definición de la instalación eléctrica correspondiente a la nueva Subestación transformadora de 66/20 kV con una capacidad de 2x40 MVA, de manera que se dé el servicio requerido y asegurando el cumplimiento de la normativa vigente.

2. ALCANCE

El alcance de este proyecto comprende aquellas instalaciones eléctricas que van desde el entronque de la línea de Alta Tensión (AT) que llega a la subestación hasta el grupo de celdas de Media Tensión (MT) ubicadas en la sala eléctrica de la Subestación.

3. EMPLAZAMIENTO

La subestación objeto del proyecto se encuentra en el término municipal de Sangüesa junto a la planta de procesamiento de la Mina Muga en las parcelas reflejadas en el anexo nº2 de Bienes y Derechos afectados.

Se adjunta plano donde puede observarse el emplazamiento.



Imagen 1: Situación

4. PETICIONARIO

La realización de este proyecto se realiza a petición de la empresa GEOALCALI, S.L. con CIF: B-37508900

5. ANTECEDENTES Y CONDICIONES DE PARTIDA

Geoalcali, S.L. es una empresa dedicada a la explotación de yacimientos de potasa. El uso principal de las sales potásicas es el de fertilizante para cultivos dado que el potasio es, junto al nitrógeno y el fósforo, un nutriente esencial para las plantas.

En los años 70, Potasas de Subiza S.A. realizó una serie de sondeos en este emplazamiento, que indicaron la existencia de un yacimiento de potasa extenso y a poca profundidad.

Se ha proyectado la construcción de una mina de potasa al sudoeste del embalse de Yesa, entre las Comunidades Autónomas de Navarra y Aragón. Con motivo de esta ubicación, esta ha adoptado el nombre de Mina Muga.

Con el fin de suministrar la energía eléctrica necesaria para la instalación minera que se pretende ubicar, se proyectará la construcción de una Línea eléctrica de Alta Tensión a 66 kV. Esta tomará la energía de la subestación transformadora 220/66 kV perteneciente a Iberdrola S.A. que se encuentra en el polígono industrial Rocaforte, en Sangüesa y llegará hasta la subestación transformadora que se va a estudiar, a partir de la cual se repartirá la energía hasta los puntos necesarios y posteriormente la línea seguirá hasta otra subestación, también propiedad de Geoalcali, que servirá para dar servicio a la mina.

En concreto, la subestación del presente proyecto se encargará de alimentar toda la planta de procesamiento del mineral y todos los servicios auxiliares que se encuentren en superficie, mientras que la otra subestación servirá para toda la parte subterránea de extracción del material.

Al tratarse de una planta de extracción y proceso de material, una condición muy importante a tener en cuenta a la hora del diseño es asegurar al máximo posible la continuidad en el servicio. Esto se logra, entre otras cosas, con redundancia tanto en líneas como en transformadores, lo que permite que, si uno falla, se pueda seguir operando con el otro con la planta a pleno rendimiento, es decir, que no haya paradas por falta de suministro de energía.

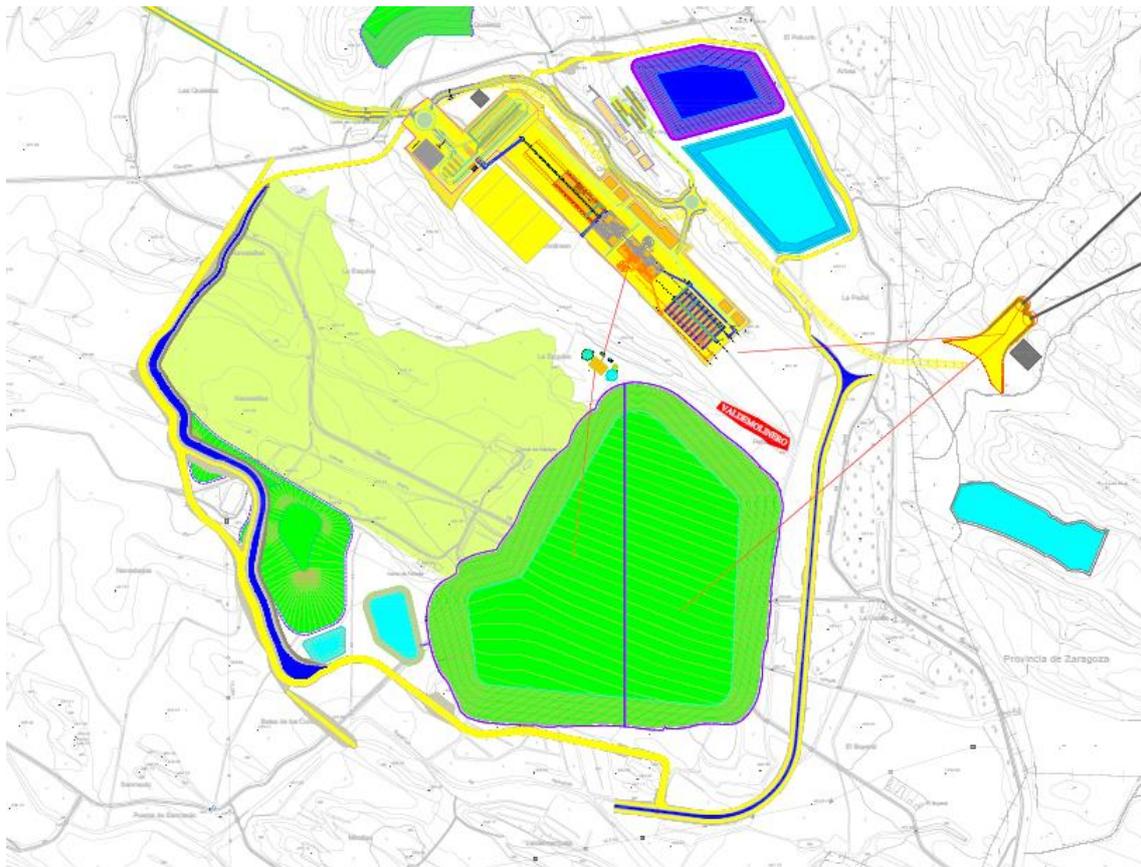


Imagen 2: Huella general

5.1 PROCESOS

Se requieren diferentes procesos para conseguir el producto final desde que se extrae el mineral de dentro de la mina:

- El mineral se extrae del yacimiento mediante minadores continuos, de una potencia de 1 MW. El terreno se mina en forma de cámaras y pilares, donde se divide cada panel en una serie de cámaras de 5m de alto x 6 m de ancho, que se irán tunelando alternativamente, sirviendo como pilar la cámara que se deja sin tunelar.



Imagen 3: Minador continuo

- El mismo minador recoge el material y lo deposita en un camión, que lo lleva hasta las cintas que se encuentran en las galerías principales y que envían todo lo extraído hasta el exterior por medio de una rampa de 2,5 km y una pendiente del 14%.
- Aquí, la cinta de la rampa vierte el material a otra cinta exterior, de una potencia de 400 kW y una longitud de 700 m que lleva el mineral hasta la planta de procesado.
- La planta de procesos se divide en diferentes áreas dependiendo de la actividad que se realiza en cada una de ellas:
 - Área de almacenamiento del mineral
 - Trituración y atrición
 - Flotación
 - Tratamiento de tailings y lamas
 - Secado y recalentado del producto
 - Compactado
 - Glazing
 - Área de almacenamiento del producto

- **HANGAR ROM: Área de almacenamiento del mineral**

El propósito del área de almacenamiento de mineral es actuar de pulmón entre la mina y la planta de procesamiento. Garantiza que la planta recibe un flujo continuo, absorbiendo las oscilaciones de suministro de mina. Así se consigue la continuidad que se busca durante todo el proyecto.

Maquinaria más importante:

- Separador de 150 kW
- Cinta de 315 kW.

PLANTA DE TRITURACIÓN-FLOTACIÓN:

En esta planta el propósito es separar el producto final (Cloruro potásico) del resto de materiales (sales e inertes). Para esto se realizan diferentes procesos:

- **Trituración y atrición**
En esta área se consigue reducir el material hasta el tamaño deseado mediante cribas y un molino impactor.
- **Flotación**
El propósito de la flotación es separar la potasa de los tailings salinos (NaCl). Esto se consigue añadiendo aceite de flotación, y distintos reactivos al material, que después pasará por las distintas fases de flotación.
- **Tratamiento de tailings y lamas**
El objetivo de esta área es separar la salmuera y recuperarla, ya que al estar saturada en KCl, se debe aprovechar para el proceso para maximizar la recuperación global de la

planta. Este proceso se hace mediante tanques, filtros y centrifugas, recirculando la salmuera posteriormente mediante bombas.

Maquinaria más importante:

- 3 centrifugas de 250 kW
- 2 molinos de 300-350 kW
- Bombas

PLANTA DE SECADO Y COMPACTADO:

De esta planta se obtendrá el producto final, listo para la distribución.

- **Secado y recalentado del producto:**

El propósito de la etapa de secado es eliminar la humedad restante tras el proceso de centrifugado y así poder introducirlo a la siguiente etapa del proceso, el recalentado, con la que se consigue calentar el producto hasta la temperatura óptima para el compactado.

El producto se alimenta mediante una cinta que descarga sobre un secadero, que consta de quemadores de gas natural con los que calienta el aire.

Al tratar con gas, esta zona se considera ATEX, por lo que todos los equipos y cableado tendrán que estar preparados para esta causa.

Estos gases serán tratados y filtrados mediante un depurador para limpiarlos y cumplir las exigencias de emisiones.

- **Compactado y Glazing:**

El KCl se ha obtenido en forma de polvo seco, por lo que aquí se compacta para conseguir granos de los tamaños requeridos por el mercado de la potasa granular o GMOP.

Esto se consigue mediante unos rodillos compactadores que forman unas placas y alimentan a un “flake breaker” que las rompe consiguiendo el tamaño deseado.

Posteriormente se procede al “glazing” cuyo objetivo es obtener un producto más resistente mediante la aplicación de una pequeña cantidad de agua.

Maquinaria más importante:

- Secador de 260 kW
- 3 compactadores de 600 kW

- **Hangar GMOP: Área de almacenamiento del producto**

Finalmente, el producto es depositado en un Hangar donde se almacena para poder cargarlo en los camiones que se encarguen de su distribución.

6. NORMATIVA APLICABLE

Para la redacción del presente Proyecto, así como para la posterior ejecución de las obras, se tendrán en cuenta las Disposiciones, Prescripciones y Normas contenidas en los Reglamentos e Instrucciones siguientes:

1. Reglamento Electrotécnico de baja Tensión e Instrucciones Complementarias al mismo, según Decreto 842/2002 de octubre, B.O.E. de 09/11/02.
2. Las Instrucciones Complementarias, MI-BT, del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobadas por Orden del Ministerio de Industria de 31 de octubre de 1973, B.O.E. de 27, 28, 29 y 31/12/73.
3. El Reglamento Técnico de Líneas de Alta Tensión, aprobado por el Decreto 223/2008 de 15 de febrero
4. El Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, e Instrucciones Técnicas Complementarias al mismo, aprobado por Real Decreto 3275/1982 de 12 de noviembre, B.O.E. de 01/12/82. Actualizado de acuerdo a la orden ministerial del 10 de marzo de 2000.
5. Las Normas Particulares y Condiciones Generales para Instalaciones de Abonado en Alta Tensión de la Empresa Suministradora IBERDROLA, S.A.U.
6. Las normas UNE de obligado cumplimiento.
7. Recomendaciones IEC.

7. LINEA DE ALTA TENSIÓN 66 kV

Para llevar el suministro de energía necesaria para el buen funcionamiento de toda la instalación, tanto de la mina como de la planta de procesado de material, se construirá una línea de alta tensión aérea, aunque con tramos en subterráneo.

Esta línea partirá de la subestación que se encuentra en el polígono industrial de Rocaforte, en Sangüesa, ya que es el punto más cercano del que se puede obtener toda la potencia que será necesaria en la mina.

Esta es una subestación perteneciente a la compañía Iberdrola S.A. a la que llegan 2 líneas de 220 kV y reduce la tensión a 66 kV.

El punto de conexión para esta nueva línea será en el parque de 66 kV y será un punto de conexión doble, conectándose a los dos embarrados de este parque. Así se asegura que la línea siempre va a poder suministrar la energía, aunque haya un fallo o avería en uno de los dos sistemas, o se tenga que desconectar para labores de mantenimiento.

La línea proyectada será una línea de doble circuito, dúplex y con cableado tipo 337-AL1/44-ST1A (LA-380), con una sección de 381 mm². Esto tiene diferentes ventajas:

- Al ser doble circuito, asegura suministro continuo, a pesar de que haya algún fallo en una de las líneas o aguas arriba de esta, o necesite mantenimiento, ya que siempre se va a poder suministrar por el otro circuito.
- Además, permite repartir la carga entre ambos circuitos, por lo que la intensidad que pasa por ellos es menor y por lo tanto hay menos pérdidas.
- Al ser dúplex, tiene mayor superficie de contacto con el aire (refrigerante), por lo que el calentamiento del cable es menor y con ello las pérdidas en este también son menores.

Esta línea circulará mayoritariamente de forma aérea,

Una vez la línea salga de la subestación de Iberdrola, pasará por un Centro de Seccionamiento y Medida (CSM) donde, además de proteger la línea, se medirá la energía que es suministrada a esta.

El primer tramo de la línea será subterráneo, bordeando el polígono industrial de Rocaforte y llegando hasta el borde del río Aragón. Este tramo será de 370 metros.

Aquí la línea pasará a ser aérea hasta el último apoyo antes de su llegada a la subestación del actual proyecto. Este tramo tendrá una longitud de 8370 metros.

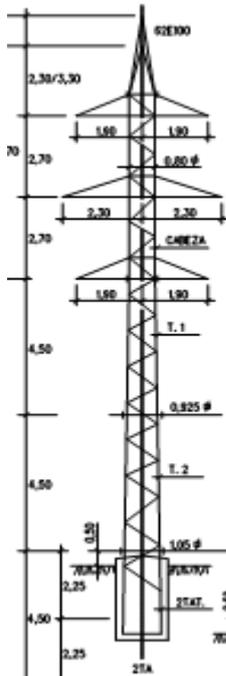
Se incluirán protecciones para la avifauna en el tramo del cruce de este río, que consistirán en balizas salva pájaros con el fin de que estos no se golpeen contra las líneas.

Tanto a su llegada a la subestación como en su salida hacia la siguiente subestación (ubicada al lado de la bocamina) el trazado será subterráneo hasta el siguiente apoyo.

Por último, el tramo de interconexión entre las dos subestaciones discurrirá de nuevo en aéreo, hasta llegar al último apoyo, que volverá a ser subterráneo para entrar en la subestación. Este recorrido será de 1600 metros.

En total la línea constará de 41 apoyos, siendo de tipo Cóndor o tipo 62E, dependiendo el peso y los esfuerzos que tengan que soportar.

- Apoyos tipo Cóndor: 13
- Apoyos tipo 62E: 28



Altura nominal		ESFUERZOS							
		3.000	5.000	7.000	9.000	12.000	18.000	27.000	33.000
12	Altura Libre (H)	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
	Peso (kg)	1045	1146	1319	1686	1837	2321	3223	3654
15	Altura Libre (H)	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
	Peso (kg)	1418	1546	1791	2160	2403	2973	3856	4400
18	Altura Libre (H)	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
	Peso (kg)	1788	1932	2181	2743	3024	3744	4723	5403
21	Altura Libre (H)	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
	Peso (kg)	2113	2312	2590	3168	3583	4295	5620	6286
24	Altura Libre (H)	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4	24,0	24,0
	Peso (kg)	2524	2762	3082	3794	4262	5162	6325	7246
27	Altura Libre (H)	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,0	27,0
	Peso (kg)	3004	3313	3628	4447	4969	6060	7584	8464
30	Altura Libre (H)	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,2	30,2
	Peso (kg)	3433	3764	4191	5079	5608	6993	8423	9436
33	Altura Libre (H)	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2	33,2
	Peso (kg)	3981	4363	4842	5862	6456	8072	9845	10951

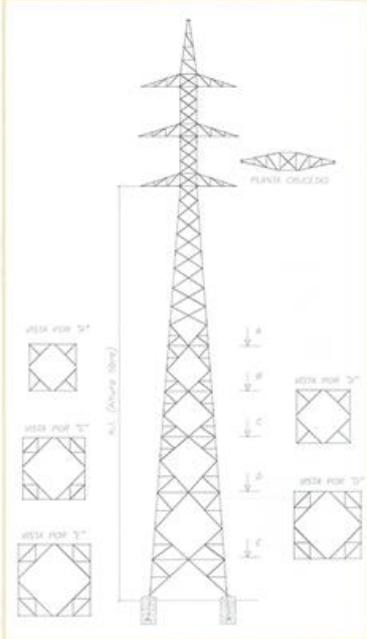


Imagen 4: Apoyo tipo 62E serie 1

Imagen 5: Apoyo tipo Cónдор

Se adjunta plano de situación de toda la línea.

8. EXPOSICIÓN DE LA SUBESTACIÓN

La ST dispondrá de 2 posiciones de entrada de línea con enlace de barras, + 2 posiciones de salida de línea (hacia la siguiente subestación, no objeto de este proyecto) + 2 posiciones de transformador de 40 MVA cada una.

Así, la subestación tendrá forma de H, siguiendo así la premisa de asegurar el funcionamiento continuo de esta. Los dos diferentes circuitos, que conectan cada línea de entrada con su propio transformador, estarán conectados entre sí por una barra de transferencia de cargas. Esta barra contiene un interruptor NA de manera que cuando uno de los dos circuitos falle, tenga una avería o deba someterse a un mantenimiento, este interruptor se cierre y se pueda seguir alimentando a ambos transformadores desde el otro circuito.

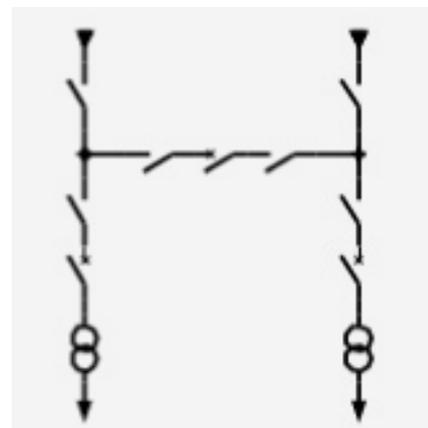


Imagen 6: Diagrama subestación en H

Tanto la entrada como la salida de las líneas en Doble Circuito se produce en modo subterráneo.

La subestación estará dividida en el sistema de entrada a 66 kV, el de salida a 20 kV y el de transformación de una tensión a otra.

Esta transformación se realizará mediante 2 Transformadores Trifásicos de Potencia con una relación de 66/20 de aceite que irán a la intemperie. Estos transformadores tendrán el neutro conectado a tierra por medio de una resistencia con el fin de disminuir las corrientes de defecto en la parte de 20 kV. Tendrán además regulación de tensión automática en carga.

8.1 SISTEMA DE ENTRADA (66 kV):

Las dos posiciones de entrada de línea de 66 kV (nº1 y 2) (L1 y L2) contendrán los siguientes elementos:

- 1 Soporte con autoválvulas para entrada de línea
- 1 Seccionador trifásico manual con puesta a tierra (PAT)
- 3 Fusibles
- 3 Transformadores de tensión (de protección)
- 2 Seccionadores trifásicos manuales
- 1 Interruptor automático de corte SF6
- 3 Transformadores de tensión (medida y facturación)
- 3 Transformadores de intensidad
- 3 Aisladores de soporte

Las dos posiciones de salida de línea de 66 kV hacia la siguiente subestación (nº3 y 4) (L3 y L4). Contarán con los siguientes elementos:

- 1 Soporte con aisladores para entrada de línea
- 1 Seccionador trifásico manual con puesta a tierra (PAT)
- 3 Transformadores de intensidad
- 1 Interruptor automático de corte SF6
- 1 Seccionador trifásico manual
- 1 Soporte con aisladores para sistema de barras.

Enlace de barras. Que servirá para enlazar las barras de las posiciones L1 y L3 con L2 y L4. Esta posición de enlace constará de los siguientes elementos:

- 4 Soportes con aisladores para sistema de barras superior
- 2 Soportes con aisladores y Seccionadores trifásicos manuales
- 1 interruptor automático de corte SF6

Por último, estará la posición de entrada al primario de los dos transformadores de potencia a 66 kV (posiciones S1 y S2). Contarán con los siguientes elementos:

- 1 Seccionador trifásico manual con puesta a tierra (PAT)
- 1 interruptor automático de corte SF6
- 3 transformadores de intensidad
- 1 Soporte con autoválvulas para protección del Transformador de Potencia

8.2. SISTEMA DE SALIDA EN 20 kV

La mayor parte de la apartamentada de 20 kV está situada en el interior de la sala eléctrica.

A la salida de los TP (en intemperie) se coloca el embarrado en el que se conectarán las autoválvulas del sistema de 20 kV y los cables de acometida, que entrarán subterráneos a las celdas de la sala eléctrica.

8.2.1. Sala eléctrica

La sala eléctrica estará formada por un edificio prefabricado del fabricante Ormazábal o similar. Esta debe tener una puerta de acceso por la que se pueda introducir la distinta apartamentada que estará ubicada dentro. Además, se encontrará en una posición elevada (90 cm aprox.) de forma que se pueda dominar la ST desde esta y se pueda acceder con los cables por debajo.

Toda la apartamentada de dentro de la sala se prevé para una tensión nominal de 20 kV y de servicio de 24 kV.

En el interior de la sala encontraremos todas las protecciones eléctricas de la subestación, y las protecciones de los transformadores de potencia. Entre ellas se encontrarán 9 celdas de 20 kV. 2 de ellas servirán para la entrada de las líneas procedentes de los 2 transformadores. Estas serán de protección con interruptor automático y medida de V e I. Habrá 6 celdas de salida hacia la planta. En el comienzo únicamente se utilizarán 4 de ellas. Por último, una celda de salida al trafo de servicios auxiliares.

Se instalará un conjunto de 3 armarios para el mando y control de la subestación, así como los elementos auxiliares necesarios. Algunos de estos equipos serán el armario de baterías, el armario de facturación, el armario de servicios auxiliares y el equipo de resistencias para los transformadores del parque.

Como se ha mencionado previamente, la sala contendrá también un transformador de servicios auxiliares de 20/0,4 kV y 630 kVA. A la salida de este se dispondrá de un cuadro de baja tensión.

8.3. SISTEMA DE CONTROL Y PROTECCIONES

Este se encontrará dentro de la sala eléctrica y contará con los equipos de protección y control necesarios para el buen funcionamiento de toda la planta.

Este sistema de control contará, como mínimo, con:

- un cuadro de protección y control
- Un equipo de baterías, con su cargador y rectificador
- Un cuadro de S.S.A.A

8.4. RED DE TIERRAS

Se diseña una red de tierras de acuerdo a las especificaciones establecidas en la ITC MIE-RAT 12. Este sistema tiene dos funciones:

- Eliminar el peligro de electrocución del personal que esté en la subestación.
- Asegurar el buen funcionamiento de las protecciones.

Estos objetivos se logran manteniendo los valores de las tensiones de paso y de contacto por debajo de los límites establecidos.

Para asegurar su correcta funcionalidad, este sistema debe tener una resistencia inferior a los 5 Ohmios. En caso contrario, es necesario ampliar la malla hasta que esta condición se cumpla.

Esta comprobación queda realizada en el anexo de cálculos.

El sistema se divide en:

- Electrodo, que se encargan de unir la línea principal de tierra a la tierra física. Estos serán de acero cobreado, con una longitud de 2 m y un diámetro de 18 mm tal y como queda reflejado en los cálculos.
- Línea Principal de Tierra, que será de cobre y tendrá una sección normalizada de 95 mm², como está indicado en los cálculos. Esta formará una red mallada por toda la subestación que se situará por debajo de la solera, en contacto con el terreno.
- Línea Secundaria de Tierra. Será también de cable de cobre con una sección normalizada de 95 mm². Será el cable de unión entre la línea principal y las derivaciones de los equipos.
- Derivaciones, que estarán constituidas por cables de cobre de sección normalizada de 95 mm². Son la medida de protección de cada equipo, que une la masa de este a la línea secundaria de tierra.

Los diferentes equipos y estructuras se conectarán a tierra por medio de grapas atornilladas, de forma que se permita la desconexión de los conductores cuando se quiera verificar las puestas a tierra.

Sistemas específicos de tierra de servicio, como pueden ser el neutro de los Transformadores de Potencia y de medida, los seccionadores de puesta a tierra, las tomas de tierra de las autoválvulas, etc. Irán conectados directamente a tierra sin uniones intermedias que puedan ser desmontables.

En el caso del neutro del TP, la conexión a tierra se realizará por medio de un transformador toroidal y una resistencia de puesta a tierra.

Se adjunta plano de red de tierras.

9. DESCRIPCIÓN DE LOS ANILLOS DE MEDIA TENSIÓN

Como se ha mencionado, la subestación servirá para abastecer todos los suministros necesarios en la superficie, principalmente la planta de procesos.

Así, de las celdas de media tensión de la subestación saldrán 2 anillos de 20 kV. Mediante esta configuración en anillo para distribución, se consigue, como se busca en todo el proyecto, tener mayor redundancia y poseer un suministro más continuo.

Estos serán anillos abiertos, es decir, en un punto el circuito estará abierto, alimentando así a la mitad de las cargas del anillo por cada extremo, por lo que los cables soportarán únicamente la mitad de la carga de forma habitual, produciendo menos calor (que se traduce en menos pérdidas) y teniendo una vida útil mucho mayor. El punto en el que estará el circuito abierto será una de las celdas de línea de media tensión que se encuentran en los centros de transformación, intentando, como se ha explicado anteriormente, que la carga quede repartida lo más equitativamente posible a ambos lados.

En el momento en que ocurra un fallo/cortocircuito en un trazo del cable, este se aislará abriendo la celda correspondiente y se cerrará la celda que anteriormente permanecía abierta, permitiendo así que los centros se puedan seguir alimentando desde el otro extremo.

Para que esto sea posible, es necesario que los cables estén dimensionados para el peor escenario, es decir, para soportar toda la corriente del anillo, en caso de que el tramo que falle sea el inicial.

Uno de los anillos alimentará las naves principales de la planta, mientras que el otro servirá para abastecer los diferentes puntos de la superficie en los que se requiera energía y que no sean estas 4 naves.

Cada anillo llegará hasta diferentes salas eléctricas/centros de transformación que mediante los transformadores disminuirán la tensión de Media a Baja.

Se pretende que todos los transformadores que estén ubicados en la superficie tengan la misma capacidad, de forma que se pueda estandarizar al máximo posible y así tener el menor número de repuestos posible.

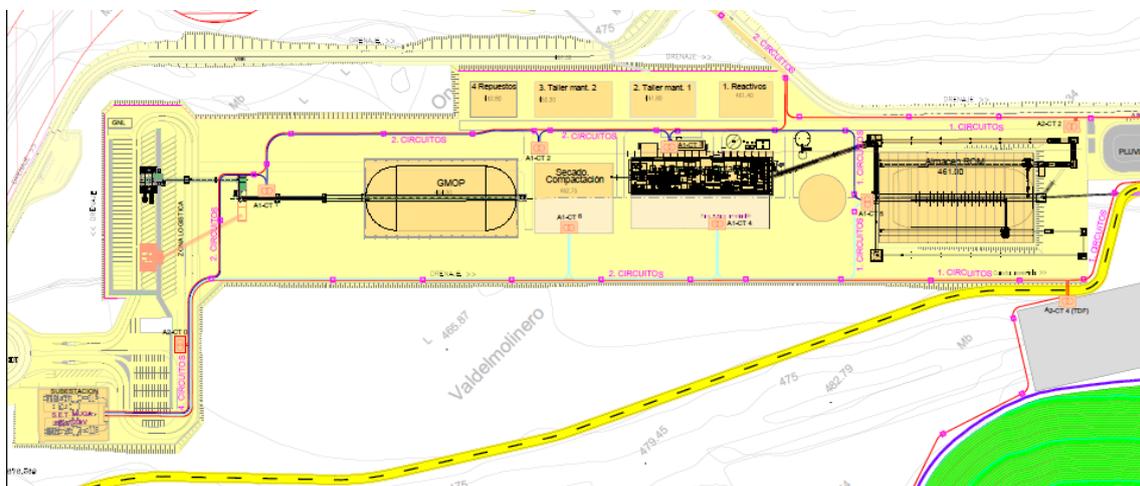


Imagen 7: Anillos de media tensión

9.1. ANILLO 1: PLANTA DE PROCESOS

En este anillo se alimentarán las 4 principales naves de procesamiento del material. Cada nave tendrá su propio centro de transformación, mientras que habrá previstos otros dos para una futura fase de ampliación de la producción.

En estos centros, se utilizarán transformadores de 2 MVA 20/0,69 kV para alimentar todos los motores de la maquinaria que esté ubicada dentro de las naves.

Así, tendremos las siguientes salas eléctricas:

HANGARES ROM 1.110 kW.

PLANTA DE TRITURACIÓN y FLOTACIÓN 5.650 kW.

TRAFO 001 1.420 kW.

TRAFO 002 1.350 kW.

TRAFO 003 1.620 kW.

TRAFO 004 1.260 kW.

PLANTA DE SECADO y COMPACTADO 4.510 kW.

TRAFO 001 1.490 kW.

TRAFO 002 1.540 kW.

TRAFO 003 1.480 kW.

HANGARES GMOP 950 kW.

PLANTA DE TRITURACIÓN y FLOTACIÓN (FASE 2) 5.650 kW.

TRAFO 001 1.420 kW.

TRAFO 002 1.350 kW.

TRAFO 003 1.620 kW.

TRAFO 004 1.260 kW.

PLANTA DE SECADO y COMPACTADO (FASE 2) 4.510 kW.

TRAFO 001 1.490 kW.

TRAFO 002 1.540 kW.

TRAFO 003 1.480 kW.

TOTAL 22.380 kW.

Por lo tanto, el cable utilizado será tipo HEPRZ-1 de aluminio, unipolar, de sección 3x (3x240 mm²) y con aislamiento 12/20 kV.

El cálculo de la sección queda reflejado en el anexo 1: Cálculos.

9.2. ANILLO 2: TALLERES

Existirá un segundo anillo, de mayor longitud, pero menor potencia, que alimentará los distintos centros que habrá alrededor de la planta encargados de llevar el suministro de energía a todos los puntos en los que se necesite.

Estos centros albergarán transformadores de potencias de 1 y 2 MVA que pasarán de 20 a 0,4 kV. Alimentarán al edificio de backfilling y a diferentes servicios como son los edificios de oficinas y talleres, el bombeo de ciertas balsas, el laboratorio y la iluminación de la carretera, así como una cinta transportadora que está instalada junto a ella.

Así, las potencias quedarían repartidas de la siguiente manera:

BACKFILLING	5.050 kW.
TRAFO 001	1650
TRAFO 002	1720
TRAFO 003	1680
EDIFICIOS	750 kW.
BOMBEO	1.200 kW.
LABORATORIO	460 kW.
VARIOS	750 kW.
TOTAL	8.210 kW.

Por lo tanto, el cable utilizado será tipo HEPRZ-1 de aluminio, unipolar, de sección 3x (1x120 mm²) y con aislamiento 12/20 kV.

El cálculo de la sección queda reflejado en el anexo 1: Cálculos.

10. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

10.2. SISTEMA DE 66 kV DE INTEMPERIE

10.2.1. Estructura metálica

Se instalará una estructura metálica, con la función de apoyo y soporte para los embarrados y distintos equipos del parque.

Estos soportes se diseñan siguiendo la norma NBE-EA-95 de estructura metálica.

Se construirá con perfiles de acero normalizados. Este ha debido ser sometido a un proceso de galvanizado, que asegure una protección contra la corrosión.

Los soportes sobre los que irá toda la apartamenta montada serán a base de estructura de celosía de acero. Estas estructuras se complementarán con herrajes y tornillería auxiliares para la fijación de los accesorios.

Todo el parque de intemperie estará rodeado de una valla que comenzará y acabará en el edificio de la sala eléctrica. Esta valla será de 2,5 m de altura y dispondrá de 4 puertas de acceso con anchura suficiente para vehículos.

10.2.2. Embarrado

Se ha diseñado un sistema de embarrado con barras principales y secundarias, de forma que se pueda mantener unas temperaturas que no superen los 40º por encima de la temperatura ambiente.

Todo el embarrado metálico se diseñará de forma que pueda soportar todos los esfuerzos tanto electrodinámicos como térmicos de las corrientes de cortocircuito sin producir en ellos deformaciones. Se mantendrá también un margen de seguridad suficiente teniendo en cuenta la corriente.

En el caso de 66 kV el embarrado estará formado por tubo de aluminio de 80/70 mm de diámetro, mientras que para 20 kV será una pletina de cobre de 100x10 mm. Por último, entre aparatos de la subestación, se tenderá cable tipo 337-AL1/44-ST1A (LA-380) de aluminio/acero. Así, tienen las siguientes características:

	66 kV		20 kV
Tipo de embarrado	Tubo circular	Cable LA-380	Pletina rectangular
Material	Aluminio	Aluminio /acero	Cobre
Sección (mm ²)	1180	381 mm ²	1000
Dimensiones (mm)	D: 80/70	D: 25,38 mm	100x10
Intensidad máxima (A)	1760	719	1490

10.2.3. Conexión embarrado – aparamenta:

La conexión se realizará con racores de bronce debidamente seleccionados (atendiendo a intensidades y vibraciones). La tornillería será de acero inoxidable.

10.2.4. Transformadores de Potencia

Como se ha mencionado, con el fin de tener redundancia, se diseña la implementación de dos transformadores de potencia con una capacidad de 40 MVA, que serán la base de la subestación. Estos tendrán las siguientes características principales:

Eléctricas:

Potencia	40.000 kVA
Tensión primario	66 kV
Aislamiento primario impulso tipo rayo	325 kV
Tensión de aislamiento bornas primario	72 kV
Conexión primario	Triángulo
Tensión secundario	20 kV
Aislamiento secundario impulso tipo rayo	125 kV
Tensión de aislamiento bornas secundario	24 kV
Conexión secundario	Estrella con neutro accesible
Grupo de conexión	Dyn11
Tensión de cortocircuito	13 %
Regulación automática en carga	±7 x 1,25% (14 posiciones)
Frecuencia	50 Hz
Toma de tierra en cuba	Mínimo dos conexiones
Posibilidad de trabajar en paralelo	Sí

Mecánicas:

Tipo de transformador	Sumergido en aceite
Refrigeración	ONAN con posibilidad de ONAF (ventilación forzada)
Regulación de tensión	Automática
Material de devanados	Cobre
Válvula de vaciado rápido de cuba	Sí
Válvula de vaciado rápido de regulador	Sí
Válvula de toma de muestras	2 (Mínimo)
Ruedas bidireccionales	Sí
Ganchos para elevación de transformador	Sí

Además, con el fin de facilitar el mantenimiento y protección de los transformadores, estos llevarán incluidos los siguientes elementos auxiliares:

- 1 conmutador de TAP automático en carga de 14 posiciones.
- 1 Relé Buchholz
- 1 Relé de temperatura de devanados
- 1 Relé de temperatura del aceite
- 1 indicador del nivel de aceite
- 1 Válvula de sobrepresión
- 2 Válvulas de toma de muestras

10.2.5. Aparamenta eléctrica

En el parque de intemperie se hallará tanto aparamenta del sistema de 66 kV como del sistema de 20 kV. Se describe a continuación toda la aparamenta, así como su principal función y características:

10.2.5.1. Aparamenta de 66 kV

Seccionador de línea con PAT:

Su función es la de separar físicamente y de forma apreciable a la vista el exterior de la subestación (la línea de entrada) con la propia subestación. Las principales características deben ser:

Tipo	Tripolar giratorio de apertura lateral
Tensión aislamiento	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Intensidad nominal	1250 A
Accionamiento	Tripolar
Intensidad admisible de corta duración	25 kA
Valor cresta de intensidad admisible	80 kA
Marca	ELECTROTAZ
Puesta a tierra	SI
Modelo	DIALT 72,5/1250-PAT

Seccionador de línea sin PAT:

La función de este es la misma que la del seccionador de línea con PAT. Sus características principales son:

Tipo	Tripolar giratorio de apertura lateral
Tensión aislamiento	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Intensidad nominal	1250 A
Accionamiento	Tripolar
Intensidad admisible de corta duración	25 kA
Valor cresta de intensidad admisible	80 kA
Marca	ELECTROTAZ
Puesta a tierra	NO
Modelo	DIALT 72,5/1250

Fusibles cortacircuitos limitadores:

Sirven para la protección de los transformadores de tensión de protección. Presentan las siguientes características principales:

Tipo	Tripolar giratorio de apertura vertical
Tensión aislamiento	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Intensidad nominal del fusible	1 A
Tensión del fusible	69 kV
Accionamiento	Unipolar
Marca	ELECTROTAZ
Modelo	SMD-1A

Interruptor automático:

Sirven para la protección general tanto de las entradas como de las salidas, posiciones de transformador y enlace de barras. Presentan las siguientes características:

Aislamiento	SF6
Tensión nominal	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Intensidad nominal	2000 A
Intensidad de cortocircuito apertura	25 kA
Intensidad de cortocircuito cierre	63 kA
Secuencia de operación nominal	O-0,3 s-CO-3 min-CO
Tensión de calefacción	220 Vca
Marca	ALSTOM
Modelo	GL309

Transformadores de tensión:

Protección: Están ubicados antes de cualquier elemento de corte y sirven para detectar la presencia de tensión en la línea de entrada (protección de la ST).

Medida: Se utilizan para la facturación y medida general de potencia consumida por parte del consumidor.

Tensión nominal	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Tensión nominal primario	66.000/ $\sqrt{3}$ V
Tensión nominal secundarios	110/ $\sqrt{3}$ V 110/ $\sqrt{3}$ V 110/ 3 V
Potencia de secundarios	15 VA, 3P 25 VA, 3P 50 VA, 3P
Frecuencia	50 Hz
Normas	UNE-EN 60044-2:1999
Tensión admisible en permanencia	1,2 UN
Marca	ARTECHE
Modelo	UTB-72

Transformadores de intensidad tipo 1:

Medida: Aunque también se utilizan para la protección, su principal función es la facturación y medida de la potencia consumida junto con los transformadores de tensión. Presentan las siguientes características:

Protección de transformadores: ubicados antes del transformador, su principal finalidad es la protección de los Transformadores de Potencia.

Tensión nominal	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Intensidad nominal primario	300-600 A
Intensidad nominal secundario	5 A 5 A
Potencia de secundarios	10 VA, 30 VA,
Frecuencia	50 Hz
Normas	UNE EN 60044-1
Intensidad térmica	5 kA 1 s
Intensidad dinámica	12,5 kA pico
Marca	ARTECHE
Modelo	CXG-72

Transformadores de intensidad tipo 2

Sirven para la protección de las líneas de salida de la subestación (L3 y L4). Presentan las siguientes características:

Tensión nominal	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Intensidad nominal primario	150-300 A
Intensidad nominal secundario	5 A 5 A
Potencia de secundarios	10 VA, 30 VA,
Frecuencia	50 Hz
Normas	UNE EN 60044-1
Intensidad térmica	5 kA 1 s
Intensidad dinámica	12,5 kA p
Marca	ARTECHE
Modelo	CXG-72

Pararrayos auto valvulares:

Sirven para la protección general de toda la subestación ante cualquier posible sobretensión. Se instalan tanto a la entrada de cada línea como delante de cada TP. Serán de las siguientes características:

Tipo	HI (TRIDELTA)
Tensión nominal del pararrayos U_m	72 kV
Intensidad nominal de descarga cresta	10 kA
Tensión máxima de operación continua U_c	58 kV
Tensión residual con onda de 8/20 μ s a 10kA	195,8 kV
Tensión residual con onda de 30/60 μ s a 500 kA	155,7 kV
Clase de descarga	Cl 2
Servicio	Exterior

Aisladores de soporte:

Se disponen junto al embarrado metálico y sirven para soporte de este con seguridad. Presentan las siguientes características:

Tensión aislamiento	72,5 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	325 kV
Línea de fuga	25 mm por kV
Tipo	C4-325
Carga rotura a flexión	4000N
Carga rotura a torsión	2000N

10.2.5.2. *Apararmenta de 20 kV*

Pararrayos auto valvulares:

Se instalarán detrás de cada transformador y sirven para proteger al transformador y cable de Media Tensión ante cualquier posible sobretensión. Sus características principales son:

Tensión nominal del pararrayos U_r	24 kV
Intensidad nominal de descarga cresta	10 kA
Tensión máxima de operación continua U_c	19,5 kV
Tensión residual con onda de 8/20 μ s a 10kA	79,2 kV
Tensión residual con onda de 30/60 μ s a 1kA	84,8 kV
Clase de descarga	CI 2
Marca	INAEL
Modelo	INZP-2410

Aisladores de soporte:

Se disponen junto al embarrado metálico de 20 kV y sirven para soporte de este con seguridad. Presentan las siguientes características:

Tensión aislamiento	24 kV
Tensión de aislam. onda impulso tipo rayo	125 kV
Línea de fuga	25 mm por kV
Tipo	C6-125
Carga rotura a flexión	6000N
Carga rotura a torsión	800N

10.2.5.3. *Sala eléctrica de 20 kV*

Celdas de protección:

Como se ha dicho previamente, se tendrán 9 celdas de 20 kV.

- Las dos primeras recibirán cada línea subterránea procedente de los TP. Estas serán celdas de interruptor automático de corte en vacío (CMP-V). Están compuestas por el interruptor automático mencionado y un seccionador de tres posiciones (conectado, seccionado y puesto a tierra) en serie con él. También disponen de equipos de medida para la regulación automática de los TP.
- Mediante el embarrado de 20 kV, estas darán servicio a otras 6 celdas de interruptor de corte en vacío tipo CMP-V para las salidas de las líneas subterráneas al exterior de la Subestación. Estas poseerán también seccionador tripolar de tres posiciones en serie con el interruptor.

Además, todas las celdas mencionadas dispondrán de un equipo electrónico de protección para las funciones 50/51L y 50/51N que actuarán sobre el interruptor.

- Por último, habrá una última celda encargada de proteger el transformador de Servicios Auxiliares. Esta dispondrá de un interruptor tripolar de hexafluoruro, tres cortacircuitos y un seccionador tripolar de puesta a tierra.

Así, el conjunto de celdas tendrá la siguiente configuración:

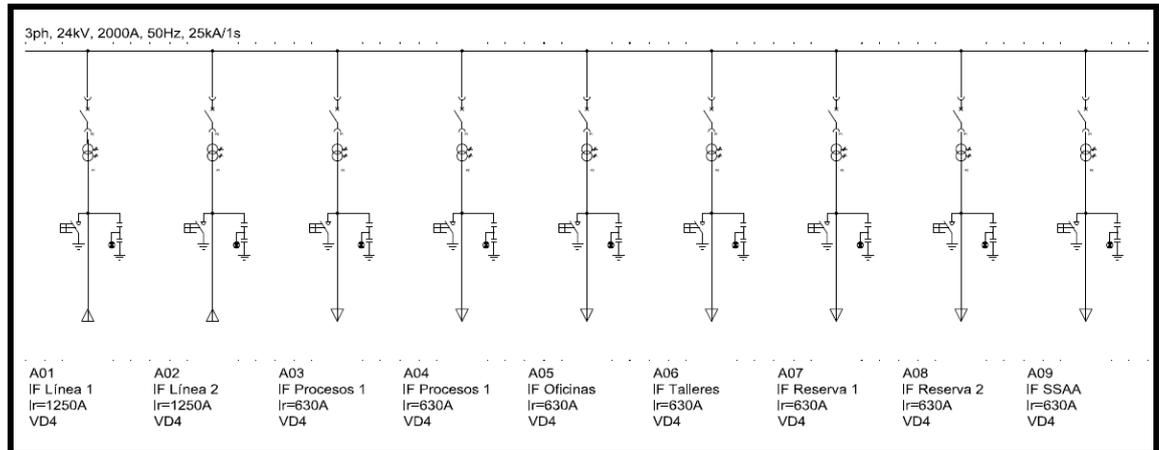


Imagen 8: Celdas de media tensión

10.3. SALA ELÉCTRICA

Además de las celdas de protección, en el interior de la sala eléctrica encontraremos los siguientes sistemas necesarios para el correcto funcionamiento de la subestación:

10.3.1. Equipos de medida de energía

Se instalará un armario que contenga los equipos de medida de la energía consumida. Este armario será metálico, montado sobre pared.

Los cables tendidos desde los transformadores de medida hasta este armario cumplirán con la norma MT 2.80.14 de IBERDROLA, siendo estos blindados para no poder ser manipulados.

La sección de estos cables nunca será inferior a:

- 6 mm² para los de intensidad
- 4 mm² para los de tensión

10.3.2. Servicios auxiliares

El armario de servicios auxiliares será un cuadro de baja tensión que contendrá tanto la corriente alterna (400/230 V) como la corriente continua (110 V).

Este armario tendrá una protección IP 65, y en su interior poseerá todos los elementos de protección y señalización necesarios para cubrir todas las necesidades de la subestación. Se instalarán tantos interruptores magnetotérmicos como circuitos haya, dejando siempre un 30 % de salidas en reserva sin ser utilizadas.

En el frente del cuadro debe estar señalizado el destino de cada salida, así como el tipo de tensión que maneja (alterna/continua).

10.3.3. Equipo de corriente continua

Se instala un equipo de corriente continua que se encargará de alimentar ininterrumpidamente el sistema de control y protección. Este estará alimentado habitualmente mediante un rectificador de la corriente alterna, sin embargo, tendrá conectadas baterías para que, en situaciones de falla, nunca se corte su alimentación.

Estas baterías serán de Ni-Cd y con un cargador de tensión constante y consumo limitado. Además, dispondrán de dos regímenes de funcionamiento: "Flotación" y "Carga rápida", que estarán controlados por una unidad automática de carga que pueda efectuar la conmutación de uno a otro.

Estas poseerán un relé capaz de dar señales de alarma y disparo por tensión mínima y otro relé de vigilancia del aislamiento de los circuitos de corriente continua.

Todas las alarmas serán individualizadas.

Las características principales de los equipos serán:

1. Tensión de alimentación al cargador 3F 400Vca \pm 10%
2. Tensión nominal de la batería 110 Vcc \pm 1%
3. Intensidad del cargador 50 A
4. Capacidad nominal de la batería 105 Ah
5. Ventilación natural

10.4. CABLEADO

Los cables de exterior discurrirán por canalizaciones en el suelo del parque y entrarán a la sala eléctrica por la parte inferior. Todos estos cables irán numerados tanto al principio como al final del circuito, así como sus hilos de forma indeleble. La indicación mostrará el número de cable, borna en la que está conectada y borna en la que se conecta en el otro extremo.

La sección mínima para los cables será:

- 1,5 mm² para los circuitos de control, mando y señal
- 2,5 mm² para los circuitos de fuerza

Además, deberán cumplir que la caída de tensión en el cable (a una Tª de 30 °C) sea inferior a:

- 5% para los circuitos auxiliares de corriente alterna
- 3% para los circuitos de control, mando y señal
- 0,5 % para los circuitos de medida

Tanto las bandejas como los tubos deben ser diseñadas para tener un 25 % de espacio libre para cualquier futuro imprevisto, ampliación o modificación.

10.4.1. Cableado de interconexión entre el TP y las celdas de MT

Discurrirán por atarjeas en el suelo de la subestación y estarán diseñados para soportar una intensidad de 20% superior a la nominal.

El cable utilizado será tipo HEPRZ-1 de aluminio, unipolar, de sección 3x400 mm² y con aislamiento 12/20 kV.

10.4.2. Cableado de interconexión entre la celda de protección y el Transformador de S.S.A.A.

Esta conexión se realizará mediante conductor HEPRZ-1 de aluminio, unipolar, de sección 3x(1x150) mm² y con aislamiento 12/20 kV.

10.4.3. Cableado de interconexión transformador de S.S.A.A. y C.B.T

Este conexionado de baja tensión estará formado por cables RV con aislamiento 0,6/1 kV, llevando 3 conductores para las fases y 2 para el neutro.

Además de las protecciones magnetotérmicas para cada salida del cuadro de BT, este llevará también un interruptor de corte general y omnipolar de corte en carga.

10.4.4. Cableado de interconexión del equipo de Corriente Continua y el C.B.T.

Este cableado de corriente continua se realizará con cable RV con aislamiento 0,6/1 kV de 6 mm², con un conductor para la polaridad positiva y uno para la negativa.

10.5. ALUMBRADO Y TOMAS DE FUERZA

El cableado de alumbrado discurrirá también bajo tubo de PVC.

El alumbrado interior de la sala eléctrica será con tubos fluorescentes, teniendo un nivel de iluminación de 250 lux, siendo mayor en las zonas que se estime necesario para el trabajo adecuado.

El alumbrado de emergencia estará compuesto de equipos autónomos de 7 lux con una autonomía de 3 horas. El encendido de estos será automático cuando la tensión de los S.S.A.A. alcance un nivel inferior al 80 % del valor nominal.

La iluminación exterior estará formada por proyectores y lámparas de V.S.A.P. de 250 W. Estarán instalados sobre soportes en el suelo y tendrán un accionamiento manual.

Para las tomas de fuerza se instalarán cajas con tomas de corriente de 32 A, II+T tipo CETAC y una toma de corriente de 16 A, II+T tipo Schuko.

10.6. RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

El neutro de los transformadores de potencia llevará una resistencia de puesta a tierra, que tiene como función reducir las intensidades de defecto a tierra que pueda haber en el sistema de 20 kV (salida del trafo). Este será de las siguientes características:

Tipo autoventilada	Con envolvente metálica
Resistencia MAT	115 $\Omega \pm 10\%$
Intensidad de paso permanente durante 10s	100 A
Frecuencia	50 Hz
Tensión nominal fase/neutro	20/ $\sqrt{3}$ kV
Tensión nominal del sistema	20 kV
Protección	IP23 (según IEC-529)
Dimensiones	L 1312 x F 910 x A 1724 mm
Marca	KLK

10.7. PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA

Se diseña una instalación captadora para proteger al parque contra las descargas de rayos que puedan incidir en este. Es importante dimensionar bien esta instalación para reducir, de forma controlada, las consecuencias que estos rayos puedan tener.

Así, se diferencian dos elementos básicos en estos sistemas: Puntas captadoras y Cables Captadores.

Para determinar los dispositivos necesarios, se utiliza el método electro geométrico de la esfera rodante, que es el más universal y se puede aplicar a las estructuras con una altura menor a 55 m (como es nuestro caso), sabiendo siempre que los captadores se deben instalar sobre todo en las esquinas.

Así, el método de la esfera rodante consiste en:

1. Se analiza el riesgo que hay de descargas atmosféricas de acuerdo a la norma IEC 62305-2, categorizando así la zona con un nivel riesgo que va de I a IV (siendo I el más estricto y IV el que menos).

Nivel de riesgo LPL	Radio de la esfera rodante (Distancia final de descarga h_B) – r en m	Valor cresta mínimo de la corriente – I en kA
IV	60	16
III	45	10
II	30	5
I	20	3

Además, la probabilidad para los valores límite de la corriente de rayo son:

Nivel de riesgo LPL	<Valores máximos según tabla 5 UNE EN 62305-1	>Valores mínimos según tabla 6 UNE EN 62305-1
IV	0,84	0,97
III	0,91	0,97
II	0,97	0,98
I	0,99	0,99

- Se diseña una esfera del radio elegido según el riesgo de la zona, y se considerarán como protegidos aquellos puntos que se encuentran en la zona definida por la superficie de la esfera y la superficie exterior de la estructura. Los puntos en que la esfera toca a las diferentes partes de la estructura y el suelo son los susceptibles de ser alcanzados por las descargas.

Se puede ver un ejemplo en la siguiente imagen:

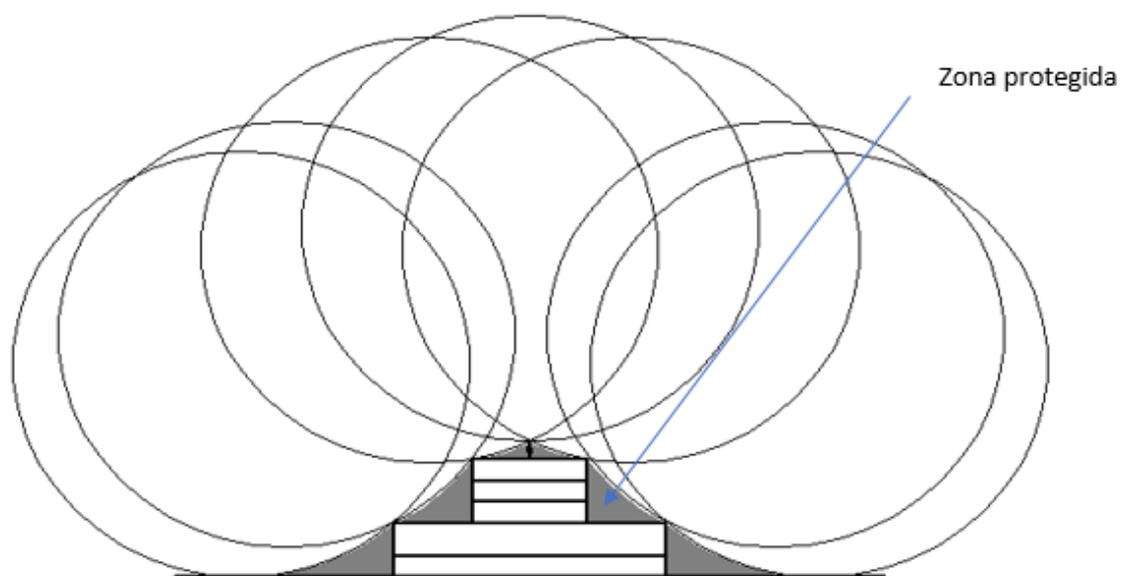


Imagen 9: Protección atmosférica

- El posicionamiento de los terminales de captación debe realizarse de manera tal que la esfera rodante escogida (debido al nivel de protección) nunca toque ninguna parte de la estructura, de este modo la esfera siempre estará soportada por algún elemento del sistema de captación. La distribución de la esfera rodante deberá ser en las tres dimensiones.
- En estructuras que estén a mayor altura que la esfera rodante, pueden existir rayos que impacten con estas, por eso es importante localizar los dispositivos captadores a una altura adecuada.

Resultados:

En esta subestación se ha elegido un nivel de riesgo LPL de II, es decir, el segundo más estricto. Por lo tanto, el radio de la esfera rodante será de 30 m.

Así, se instalarán 4 puntas captadoras a una altura de 14 m, que se enlazarán entre sí mediante cables captadores tipo AC-50.

Se adjunta plano de protección atmosférica.

11. OBRA CIVIL

La obra civil de la subestación se dividirá en dos subapartados, el parque exterior y el edificio.

11.2. PARQUE EXTERIOR

Se describe desde el acondicionamiento del terreno o los diferentes elementos del parque de intemperie hasta las canalizaciones para el cableado.

11.2.1. Explanación y acondicionamiento del terreno.

Se realizará la retirada de capa vegetal, excavación y terraplenado para dejar todo el terreno a una única cota.

Se instalará una malla anti germinación y se recubrirá con una capa de grava de 20 cm.

11.2.2. Vallado exterior.

Existirá un vallado que rodeará todo el parque de intemperie, cerrándose con el edificio. Este vallado será de postes metálicos galvanizados y una valla rígida entre ellos. Se utilizarán postes tanto intermedios como de tornapuntas para los cambios de dirección y en los extremos del vallado.

Los postes irán anclados a un zócalo de hormigón que se realizará bajo la valla.

En esta también se ubicarán 4 puertas metálicas galvanizadas para acceso al parque, con las dimensiones suficientes para la entrada de distintos equipos.

11.2.3. Cimentaciones y soportes de aparamenta

Se procederá a la excavación y posterior hormigonado de las cimentaciones, con los pernos correspondientes para el anclaje, de toda la estructura metálica y soportes de aparamenta.

11.2.4. Canalizaciones de cables

Se realizarán tanto canalizaciones entubadas de PVC como atarjeas de elementos prefabricados de hormigón para albergar tanto los cables de fuerza como los de control. Estas conectarán cualquier punto del parque con la sala eléctrica.

Para el alumbrado exterior, se utilizarán soportes para fijar los proyectores directamente a la cimentación.

La canalización para los cables de alimentación será también entubada de PVC.

11.2.5. Bancada del transformador.

La cimentación para el transformador deberá soportar el peso de este al mismo tiempo que permita la recogida del aceite y la canalización hasta el pozo de recogida.

11.2.6. Foso de recogida de aceite

Se realizará un único foso de recogida de aceite para los dos transformadores de potencia. Este estará ubicado entre medio de ambos y unido a estos por una canalización entubada.

El depósito será de hormigón armado y deberá tener la capacidad suficiente para contener el volumen de todo el aceite de un único transformador más el volumen de agua que pueda recibir de la lluvia, al estar tanto los transformadores como el depósito a la intemperie. Así, el volumen total que deberá contener el depósito será del 150% del total de aceite que alberga un transformador.

11.2.7. Acabado.

Como se ha mencionado previamente, una vez realizada toda la obra civil necesaria, se procederá a recubrir todo el parque exterior de una capa de grava hasta dejar todo cubierto y bien nivelado.

11.3. SALA ELÉCTRICA

La sala eléctrica que albergará todos los elementos y equipos necesarios para el funcionamiento de la subestación, será un edificio prefabricado que se instalará en la superficie después de realizar las cimentaciones y soportes oportunos.

12. CONCLUSIONES

Como conclusiones cabe destacar la importancia que ha tenido en este proyecto el aseguramiento de un suministro continuo, ya que una falta de este se traduciría en muchísimas pérdidas para la empresa, que debería parar la planta productora. Esto ha hecho tomar ciertas medidas como la forma en “H” de la subestación, o la elección de alguna aparamenta automática en lugar de manual.

Además, esto también permite no tener que poner grupos auxiliares electrógenos alrededor de una planta, siendo únicamente necesarios para los servicios imprescindibles o que afecten a las vidas humanas, ya que la posibilidad de quedarse sin energía es muy pequeña.

Por otra parte, también mencionar toda la legislación que rodea tanto a las subestaciones como las líneas aéreas, ya que para muchos cálculos y elección de materiales se requiere que se cumplan unos mínimos.

Por último, como posible mejora para este proyecto, existe la posibilidad de estudiar una transferencia de cargas en el sistema de media tensión (20 kV), añadiendo una celda que sirva para este propósito. Con esto se conseguiría que ambos transformadores se repartan la carga y estén funcionando a la vez. Así, si hay un fallo en uno de los circuitos, la transferencia de carga sería más leve, no teniendo que traspasar toda la carga de golpe y teniendo que arrancar un trafo estando frío, lo cual no es beneficioso para la vida de este.

13. BIBLIOGRAFÍA

Asea Brown Boveri (ABB). *Diseño de Subestaciones eléctricas*. Vol. I

Asea Brown Boveri (ABB). *Diseño de Subestaciones eléctricas*. Vol. II

<http://www.mailxmail.com/curso-estaciones-energia> [2016]

<http://www.ruelsa.com/1notas/tierras/pe50.html> [2016]

<http://www.generalcable.com/eu/es/information-center> [2017]

Catálogo ARTECHE: Transformadores de Medida. Media Tensión Exterior. Versión A1

<http://covama.es/catalogo/inael-pararrayos-y-sistemas-distribucion> [2017]

Pamplona, a marzo de 2017



Fdo. Imanol Goicoechea Díez



ANEXO 1: CÁLCULOS

ÍNDICE

1.	NIVELES DE AISLAMIENTO	2
2.	DISTANCIAS MÍNIMAS	2
3.	CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	3
4.	SISTEMA DE 66 kV.....	7
4.1.	DETERMINACIÓN DE AISLAMIENTOS	7
4.2.	CÁLCULO DE INTENSIDADES EN EL PUNTO M (66 kV).....	9
4.3.	CONEXIONES FLEXIBLES ENTRE APARATOS.....	10
4.4.	EMBARRADOS RÍGIDOS 66 kV	11
4.4.1.	CÁLCULO ELÉCTRICO EMBARRADO PRINCIPAL	11
4.4.2.	CÁLCULO MECÁNICO EMBARRADO PRINCIPAL.....	12
4.4.3.	CÁLCULO DE LA VIBRACIÓN EN LOS CONDUCTORES RÍGIDOS.....	13
5.	SISTEMA DE 20 kV.....	15
5.1.	DETERMINACIÓN DE AISLAMIENTOS	15
5.2.	CÁLCULOS EN EL PUNTO N (20 kV).....	16
5.3.	CABLES AISLADOS DE 20 kV	17
5.4.	EMBARRADO RÍGIDO EN 20 kV	19
5.4.1.	CÁLCULO ELÉCTRICO.....	19
5.4.2.	CÁLCULO MECÁNICO	19
5.5.	CÁLCULO DE SECCIÓN PARA CABLEADO DE LOS ANILLOS	21
5.5.1.	ANILLO PRINCIPAL DE PLANTA	21
5.5.2.	ANILLO 2 PLANTA.....	23
6.	RED DE TIERRAS.....	25
6.1.	CÁLCULO DE SECCIÓN POR CRITERIO TÉRMICO.....	26
6.2.	CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA POR ELEVACIÓN DE TENSIÓN.....	26
6.3.	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE MALLA.....	27
6.4.	CÁLCULO DE TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO	28
6.5.	INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA EN 20 kV	32

1. NIVELES DE AISLAMIENTO

Siguiendo el “Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación” (ITC MIE RAT 12), los valores normalizados de los niveles de aislamiento para alta tensión se dividen en tres grupos según los valores de tensión más elevada del material:

- Grupo A: Tensión mayor de 1 kV y menor de 52 kV
- Grupo B: Tensión igual o mayor de 52 kV y menor de 300 kV
- Grupo C: Tensión igual o mayor de 300 kV

Así, el parque de 66 kV entrará dentro del grupo B, mientras que para el aislamiento de 20 kV habrá que tener como referencia el grupo A.

Además, para establecer los materiales empleados en la subestación se seguirá la norma IEC 60071-2 y se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

- Nivel de contaminación Zona III - Fuerte (Zona con elevada densidad industrial)
- La línea de fuga mínima a emplear en los equipos es de 25 mm/ kV

Con esto, se puede formar una tabla con los valores para estas dos tensiones:

TENSIÓN COMPUESTA DE SERVICIO	TENSIÓN MAS ELEVADA PARA EL MATERIAL	LÍNEA DE FUGA MÍNIMA (mm)	TENSIÓN NOMINAL A IMPULSO TIPO RAYO 1,2/50 us	TENSIÓN SOPORTADA A FRECUENCIA INDUSTRIAL
66 kV	72,5 kV	1800	325 kV	140 kV
20 kV	24 kV	600 kV	125 kV	50 kV

2. DISTANCIAS MÍNIMAS

La determinación de las distancias mínimas que debe haber entre fases y entre fase y tierra, se establece siguiendo las indicaciones de la ITC MIE-RAT 12, para los grupos A y B. Así, las distancias mínimas indicadas quedan en la siguiente tabla:

TENSIÓN COMPUESTA DE SERVICIO	DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FASES EN EL AIRE	DISTANCIA MÍNIMA FASETIERRA (PUNTA ESTRUCTURA) EN EL AIRE (d)	ALTURAS MÍNIMAS DE LOS ELEMENTOS EN TENSIÓN	SEPARACIÓN MÍNIMA AL CIERRE ENREJADO
66 kV	63 cm.	63 cm.	313 cm.	213 cm.
20 kV	22 cm.	22 cm.	272 cm.	172 cm.

La altitud de la instalación considerada es de 500m sobre el nivel del mar.

Las distancias mínimas a puntos en tensión se han adoptado siguiendo el “Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación”, apartado 3 de la MIE-RAT 12.

La anchura de los pasillos de servicio será suficiente para permitir la fácil maniobra e inspección de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos en las operaciones de montaje o revisión de los mismos.

Tal y como indica la ITC MIE-RAT 15, las anchuras mínimas que se deben cumplir son:

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

Estos valores estarán siempre medidos entre las partes salientes que pudieran existir, tales como mandos de aparatos, barandillas, etc.

Además, las alturas de los elementos en tensión no protegidos que se encuentren sobre pasillos tienen que ser la altura H según el apartado 3.1.2 de esta misma ITC.

$$H = 250 + d$$

Siendo d la distancia (cm) de las tablas 4 y 6 de la MIE-RAT 12, dadas en función de la tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo adoptada por la instalación.

Los zócalos de los aisladores accesibles que formen parte de los elementos en tensión estarán sitiados como mínimo a 230 cm. del suelo siguiendo el apartado 3.1.5 del MIE-RAT 15.

La separación de los elementos en tensión al cierre se ha adoptado teniendo en cuenta el apartado 3.3.1 del MIE-RAT 15, siendo el enrejado superior a una altura 220 cm. (En este caso 250cm)

$$G = d + 150$$

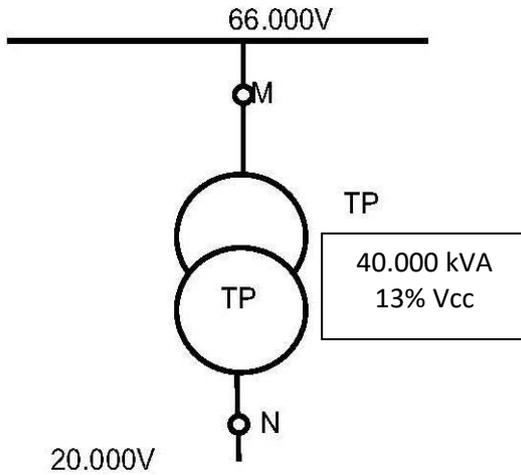
3. CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Se pretende calcular las corrientes de cortocircuito del sistema para así poder coordinar el aislamiento de toda la aparamenta con los niveles de protección de los pararrayos a instalar.

Para esto, se realizarán los cálculos bajo dos hipótesis: la de trabajo simple y la de ambos trafos trabajando en paralelo.

Hipótesis nº1: Trabajo simple

Las barras de cada transformador separadas, por lo que cada posición será independiente. Únicamente una de las dos posiciones estará en servicio.



La potencia de cortocircuito (facilitada por la compañía suministradora) es:

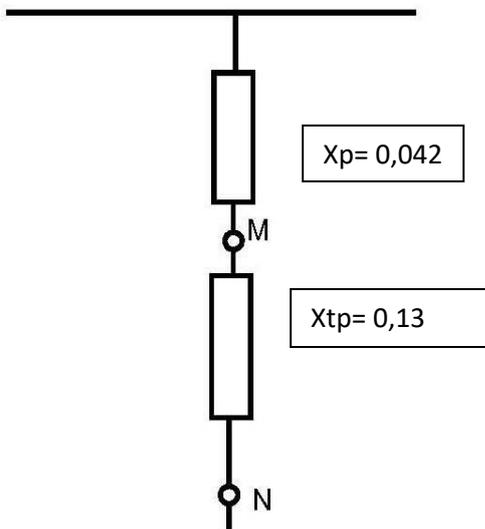
$$P_{cc} = 963,45 \text{ MVA}$$

Y se toma como Potencia Base:

$$P_b = \text{potencia del trafo} = 40.000 \text{ kVA}$$

REACTANCIA POR UNIDAD EQUIVALENTE EN EL PUNTO DE ENTRONQUE

CIRCUITO DE IMPEDANCIAS



REACTANCIA POR UNIDAD EQUIVALENTE EN EL PUNTO DE ENTRONQUE

$$X_p = \frac{P_b}{P_{cc}} = \frac{40.000}{963.450} = 0,042 \text{ p.u.}$$

REACTANCIA POR UNIDAD DE DISPERSIÓN EN TRAFOS DE POTENCIA (A PARTIR DEL VALOR DE LA HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL TRAFOS)

$$X_{tp} = V_{cc} \times \frac{P_t}{P_b} = 13\% \times \frac{40.000}{40.000} = 0,13 \text{ p.u.}$$

Por lo tanto, el cortocircuito en el punto M (66.000 V) quedará:

$$I_{ccm} = \frac{P_{ccm}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{963.449.798 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 66.000} = 8.428 \text{ A} \approx 8,5 \text{ kA}$$

A todos los efectos se considerará 25 kA

Y el cálculo de cortocircuito en el punto N (20.000 V) quedará:

Impedancia equivalente total del circuito:

$$X_n = X_p + X_{tp} = 0,042 + 0,13 = 0,172 \text{ p. u.}$$

Potencia de cortocircuito:

$$P_{ccn} = \frac{P_b}{X_n} = \frac{40.000}{0,172} = 233.212 \text{ KVA} \approx 233,2 \text{ MVA}$$

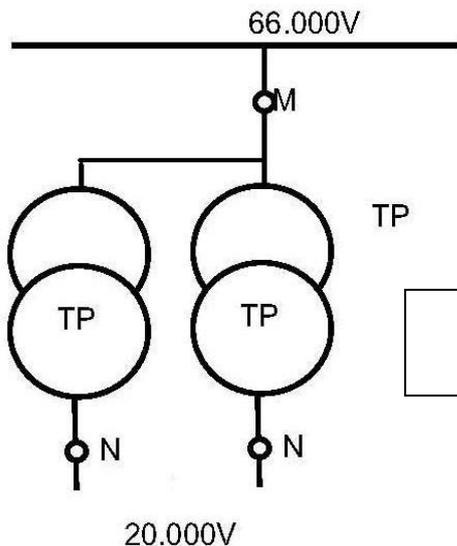
Por consiguiente, la Intensidad de cortocircuito:

$$I_{ccn} = \frac{P_{ccn}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{233.212 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ KV}} = 6.732,3 \approx 6,7 \text{ KA}$$

A todos los efectos de cálculo se considerará 12,5 kA

Hipótesis nº2:

En este caso las barras de ambos transformadores están unidas, por lo que estos trabajan en paralelo.



Igual que en el caso anterior, la potencia de cortocircuito es:

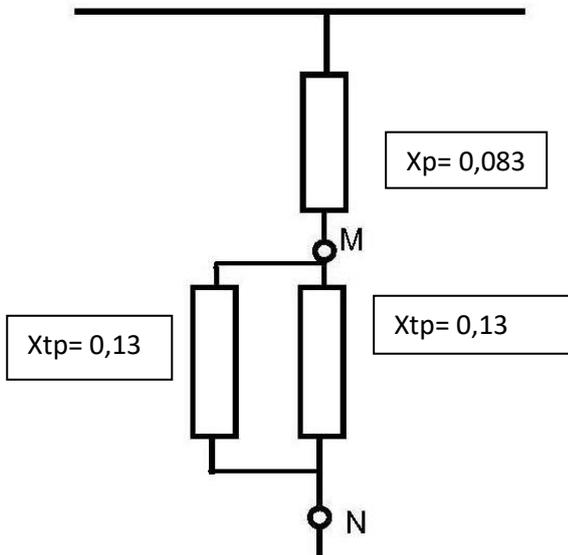
$$P_{cc} = 963,45 \text{ MVA}$$

Se toma como Potencia Base:

$$P_b = 2 \times \text{potencia del trafo} = 80.000 \text{ kVA}$$

80.000 kVA
 13% Vcc

CIRCUITO DE IMPEDANCIAS



REACTANCIA POR UNIDAD EQUIVALENTE EN EL PUNTO DE ENTRONQUE

$$X_p = \frac{P_b}{P_{cc}} = \frac{80.000}{963.450} = 0,083 \text{ p.u.}$$

REACTANCIA POR UNIDAD DE DISPERSIÓN EN TRAFÓ DE POTENCIA (A PARTIR DEL VALOR DE LA HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL TRAFÓ)

$$X_{tp} = \frac{V_{cc} \times P_t}{P_b} = \frac{13\% \times 40.000}{80.000} = 0,065 \text{ p.u.}$$

Por lo tanto, el cortocircuito en el punto M (66.000 V) quedará

$$I_{ccm} = \frac{P_{ccm}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{963.449.798 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 66.000 \text{ V}} = 8.428 \approx 8,5 \text{ KA}$$

A todos los efectos se considerará 25 kA

Y el cálculo de cortocircuito en el punto N (20.000 V) quedará:

Impedancia equivalente total del circuito:

$$X_n = X_p + X_{tp} = 0,083 + 0,065 = 0,148 \text{ p.u.}$$

Para una potencia máxima de 60 MVA

Potencia de cortocircuito:

$$P_{ccn} = \frac{P_b}{X_n} = \frac{80.000}{0,148} = 540.540 \text{ KVA} \approx 540,5 \text{ MVA}$$

Por consiguiente, la Intensidad de cortocircuito:

$$I_{ccn} = \frac{P_{ccn}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{540.540 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ KV}} = 15.604,1 \approx 15,6 \text{ KA}$$

A todos los efectos de cálculo se considerará 20 kA

4. SISTEMA DE 66 kV

4.1. DETERMINACIÓN DE AISLAMIENTOS

Se pretende coordinar el aislamiento del conjunto de la aparamenta con los niveles de protección de los pararrayos a instalar, así como calcular la distancia, medida a lo largo de las conexiones, que protegen dichos pararrayos comprobando así su correcto funcionamiento.

DATOS DE PARTIDA

U	Tensión compuesta de servicio de la red.	66 kV
Um	Tensión más elevada para el material	72,5 kV
BIL	Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo.	325 kV
Lb	Distancia pararrayos a barras generales	5,25 m.
Lt	Distancia pararrayos a transformador de potencia	3,5 m.

DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN MÍNIMA QUE GARANTICE SOPORTAR LA MÁXIMA TENSIÓN DE OPERACIÓN

$$U_{simple} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{72,5}{\sqrt{3}} = 41,86 \text{ KV}$$

En la gráfica que dan los fabricantes se observa que los pararrayos pueden soportar sobretensiones de 0.8 veces su valor nominal (U_{r1}) durante tiempo indefinido.

Luego:

$$U_{r1} = \frac{U_{simple}}{0,8} = \frac{41,86 \text{ KV}}{0,8} = 52,3 \text{ KV}$$

Por lo que con un pararrayos de 52,3 kV de tensión nominal se puede soportar de forma continua una tensión de 41,86 kV sin descargar, es decir, que U_{r1} es el valor mínimo de tensión nominal necesario para cumplir con el valor de MCOV exigible.

DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA SOBRETENSIÓN TEMP. ONDA 50 HZ

Aplicando el coeficiente de defecto a tierra de la tensión simple máxima para el régimen de neutro dado y admitiendo un tiempo de despeje de la p.a.t. de 2 segundos, tendremos:

$$U_{r2} = 41,86 \text{ KV} \times 1,40 = 58,6 \text{ KV}$$

Con estos cálculos, se elegirá un tipo de pararrayos cuya tensión nominal (U_r) sea:

- Un valor comercial estándar
- Un valor superior al mayor de las dos tensiones nominales calculadas por los dos criterios (U_{r1} U_{r2})

CÁLCULO DE LA SOBRETENSIÓN MÁXIMA ATMOSFÉRICA EN LA SUBESTACIÓN PROPAGADA DESDE LA LÍNEA

Datos de los aisladores:

Los aisladores disponen de 4 elementos y un diámetro y paso de 280 x 146 mm.
 Según estos datos la onda de choque según normas IEC 383 es de **340 kV**

Sabiendo que:

U_o	Tensión máxima prevista al comienzo de la zona protegida, se le aplicará un 20% de seguridad	408 kV
d	Distancia de la descarga del rayo a la subestación	1 km

El valor de cresta atenuado a la entrada de la subestación será:

$$U = \frac{U_o}{10^{-4} \times d \times U_o + d} = \frac{408 \text{ KV}}{10^{-4} \times 1 \text{ km} \times 408 \text{ KV} + 1 \text{ km}} = 392 \text{ KV}$$

El efecto de la longitud de las conexiones se puede estimar con la siguiente formula:

$$\Delta U_L = 1,2 \times 10^{-6} \times h \times \frac{2}{Z} \times s \quad \text{En voltios}$$

Siendo:

h_1	Longitud total de las conexiones, estimado en el doble de la distancia del pararrayos al embarrado. $h_1 = L_b \times 2$ (L_b Distancia de pararrayos a barras generales 10 m.)	20 m.
h_2	Longitud total de las conexiones, estimado en el doble de la distancia del pararrayos al Transformador de Potencia. $h_2 = L_t \times 2$ (L_t Distancia de pararrayos a TP 4 m.)	8 m.
Z	Impedancia característica de línea en ohmios	450 Ohm
s	Pendiente de la onda incidente teniendo en cuenta la distancia del impacto del rayo y un tiempo de 1,2 μs . En Voltios/segundo	327×10^9
	$s = \frac{U}{dt} \times 10^9 = \frac{392 \text{ KV}}{1,2 \mu s} \times 10^9$ (para pasar a V/s)	

Por lo que:

ΔU_L : Efecto de la longitud de las conexiones en barras generales: 34,88 kV

ΔU_L : Efecto de la longitud de las conexiones en el TP: 13,95 kV

Por otra parte, en el transformador se tiene el efecto adicional de los rebotes, por lo que, empleando a fórmula:

$$\Delta U_{RT} = \frac{2 \times s \times Lt}{V}$$

Siendo:

s	Pendiente de la onda incidente teniendo en cuenta la distancia del impacto del rayo y un tiempo de 1,2 μs. En kV/μs	327 kV/μs
Lt	Distancia pararrayos a transformador de potencia	4,0 m.
V	Velocidad de transmisión	300 m/μs

Por lo que:

ΔU_R: Efecto de los rebotes en el TP: 8,72 kV

TENSIONES TOTALES Y COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Las tensiones totales se dan en la tabla siguiente, junto con los datos nominales del aislamiento.

LUGAR	TENSIÓN residual	ΔU _L Por longitud	ΔU _R Por rebotes	U total
Barras generales	195,8 kV	34,88 kV	0	230,68 kV
Transformador de potencia	195,8 kV	13,95 kV	8,72 kV	218,47 kV

BIL Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (trafo pot): 325 kV

BIL Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (barras): 325 kV

Coefficiente de seguridad:

- Coeficiente de seguridad en trafeo de potencia: $\frac{325KV}{218.47KV} = 1,49 > 1,15$ Según CEI 60071-2
- Coeficiente de seguridad en barras generales: $\frac{325KV}{230,68KV} = 1,41 > 1,15$ Según CEI 60071-2

Ambos cumplen con la normativa.

4.2. CÁLCULO DE INTENSIDADES EN EL PUNTO M (66 kV)

La intensidad nominal por cada posición será la siguiente:

$$I_n = \frac{40.000 KVA}{\sqrt{3} \times 66 KV} = 349,91 A$$

La intensidad máxima viene impuesta por la intensidad nominal en los tramos en los que eventualmente, ante un cierre de barras, circule una potencia simultánea de 60 MVA (se toma esta, ya que es la máxima otorgada por Iberdrola). Esta intensidad nominal será la siguiente:

$$I_n = \frac{60.000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 66 \text{ KV}} = 524,86 \text{ A}$$

Por lo tanto, toda la aparamenta y cables a instalar tienen que soportar como mínimo este valor (524,86 A de I nominal) además de los siguientes valores:

- Tensión de servicio 66 kV
- Intensidad nominal 524,86 A
- Intensidad de cortocircuito 25 kA
- Tiempo de despeje de la falta 0,5 s

Con estos datos, se puede comprobar que la aparamenta elegida cumple los valores especificados:

- **Seccionador de línea**

El seccionador de línea soporta una intensidad permanente de 1250A y su aislamiento es de 72kV

- **Interruptor automático general**

El interruptor general soporta una intensidad permanente de 2000A, su aislamiento es de 72kV y su poder de corte es de 25kA

- **Transformadores de intensidad**

Los transformadores de intensidad dispondrán de dos primarios 300 y 600 A, su aislamiento es de 72,5kV y la intensidad límite térmica es de 24 kA durante 1s.

- **Transformadores de tensión**

Los transformadores de tensión su aislamiento es de 72kV, con una sobretensión admisible en permanencia de 1,2UN.

- **Aisladores**

Los aisladores serán de tipo C4-325 que admiten una tensión en permanencia de 72kV

Como se puede observar todos los elementos elegidos están dentro de los límites establecidos

4.3. CONEXIONES FLEXIBLES ENTRE APARATOS

Tal y como está indicado en la memoria, los cálculos de intensidades para las conexiones flexibles entre aparatos en 66 kV se harán con el conductor de aluminio/acero tipo 337-AL1/44-ST1A (LA-380) de 381 mm² de sección.

La intensidad máxima admisible de este cable es:

$$I_{adm} = 719 \text{ A}$$

Las intensidades calculadas para la operación de la subestación indican los siguientes valores máximos:

- Intensidad nominal de la instalación: 524,86 A
- Intensidad nominal de diseño mínima: 650 A (típica líneas de 66 kV)

Por lo que la intensidad máxima admisible del cable es mayor a las intensidades máximas de diseño de la subestación.

Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito admisible se calcula mediante la expresión

$$I_{cc} = \frac{K \times S}{\sqrt{t}} = \frac{93 \times 381}{\sqrt{1}} = 35.433 \text{ A}$$

Siendo:

- K = coef dependiente del tipo de conductor, 142 para Cu o 93 para Al
- S = sección del conductor en mm²
- t = duración del cortocircuito en segundos.

Este valor es superior a los 25 kA que se han tomado como valor de I_{cc} para diseño de la subestación en el sistema de 66 kV.

4.4. EMBARADOS RÍGIDOS 66 kV

4.4.1. CÁLCULO ELÉCTRICO EMBARRADO PRINCIPAL

Los cálculos de intensidades para el embarrado rígido del parque de 66 kV se realizarán con tubo de aluminio de 80/70 mm de diámetro.

La intensidad máxima admisible de este tubo es:

$$I_{adm} = 1.760 \text{ A}$$

Las intensidades calculadas para la operación de la subestación indican los siguientes valores máximos:

- Intensidad nominal de la instalación: 524,86 A
- Intensidad nominal de diseño mínima: 650 A (típica líneas de 66 kV)

Por lo que la intensidad máxima admisible del cable es mayor a las intensidades máximas de diseño de la subestación.

Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito admisible se calcula mediante la expresión

$$I_{cc} = \frac{K \times S}{\sqrt{t}} = \frac{93 \times 1180}{\sqrt{1}} = 109.740 \text{ A}$$

Siendo:

- K = coef dependiente del tipo de conductor, 142 para Cu o 93 para Al
- S = sección del conductor en mm²
- t = duración del cortocircuito en segundos.

Este valor es superior a los 25 kA que se han tomado como valor de Icc para diseño de la subestación en el sistema de 66 kV.

4.4.2. CÁLCULO MECÁNICO EMBARRADO PRINCIPAL

Se ha procedido al cálculo del embarrado principal, consistente en tubo de Al de 80 mm de diámetro, soportado por aisladores rígidos del tipo C4-325, obteniendo los siguientes resultados:

Datos de partida

Longitud de vano	7 m.
Características tubo	
Diámetro exterior	80 mm.
Espesor de pared	5 mm.
Material	Aluminio
Peso	3,181 kg/m
Sección Total	1.180 mm ²
Intensidad de cortocircuito considerada	25 kA
Factor R/X considerado	0,1
Separación entre fases	2 m.

del reglamento de subestaciones.

Esfuerzos considerados

Peso total	22,27 kg
Viento sobre el tubo (70 kg/m ²)	39,96 kg
Esfuerzo de cortocircuito $F = 2,04 \times I_{choque} \times I_{choque}^2 \times 10^{-2} \times L_{vano}$ $= 2,04 \times 45^2 \times 10^{-2} \times 7$	289,17 kg

Tensiones tubo

Tensión de rotura aplicada sobre el tubo	6.475 kg
Tensión de rotura admisible	23.455 kg
Coefficiente de seguridad	3,6

Esfuerzos aislador soporte

Esfuerzos horizontales transmitidos al aislador	3236 N
Esfuerzos horizontales admisibles del aislador	4000 N
Coef. de seguridad	1,24

4.4.3. CÁLCULO DE LA VIBRACIÓN EN LOS CONDUCTORES RÍGIDOS

Las vibraciones en un conductor rígido se originan cuando al estar montada paralela al terreno de la subestación, se ve sometida a una brisa (corriente de aire de flujo laminar), que crea un movimiento transversal de barrido vertical de corta frecuencia que arrastra la barra. Estas vibraciones suelen aparecer para velocidades del viento entre 1 y 7 km/h.

Cuando las velocidades del viento son tales que dan lugar a valores de la frecuencia de vibración, por debajo o por encima de la frecuencia natural del tubo (existe solamente un rango de valores de frecuencia alrededor de la frecuencia natural del tubo que producen resonancias), las amplitudes de las vibraciones son pequeñas y basta con la amortiguación natural del sistema para atenuar toda la energía que aporta el viento.

La frecuencia de vibración de un vano de un conductor rígido puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$fc = \frac{\gamma}{L^2} \times \sqrt{\frac{Ec \times J}{mc}} = \frac{1,57}{7,9^2} \times \sqrt{\frac{70 \times 10^{10} \times 7,51 \times 10^{-7}}{3,181}} = 4,12 \text{ Hz}$$

donde:

γ : Factor de la frecuencia natural del tubo que depende de las condiciones de soporte (apoyos simples), 1,57

L: Separación entre soportes 7,90 m

Ec: Módulo de elasticidad, 70xE10 kN/m²

mc: Peso por unidad de longitud, 3,181 kg/m

J: Momento de inercia, 7,51x10⁻⁷ m⁴

La máxima frecuencia de las fuerzas eólicas en conductores circulares puede calcularse mediante la fórmula de Von Karman:

$$f_e = \frac{51,12 * V}{D}, \text{ en Hz}$$

Donde:

V: Velocidad del viento para flujo laminar, 1 a 7 Km/h

D: Diámetro exterior del conductor circular, mm

Cuando la frecuencia natural del vano de la barra sea menor que dos veces la máxima frecuencia de la fuerza eólica y mayor que 0,5 veces la máxima frecuencia de la fuerza eólica se presenta resonancia y en estos casos se recomienda disminuir la longitud del vano o instalar un cable al interior del conductor rígido que amortigüe la vibración.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados para los conductores rígidos.

Cálculo de la vibración en el conductor rígido de 80/70 mm

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
D	0.080	m	Diámetro exterior
d	0.070	m	Diámetro interior
e	0.005	m	Espesor
A	1,18E-03	m ²	Área de la sección transversal
J	7,51E-07	m ⁴	Momento de Inercia axial
γ	1,57		Factor de frecuencia natural del tubo
mc	3,181	kg/m	Peso propio
E	7,E+10	N/m ²	Módulo de elasticidad
L	7	m	Longitud del vano
V	3,5	Km/h	Máxima velocidad del viento para flujo laminar
Fc	4,12	Hz	Frecuencia natural de vibración de un vano de tubo
Fe	2,24	Hz	Frecuencia de fuerzas eólicas en conductores (3.5 km/h)
RANGO CRITICO: 0.5*fe < fc < 2*fe			No está dentro del rango.

5. SISTEMA DE 20 kV

5.1. DETERMINACIÓN DE AISLAMIENTOS

Se pretende coordinar el aislamiento del conjunto de la aparamenta con los niveles de protección de los pararrayos a instalar, así como calcular la distancia, medida a lo largo de las conexiones, que protegen dichos pararrayos comprobando así su correcto funcionamiento.

DATOS DE PARTIDA

U	Tensión compuesta de servicio de la red.	20 kV
Um	Tensión más elevada para el material	24 kV
BIL	Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo. (trafo potencia)	125 kV
BIL	Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo. (barras)	125 kV

DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN MÍNIMA QUE GARANTICE SOPORTAR LA MÁXIMA TENSIÓN DE OPERACIÓN

$$U_{simple} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{24 \text{ KV}}{\sqrt{3}} = 13,86 \text{ KV}$$

En la gráfica que da el fabricante se observa que los pararrayos pueden soportar sobretensiones de 0.8 veces su valor nominal (U_{r1}) durante tiempo indefinido.

Luego:

$$U_{r1} = \frac{U_{simple}}{0,8} = \frac{13,86 \text{ KV}}{0,8} = 17,325 \text{ KV}$$

Por lo que con un pararrayos de 17,325 kV de tensión nominal se puede soportar de forma continua una tensión de 13,86 kV sin descargar, es decir, que U_{r1} es el valor mínimo de tensión nominal necesario para cumplir con el valor de MCOV exigible.

DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA SOBRETENSIÓN TEMP. ONDA 50 HZ

Aplicando el coeficiente de defecto a tierra de la tensión simple máxima para el régimen de neutro dado y admitiendo un tiempo de despeje de la p.a.t. de 2 segundos, tendremos:

$$U_{r2} = 13,86 \text{ KV} \times 1,73 = 23,97 \text{ KV}$$

Con estos cálculos, se elegirá un tipo de pararrayos cuya tensión nominal (U_r) sea:

- Un valor comercial estándar
- Un valor superior al mayor de las dos tensiones nominales calculadas por los dos criterios (U_{r1} U_{r2})

COEFICIENTES DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad será el siguiente:

- Coeficiente de seguridad en TP: $\frac{125 \text{ KV}}{79,2 \text{ KV}} = 1,58 > 1,40$ Según CEI 60071-2
- Coeficiente de seguridad en barras: $\frac{125 \text{ KV}}{79,2 \text{ KV}} = 1,58 > 1,40$ Según CEI 60071-2

5.2. CÁLCULOS EN EL PUNTO N (20 kV)

La intensidad nominal por cada posición será la siguiente:

$$In = \frac{40.000}{\sqrt{3} \times 20 \text{ KV}} = 1154,7 \text{ A}$$

La intensidad máxima viene impuesta por la intensidad nominal en los tramos en los que eventualmente, ante un cierre de barras, circule una potencia simultánea de 60 MVA (se toma esta, ya que es la máxima otorgada por Iberdrola). Esta intensidad nominal será la siguiente:

$$In = \frac{60.000}{\sqrt{3} \times 20 \text{ KV}} = 1732,05 \text{ A}$$

Por lo tanto, toda la aparamenta y cables a instalar tienen que soportar como mínimo estos valores además de los siguientes:

- Tensión de servicio 20 kV
- Intensidad nominal por posición 1154,70 A
- Intensidad nominal en barras de celdas 1732,05 A
- Intensidad de cortocircuito 20 kA
- Tiempo de despeje de la falta 0,5 s

En este caso, la aparamenta que se ve afectada por estos condicionantes son las celdas de Media Tensión.

Las celdas serán para un aislamiento de 24kV, el embarrado será para una intensidad de 2000A y una intensidad de cortocircuito de 25kA

Como se puede observar todos los elementos elegidos están dentro de los límites establecidos.

5.3. CABLES AISLADOS DE 20 kV

El cableado de media tensión, al igual que la apartamentada, también tendrá que soportar unas intensidades máximas, además de tener una caída de tensión máxima aceptable, que permita que las pérdidas sean mínimas.

Para estos cálculos se escogen los datos necesarios del cable que se describen a continuación:

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
U	Tensión del sistema	20.000 V
Ik3	Intensidad simétrica de cc trifásica	20 kA
t	Duración del cortocircuito	0,5 s
Pn	Potencia del circuito	40.000 kVA
	Coef. Mayoración trafo	1,2
cos φ	Factor de potencia	1
	corriente nominal máxima por el conductor	
Inom	$In = Pn / (\sqrt{3} \times U \times \cos\phi) \times \text{coef mayoración}$	1385,64 A
	Caída de tensión máx. admisible	5%
L	Longitud cable	30 m
	CABLE ELEGIDO HEPRZ-1	
	tensión aislamiento conductor	12/20 kV
	material aislamiento	EPR/XLPE
S	Sección	400 mm ²
	Composición	tripolar
	Material conductor	Aluminio
Ic	Corriente admisible a 40 °	660 A
n	Cables por fase	3
R	resistencia	0,102 Ω/km
X	impedancia	0,095 Ω/km
	FACTORES DE CORRECCIÓN	
fc1	Fc por temperatura	0,84
fc2	Fc por ternas agrupadas	0,88

1.- Intensidad de régimen permanente

Corriente nominal máxima que circula por el conductor:

$$I_{conductor} = \frac{I_{nom}}{3} = 461,88 \text{ A}$$

Factor de corrección por tipo de instalación:

$$F_c \text{ total} = F_{c1} \times F_{c2} = 0,84 \times 0,88 = 0,7392$$

Intensidad admisible por el conjunto de cables:

$$I_{adm} = I_c \times n \times F_c \text{ total} = 660 \times 3 \times 0,7392 = 1463 \text{ A}$$

Por lo que el relé de protección tiene que estar tarado a una intensidad térmica

$$1463 \text{ A} > \text{Relé}$$

2.- Intensidad de cortocircuito

Coefficiente de cortocircuito (depende del tipo de cable y aislamiento):

$$K = 94$$

Coefficiente de tiempo:

$$v_t = 1$$

Intensidad de cortocircuito admisible por el conjunto de cables:

$$I_{cc \text{ adm}} = S \times n \times \left(\frac{K}{\sqrt{t}} \right) = 400 \times 3 \times \left(\frac{94}{1} \right) = 112,8 \text{ kA} > 20 \text{ kA}$$

3.- Caída de tensión

Caída de tensión admisible en voltios:

$$Cdt \text{ adm} = 5\% \text{ de } 20.000 = 1.000 \text{ V}$$

Caída de tensión del circuito:

$$Cdt = \sqrt{3} \times I_n \times L \times (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) = \sqrt{3} \times 1.385,64 \times 0,03 \times (0,102 \times 1 + 0,095 \times 0) = 7,344 \text{ V}$$

$$7,344 \text{ V} < 1.000 \text{ V}$$

5.4. EMBARRADO RÍGIDO EN 20 kV

5.4.1. CÁLCULO ELÉCTRICO

Los cálculos de intensidades para el embarrado rígido de salida del transformador a 20 kV se realizarán con pletina de cobre de 100x10 mm, 1.000 mm² de sección y sin pintar, montado en intemperie.

La intensidad máxima admisible de estas pletinas es:

$$I_{adm} = 1.490A$$

Las intensidades calculadas para la operación de la subestación indican los siguientes valores máximos:

- Intensidad nominal de la instalación: 1.154,70 A
- Intensidad nominal de diseño mínima: 1385 A

Por lo que la intensidad máxima admisible del cable es mayor a las intensidades máximas de diseño de la subestación.

Corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito admisible para una duración de un segundo se calcula mediante la expresión:

$$I_{cc} = \frac{K \times S}{\sqrt{t}} = \frac{142 \times 1000}{\sqrt{1}} = 142.000 A = 142 KA$$

Siendo:

- K = coef dependiente del tipo de conductor, 142 para Cu o 93 para Al
- S = sección del conductor en mm²
- t = duración del cortocircuito en segundos.

Este valor es superior a los 20 kA que se han tomado como valor de Icc para diseño de la subestación en el sistema de 20 kV.

5.4.2. CÁLCULO MECÁNICO

Se ha procedido al cálculo del embarrado principal, consistente en pletinas de Cu de 100x10, soportado por aisladores rígidos del tipo C6-125, obteniendo los siguientes resultados:

Datos de partida

Longitud de vano	3 m.
Características pletina	
Lado	100 mm.
Espesor	10 mm.
Material	Cobre
Peso	8,96 kg/m
Sección Total	1.000 mm ²
Intensidad de cortocircuito considerada	20 kA
Factor R/X considerado	0,1
Separación entre fases	0,5 m.

Esfuerzos considerados

Peso total	26,88 kg
Viento sobre la pletina (100 kg/m ²)	30,58 kg
Esfuerzo de cortocircuito $F = 2,04 \times I_{choque} \times 10^2 \times 10^{-2} \times L_{vano}$ $= 2,04 \times 50,91 \times 10^2 \times 10^{-2} \times 3$	317,26 kg

Tensiones pletina pletina

Tensión de rotura aplicada sobre la pletina	1.257 kg
Tensión de rotura admisible	20.387 kg
Coefficiente de seguridad	16,2

Esfuerzos aislador soporte

Esfuerzos horizontales transmitidos al aislador	3.556 N
Esfuerzos horizontales admisibles del aislador	6.000 N
Coef. de seguridad	1,68

5.5. CÁLCULO DE SECCIÓN PARA CABLEADO DE LOS ANILLOS

5.5.1. ANILLO PRINCIPAL DE PLANTA

Para estos cálculos se escogen los datos necesarios del cable que se describen a continuación:

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
U	Tensión del sistema	20.000 V
Ik3	Intensidad simétrica de cc trifásica	25 kA
t	Duración del cortocircuito	0,5 s
Pn	Potencia del circuito	22.400 kW
cos φ	Factor de potencia	0,95
	corriente nominal máxima por el conductor	
Inom	$In=Pn/(\sqrt{3} \times U \times \cos\phi) \times \text{coef mayoración}$	680,66 A
	Caída de tensión máx. admisible	5%
L	Longitud cable	1400 m
	CABLE ELEGIDO: HEPRZ-1	
	tensión aislamiento conductor	12/20 kV
	material aislamiento	EPR/XLPE
S	Sección	240 mm ²
	Composición	tripolar
	Material conductor	Aluminio
Ic	Corriente admisible (bajo tubo ITC 06)	365 A
n	Cables por fase	3
R	resistencia	0,168 Ω/km
X	impedancia	0,102 Ω/km
	FACTORES DE CORRECCIÓN	
fc1	Fc por temperatura	0,84
fc2	Fc por ternas agrupadas	0,88

1.- Intensidad de régimen permanente

Corriente nominal máxima que circula por el conductor:

$$I_{nom} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U_x \cos \varphi} = 680,66 \text{ A}$$

Factor de corrección por tipo de instalación:

$$F_c \text{ total} = F_{c1} \times F_{c2} = 0,84 \times 0,88 = 0,7392$$

Intensidad admisible que tiene que soportar el cable:

$$I_{adm} = \frac{I_{nom}}{F_c \text{ total}} = \frac{680,66}{0,7392} = 920,8 \text{ A}$$

Por lo que se necesitarán 3 conductores por fase de sección 240 mm² por fase.

$$I_{adm \text{ cable}} = 3 \times 365 = 1095 \text{ A} > 920,8 \text{ A}$$

Se verifica que la sección elegida sigue siendo óptima según los otros dos criterios:

2.- Intensidad de cortocircuito

Coefficiente de cortocircuito (depende del tipo de cable y aislamiento):

$$K = 94$$

Coefficiente de tiempo:

$$\sqrt{t} = 1$$

Intensidad de cortocircuito admisible por el conjunto de cables:

$$I_{cc \text{ adm}} = S \times n \times \left(\frac{K}{\sqrt{t}} \right) = 240 \times 3 \times \left(\frac{94}{1} \right) = 67,68 \text{ kA} > 25 \text{ kA}$$

3.- Caída de tensión

Caída de tensión admisible en voltios:

$$C_{dt \text{ adm}} = 5\% \text{ de } 20.000 = 1.000 \text{ V}$$

Caída de tensión del circuito:

$$C_{dt} = \sqrt{3} \times I_n \times L \times (R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi) = \sqrt{3} \times 680,66 \times 1,4 \times (0,168 \times 0,95 + 1,102 \times 0,31) = 827 \text{ V}$$

$$827 \text{ V} < 1.000 \text{ V}$$

5.5.2. ANILLO 2 PLANTA

Para estos cálculos se escogen los datos necesarios del cable que se describen a continuación:

<u>SIMBOLO</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>VALOR</u>
U	Tensión del sistema	20.000 V
Ik3	Intensidad simétrica de cc trifásica	20 kA
t	Duración del cortocircuito	0,5 s
Pn	Potencia del circuito	8.210 kW
cos φ	Factor de potencia	0,95
	corriente nominal máxima por el conductor	
Inom	$In = Pn / (\sqrt{3} \times U \times \cos\phi) \times \text{coef mayoración}$	249,5 A
	Caída de tensión máx. admisible	5%
L	Longitud cable	2200 m
	CABLE ELEGIDO: HEPRZ-1	
	tensión aislamiento conductor	12/20 kV
	material aislamiento	EPR/XLPE
S	Sección	240 mm ²
	Composición	tripolar
	Material conductor	Aluminio
Ic	Corriente admisible (bajo tubo ITC 06)	365 A
n	Cables por fase	1
R	resistencia	0,168 Ω/km
X	impedancia	0,102 Ω/km
	FACTORES DE CORRECCIÓN	
fc1	Fc por temperatura	0,84
fc2	Fc por ternas agrupadas	0,88

1.- Intensidad de régimen permanente

Corriente nominal máxima que circula por el conductor:

$$I_{nom} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \cos\phi} = 249,5 \text{ A}$$

Factor de corrección por tipo de instalación:

$$F_c \text{ total} = F_{c1} \times F_{c2} = 0,84 \times 0,88 = 0,7392$$

Intensidad admisible que tiene que soportar el cable:

$$I_{adm} = \frac{I_{nom}}{F_c \text{ total}} = \frac{249,5}{0,7392} = 327,52 \text{ A}$$

Por lo que se necesitará 1 conductor por fase de sección 240 mm² por fase.

$$I_{adm \text{ cable}} = 365 \text{ A} > 327,5 \text{ A}$$

Se verifica que la sección elegida sigue siendo óptima según los otros dos criterios:

2.- Intensidad de cortocircuito

Coefficiente de cortocircuito (depende del tipo de cable y aislamiento):

$$K = 94$$

Coefficiente de tiempo:

$$\sqrt{t} = 1$$

Intensidad de cortocircuito admisible por el conjunto de cables:

$$I_{cc \text{ adm}} = S \times n \times \left(\frac{K}{\sqrt{t}} \right) = 240 \times 1 \times \left(\frac{94}{1} \right) = 22,56 \text{ kA} > 20 \text{ kA}$$

3.- Caída de tensión

Caída de tensión admisible en voltios:

$$C_{dt \text{ adm}} = 5\% \text{ de } 20.000 = 1.000 \text{ V}$$

Caída de tensión del circuito:

$$C_{dt} = \sqrt{3} \times I_n \times L \times (R \times \cos \varphi + X \times \sin \varphi) = \sqrt{3} \times 327,52 \times 2,2 \times (0,168 \times 0,95 + 1,102 \times 0,31) = 593,8 \text{ V}$$

$$594 \text{ V} < 1.000 \text{ V}$$

6. RED DE TIERRAS

Para el diseño de la malla se han seguido las indicaciones de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.

La instalación está provista de un sistema de puesta a tierra que consiste en una malla de cobre enterrada a una profundidad y que cubra toda la subestación.

Esta malla de tierra ha de satisfacer dos finalidades principales:

- La seguridad del personal que se relacione con la instalación.
- La provisión de una buena unión eléctrica con la tierra, que garantice un correcto funcionamiento de las protecciones.

Los cálculos teóricos de las tensiones de paso y contacto se han realizado siguiendo el método propuesto en la IEEE Std 665-1995. En este cálculo, se realiza el dimensionamiento de los conductores de la malla desde el criterio térmico y desde el criterio de elevación de tensión en el terreno, asegurando que estas tensiones sean inferiores a las especificadas en el reglamento MIE-RAT.

DATOS DE PARTIDA

U	Tensión compuesta de servicio de la red.	66 kV
Id	Intensidad máxima de defecto a tierra (valor de compañía suminis.)	8428 A
S	Sección del cable de la malla enterrada, en mm ²	95
Mat	Material del cable de la malla enterrada	CU
D	Diámetro de los conductores de la malla.	0,0126 m
ρ	Resistividad del terreno	100 Ω m.
ρ_s	Resistividad superficial del suelo recubierto de grava.	5000 Ω /m
hs	Espesor de la capa superficial	20 cm.
ρ_s'	Resistividad superficial del suelo recubierto de hormigón.	3000 Ω /m
hs'	Espesor de la capa superficial	20 cm.
t	Tiempo considerado de la falta considerado.	0,5 s
h	Profundidad de enterramiento considerada.	0,5 m.
D	Medida de las cuadrículas realizadas en la malla. En metros	2,5x2,5
n	Nº de conductores en la parte ancha de la malla.	20 Ud.
Lpa	Longitud de la parte ancha de la malla.	60 m.
n'	Nº de conductores en la parte estrecha de la malla.	25 Ud.
Lpe	Longitud de la parte estrecha de la malla.	46 m.
Ne	Nº de electrodos de puesta a tierra (picas) instaladas.	24 Ud.
Le	Longitud de los electrodos de puesta a tierra (picas).	2,0 m.
Lm	Longitud total de la malla enterrada = $Lpa \times n' + Lpe \times n$.	2350 m.
Lp	Longitud total de las picas enterradas = $Ne \times Le$.	48 m.
L	Longitud total de material conductor enterrado = $Lm + Lp$.	2398 m.

6.1. CÁLCULO DE SECCIÓN POR CRITERIO TÉRMICO

Primero se comprueba el nivel más alto de cortocircuito, que en este caso se produce debido a una falta trifásica en 66 kV, y se realizan los cálculos para esta peor condición.

El valor de esta falta en kA será el punto de conexión: 8,428 kA, que será la corriente que circulará por tierra en caso de falla trifásica.

La sección mínima del conductor según la norma IEEE 665-1995, viene dada por la fórmula:

$$S = \frac{\sqrt{I_d^2 \times t}}{K} = \frac{\sqrt{8428^2 \times 1}}{160} = 52,67 \text{ mm}^2$$

Donde:

- t = Tiempo de duración de la falta (considerado para el cálculo 1s de acuerdo a MIE-RAT 13).
- K = Densidad de corriente admisible por el cable enterrado considerando conductor de Cu, temperatura inicial 20°C y final 200°C, en A/mm². = 160

Para calcular el valor de la sección de los cables que corresponde a las bajantes de estos desde los equipos hasta la malla enterrada, se utiliza la expresión indicada en el MIE-RAT según la cual la densidad del cobre sigue siendo de 160 A/mm² y permite utilizar un factor de reducción de 1,2 en el caso de que no exista riesgo de provocar incendios, tal y como ocurre en una instalación de intemperie; obtendremos la siguiente sección:

$$S = \frac{I}{K \times 1,2} = \frac{8428}{160 \times 1,2} = 43,894 \text{ mm}^2$$

Además, esta podrá tener menor sección ya que las corrientes se dividen en varias ramas.

En cualquier caso, se utilizará una sección normalizada de 95 mm², que como se puede comprobar es muy superior a la mínima necesaria, por lo que se tendrá un factor de seguridad muy alto.

6.2. CÁLCULO DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA POR ELEVACIÓN DE TENSIÓN

Para determinar las tensiones para los diferentes niveles de tensión en la instalación y los cortocircuitos a tierra, se toman los siguientes datos de la red, la malla y el terreno:

DATOS ELÉCTRICOS DE LA RED

- Frecuencia en la red 50 Hz.
- Tiempo de despeje de la falta 0,5 s

DATOS DEL TERRENO

- Espesor de la capa superficial 0,2 m
- Resistividad de la capa superficial 5000 Ωxm
- Resistividad del terreno 100 Ωxm

DATOS GEOMÉTRICOS

- Superficie total ocupada por la malla..... 2760 m²
- Profundidad de la malla 0,5 m
- Longitud del lado mayor de la malla..... 60 m
- Longitud del lado menor de la malla..... 46 m
- Longitud del conductor enterrado..... 2350 m

La expresión a emplear para una profundidad de la malla $0,25 < h < 2,5$ m es la indicada en la guía IEEE, GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING, edición 1986);

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

Donde:

- h = Profundidad de la malla = 0,5 m.
- ρ = Resistividad del terreno = 100 μΩ/cm.
- A = Área ocupada por la malla de tierra = 2760 m²
- L = Longitud del conductor enterrado = 2350 m

Luego utilizando la expresión se obtiene un valor de resistencia de malla de:

$$R_g = 0,876 \Omega$$

6.3. CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE MALLA

Para la realización de este cálculo, se obtienen los siguientes datos, que son proporcionados por parte de IBERDROLA:

Intensidad de cortocircuito trifásico.....	8.428 A
Intensidad de cortocircuito monofásico.....	8.550 A

Además, sabemos que la corriente total que se difunde por el terreno es:

$$I_{\text{Terreno}} = 8,5 \text{ kA}$$

Esta corriente se divide entre los hilos de tierra de la subestación.

Partiendo de estos valores, se deducirá el valor de la corriente de puesta a tierra (o intensidad de malla), I_m .

La tensión de la malla de tierra se define como:

$$U_m = R_m \times I_m = 0,876 \times 8500 = 7446 \text{ V}$$

Donde:

- R_m = Resistencia de malla = 0,876
- I_m = Intensidad derivada por la malla = 8,5 kA

Este valor de intensidad de malla se ve afectado por el coeficiente de reducción en el factor de asimetría D_f .

$$D_f = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{t_f} \times \frac{1}{2\pi f} \times \frac{X''}{R}\right) \left(1 - e^{-\frac{2t_f \cdot 2\pi f}{X''} R}\right)}$$

Donde:

- t_f = Tiempo de despeje de la falta en segundos = 0,5 s
- f = Frecuencia de red = 50 Hz
- X''/R = Impedancia de Thevenin = 1,677

Sustituyendo valores se obtiene que $D_f = 1,005$

Por tanto

$$I'_m = D_f \times I_m = 8.472,87 \text{ A}$$

Tensión de elevación de la malla:

$$U'_m = R_m \times I'_m$$

$$U'_m = 7425,91 \text{ V}$$

6.4. CÁLCULO DE TENSIONES DE PASO Y DE CONTACTO

Para determinar los valores de las tensiones de paso y contacto, se han seguido el método y las expresiones que figuran en la IEEE GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING, según la cual:

Tensión de contacto
$$E_c = \frac{\rho \times I_m \times K_m \times K_i}{L_m + 1,15L_p}$$

Tensión de paso
$$E_s = \rho \cdot k_s \cdot K_i \frac{I_m}{L}$$

Donde:

- I_m = Corriente disipada a través de la malla = 8.472,87 A
- L = Longitud del conductor enterrado = 2398 m.
- ρ = Resistividad superficial del terreno = 100 Ω m
- K_m , K_i y K_s son tres coeficientes cuyas fórmulas se indican a continuación:

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

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

$$K_i = 0,656 + 0,172n$$

Se definen, además:

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

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

Siendo:

- h = Profundidad de la malla = 0,5 m
- D = Separación entre conductores paralelos = 2,5 m.
- n_1 = Número de conductores paralelos a la longitud menor = 25
- n_2 = Número de conductores paralelos a la longitud mayor = 20
- d = Diámetro del conductor = 0,0126
- n = Media geométrica de n_1 y $n_2 = \sqrt{(n_1 \times n_2)} = 22,36$

Sustituyendo los valores citados, obtenemos los valores de los coeficientes:

$$K_m = 0,3646$$

$$K_i = 4,5020$$

$$K_s = 0,5517$$

Sustituyendo en las expresiones iniciales, se obtiene:

- Tensión de paso calculada **Es = 877,65**
- Tensión de contacto calculada **Ec = 578,20**

Estos valores se compararán con las tensiones de paso y contacto admisibles según el reglamento MIE-RAT (**aparece en la RCE ITC 13**):

$$\text{Tensión de paso admisible sobre grava: } E_s = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{6\rho_s}{1000} \right) = 44.640V$$

$$E_s = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{6\rho_{s'}}{1000} \right) \quad \text{Tensión de paso admisible sobre hormigón}$$

$$E_s = \frac{10K}{t^n} \left(1 + \frac{3\rho_s + 3\rho_{s'}}{1000} \right) \quad \text{Tensión de paso admisible en grava-hormigón}$$

$$E_m = \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{1,5\rho_s}{1000} \right) \quad \text{Tensión de contacto admisible sobre grava}$$

ρ_s = Resistividad superficial del suelo recubierto de grava = 5.000 Ω m

$\rho_{s'}$ = Resistividad superficial del suelo recubierto de hormigón = 3.000 Ω m

t = tiempo de despeje de la falta = 0,5 s

K : constante establecida según dicha normativa, con valor :

- K= 72 si t<0,9 s
- K=78,5 si 0,9<t<3 s

n : constante establecida según dicha normativa, con valor :

- n= 1 si t<0,9 s
- n = 0,18 si 0,9<t<3 s

Por lo tanto:

Tensión de paso admisible en hormigón	E_{sa} = 27.360 V
Tensión de paso admisible en grava	E_{sa} = 44.640 V
Tensión de paso admisible en grava/hor.	E_{sa} = 36.000 V
Tensión de contacto admisible grava	E_{ma} = 1.224 V
Tensión de contacto admisible hormigón	E_{ma} = 792 V

Criterio de validación del modelo

1.- Tensión de paso en la subestación (interior y exterior) considerando la capa superficial de grava si el cerramiento está situado a 1m de distancia interiormente al perímetro de la malla.

$$E_s = 877,65 < E_{sa} = 44.640 \quad \text{cumple norma}$$

2.- Tensión de paso en el interior de la subestación considerando la capa superficial de hormigón:

$$E_s = 877,65 < E_{sa} = 27.360 \quad \text{cumple norma}$$

3.- Tensión de paso en el acceso al edificio de control de la subestación considerando la capa superficial de grava en un pie y de hormigón en el otro:

$$E_s = 877,65 < E_{sa} = 36.000 \quad \text{cumple norma}$$

4.- Tensión de contacto en la subestación (interior y exterior) considerando la capa superficial de grava:

$$E_c = 578,20 < E_{ca} = 1.224 \quad \text{cumple norma}$$

5.- Tensión de contacto en la subestación (interior y exterior) considerando la capa superficial de hormigón:

$$E_c = 578,20 < E_{ca} = 792 \quad \text{cumple norma}$$

Como puede apreciarse, las tensiones de paso y contacto disponen de un sobre margen de seguridad dentro del recinto de la instalación.

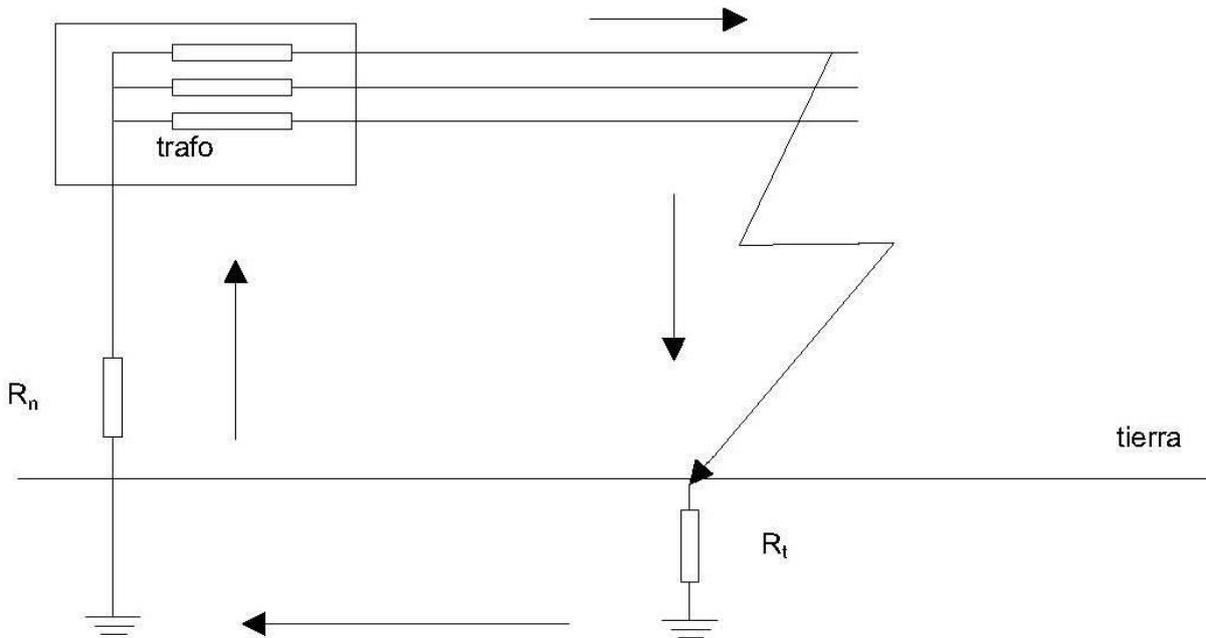
El piso del edificio prefabricado dispone de un mallazo equipotencial, de tal forma que estará conectado como mínimo en dos puntos opuestos a la puesta a tierra de protección de la ST.

Con esta medida se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esté sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo de la tensión de paso en el interior del edificio.

De esta forma no se calcula las tensiones de paso y contacto en el interior ya que su valor es prácticamente cero.

6.5. INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA EN 20 kV

ESQUEMA



En este caso la intensidad de defecto se calcula por la siguiente ecuación:

$$I_d = \frac{U/\sqrt{3}}{R_n + R_t} = \frac{20.000/\sqrt{3}}{115 + 0,879} = 99,76 \text{ A}$$

Siendo:

U	Tensión compuesta de servicio, en Voltios	20.000 V
R _t	Resistencia a tierra del electrodo, en ohmios.	0,879
R _n	Resistencia de puesta a tierra del neutro, en ohmios	115

El arranque de las protecciones se tarará con menos intensidad.

Pamplona, a marzo de 2017

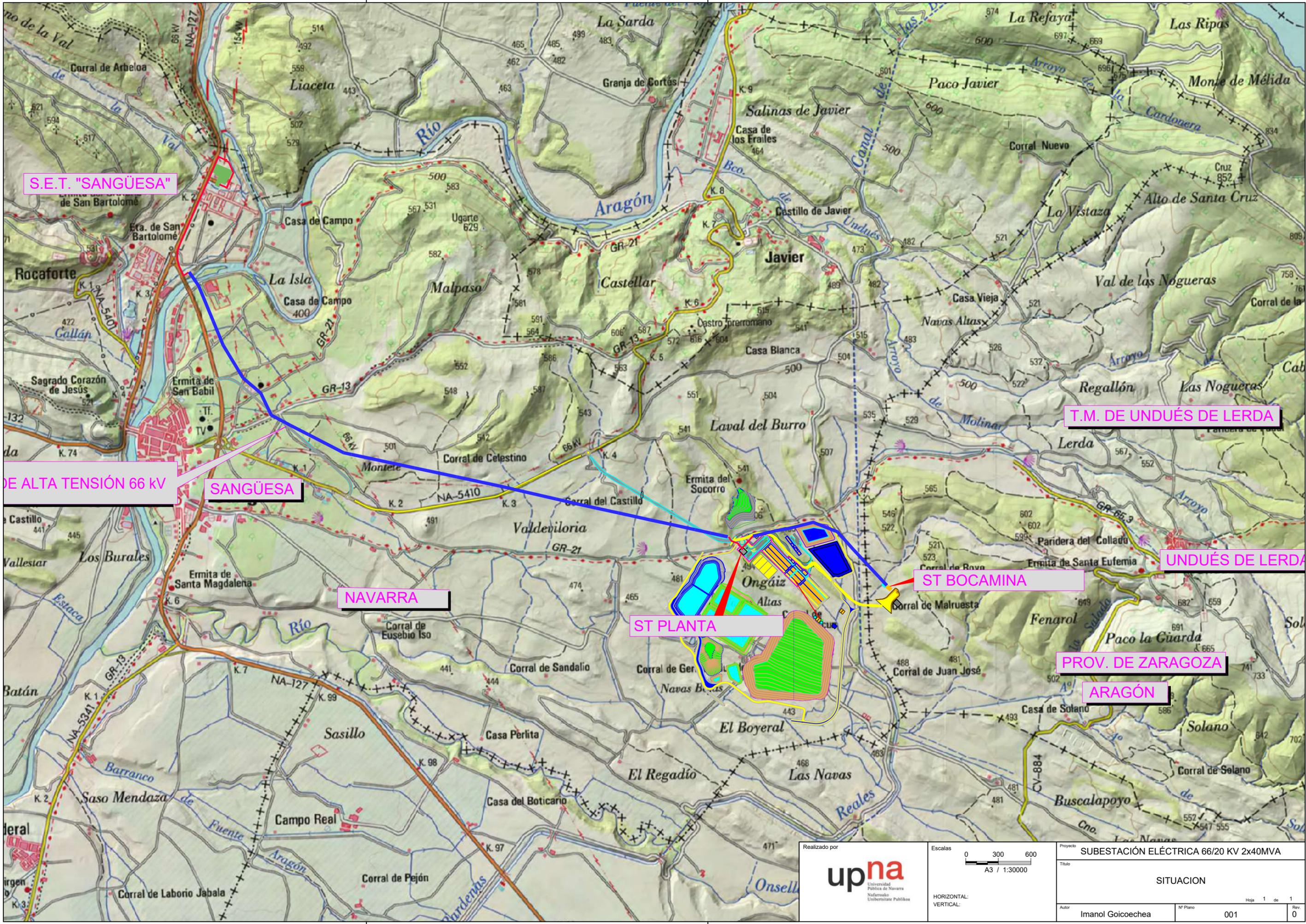
Fdo.: Imanol Goicoechea Díez



ANEXO 2: PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

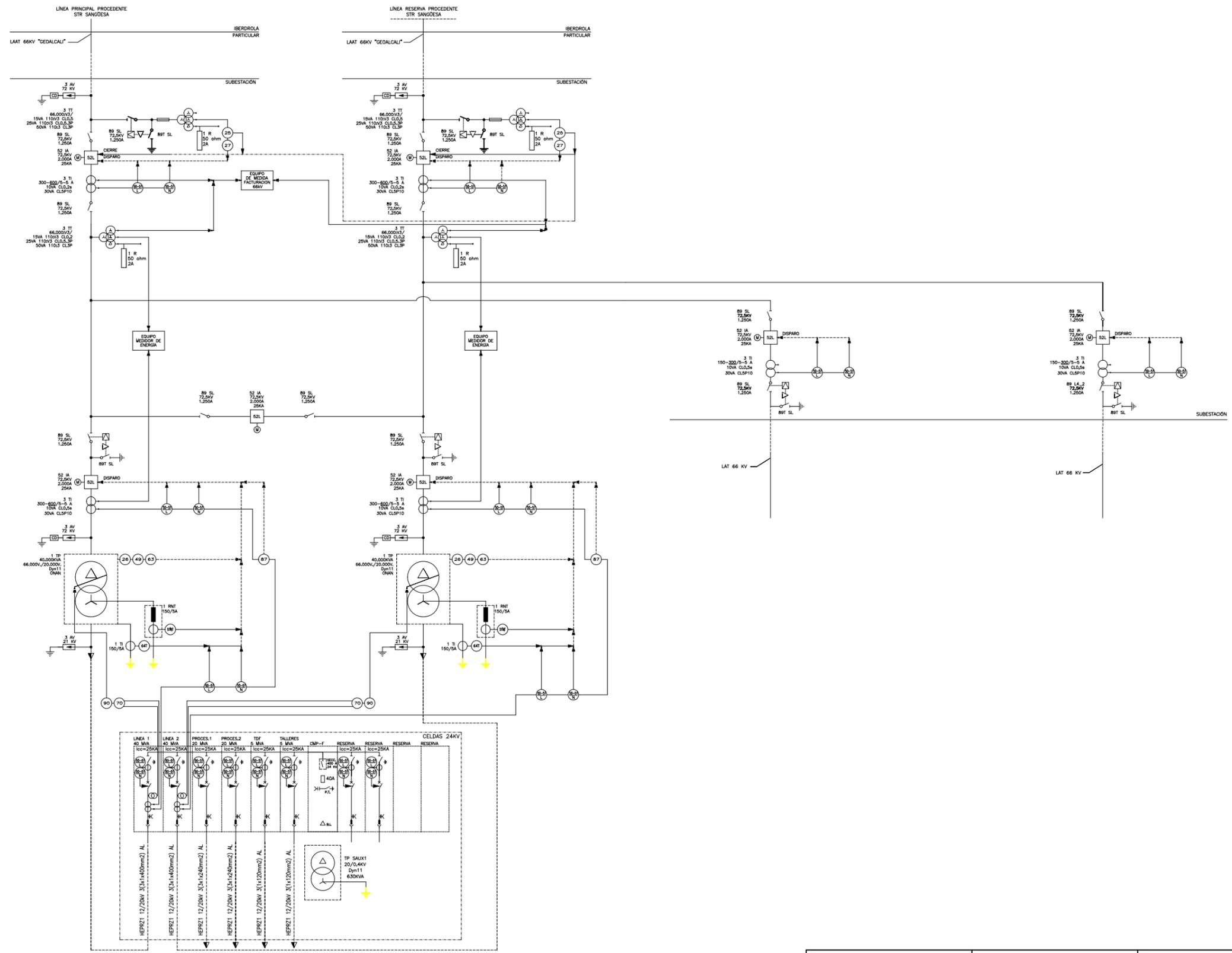
1. Plano de situación
2. Diagrama unifilar
3. Plano de situación 2
4. Plano de implantación
5. Plano de perfil general
6. Plano de planta general
7. Plano de red de tierras
8. Plano de sala eléctrica
9. Plano de protección atmosférica



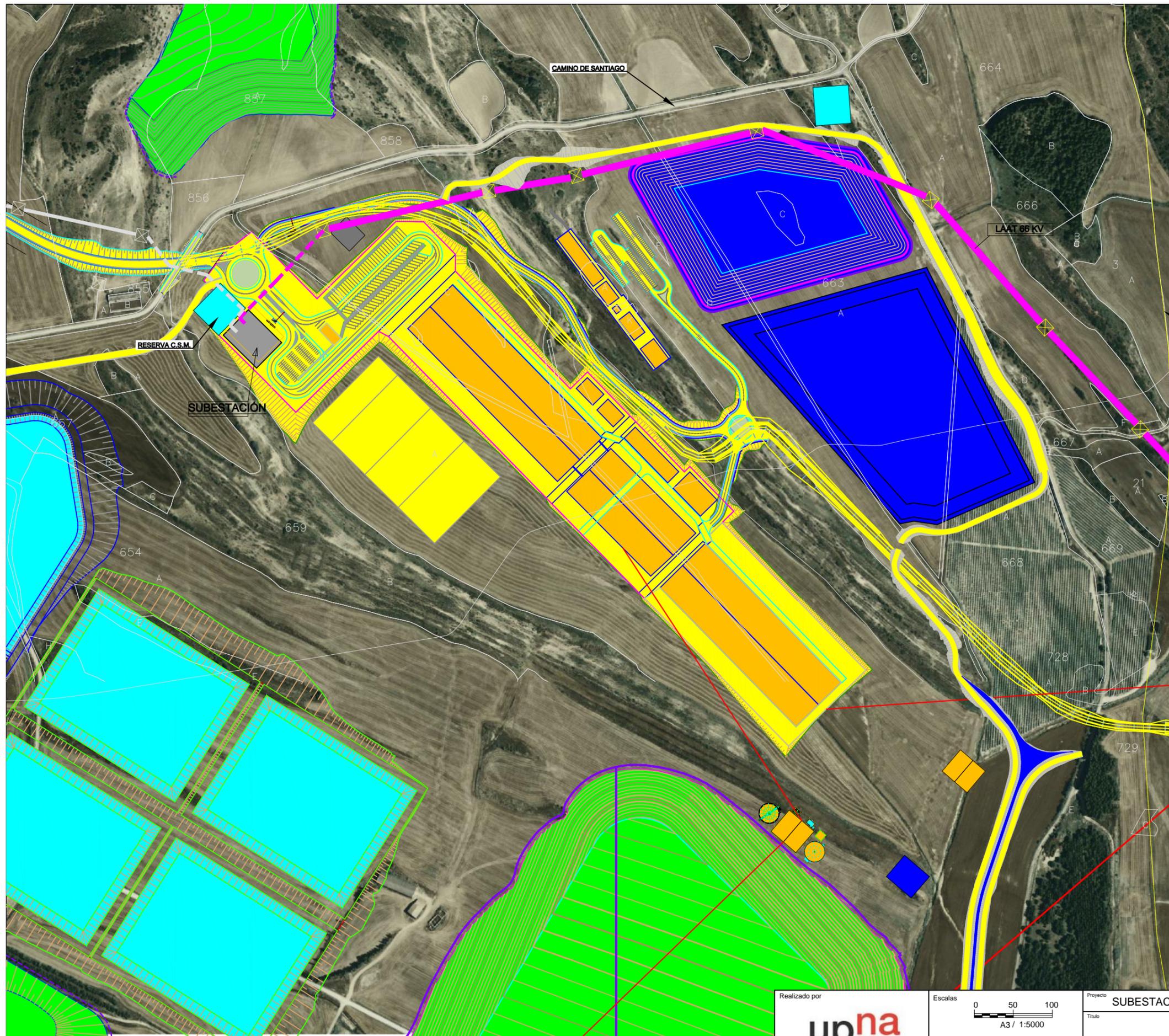
Realizado por
upna
 Universidad Pública de Navarra
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Escala
 0 300 600
 A3 / 1:30000
 HORIZONTAL:
 VERTICAL:

Proyecto SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV 2x40MVA		
Título SITUACION		
Autor Imanol Goicoechea	Nº Plano 001	Hoja 1 de 1
Rev. 0		



Realizado por  Universidad Pública de Navarra Universidad Pública de Navarra	Escalas HORIZONTAL: VERTICAL:	Proyecto MINA MUGA (NAVARRA Y ARAGÓN)
		Título ESQUEMA UNIFILAR
Autor IG	Nº Plano 101-01	Hoja 1 de 1 Rev. 0



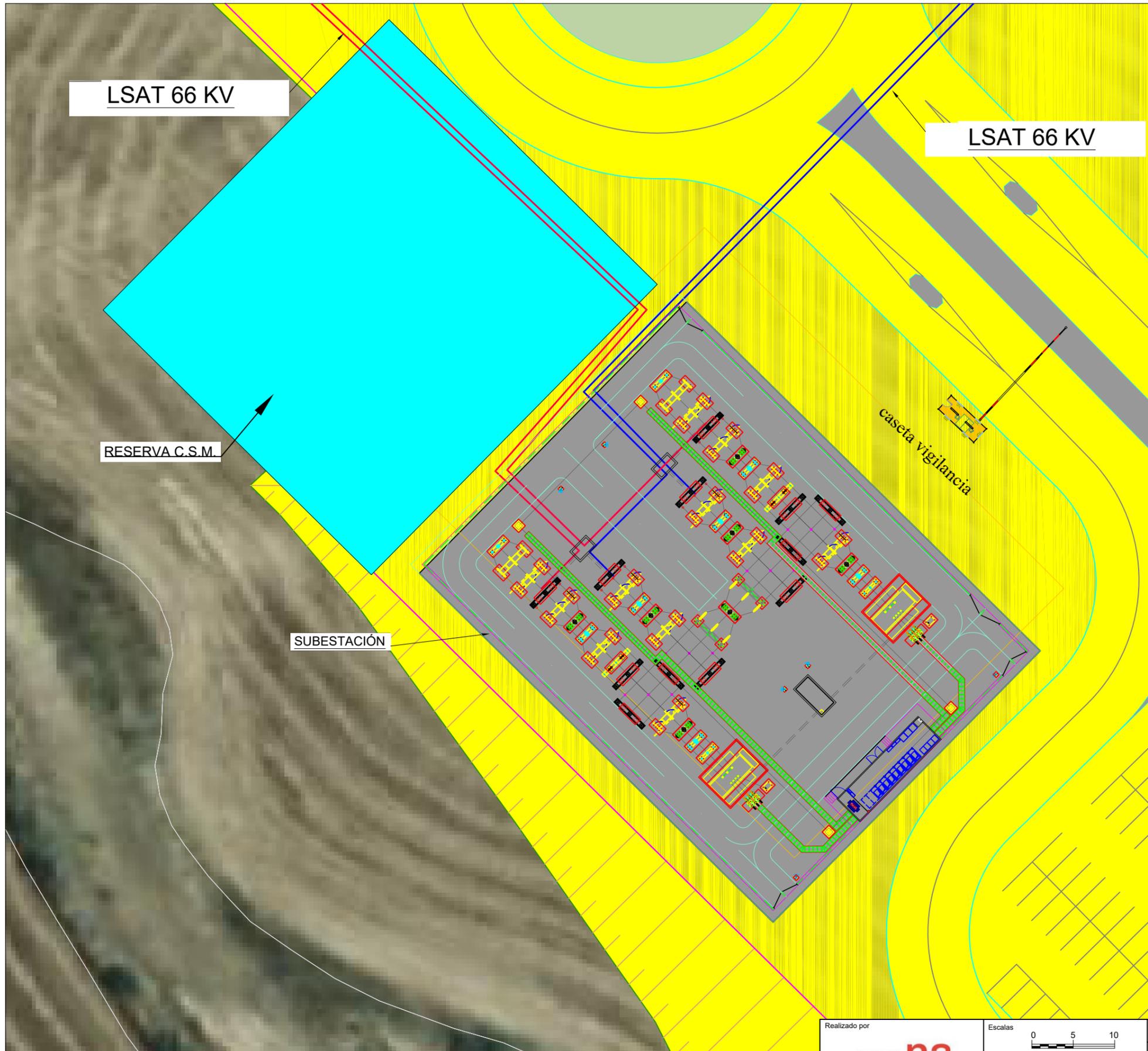
Realizado por
upna
 Universidad
 Pública de Navarra
 Nafarroako
 Unibertsitate Publikoa

Escala
 0 50 100
 A3 / 1:5000
 HORIZONTAL:
 VERTICAL:

Proyecto **SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 kv 2x40 MVA**

Título **SITUACION 2**

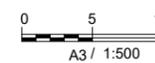
Autor **Imanol Goicoechea** Nº Plano **003** Hoja **1** de **1** Rev. **0**



Realizado por



Escalas

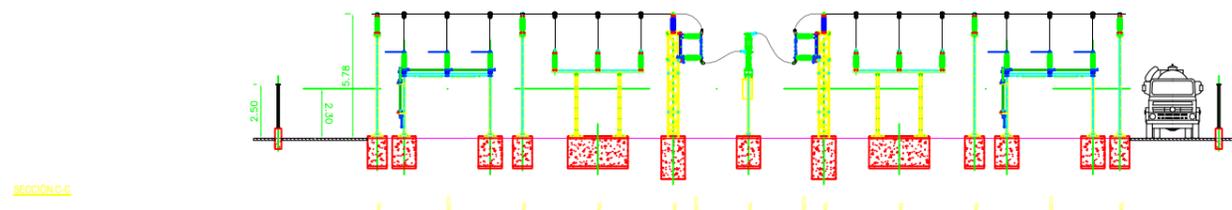
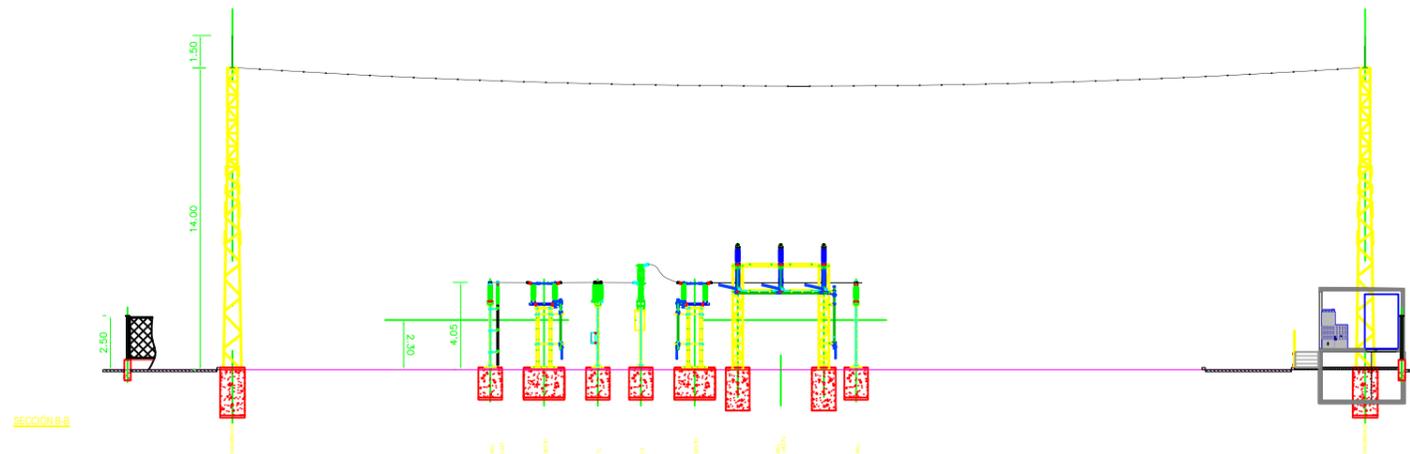
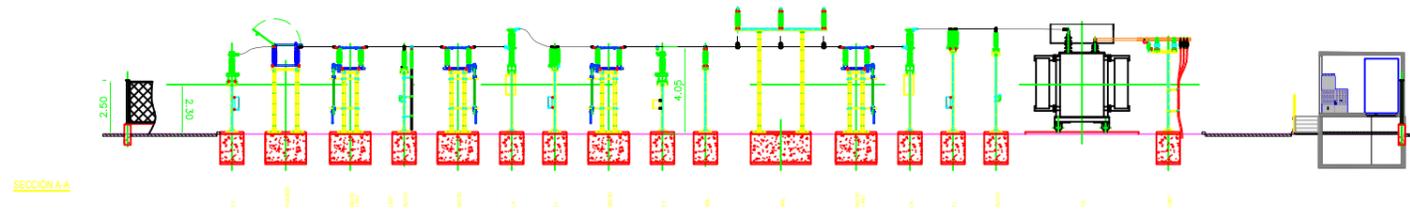


HORIZONTAL:
VERTICAL:

Proyecto MINA MUGA (NAVARRA Y ARAGÓN)

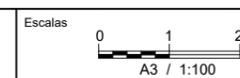
Título IMPLANTACION

Autor	IG	Nº Plano	103-01	Hoja	1	de	1	Rev.	0
-------	----	----------	--------	------	---	----	---	------	---



Realizado por

upna
 Universidad
 Pública de Navarra
 Nafarroako
 Unibertsitate Publikoa



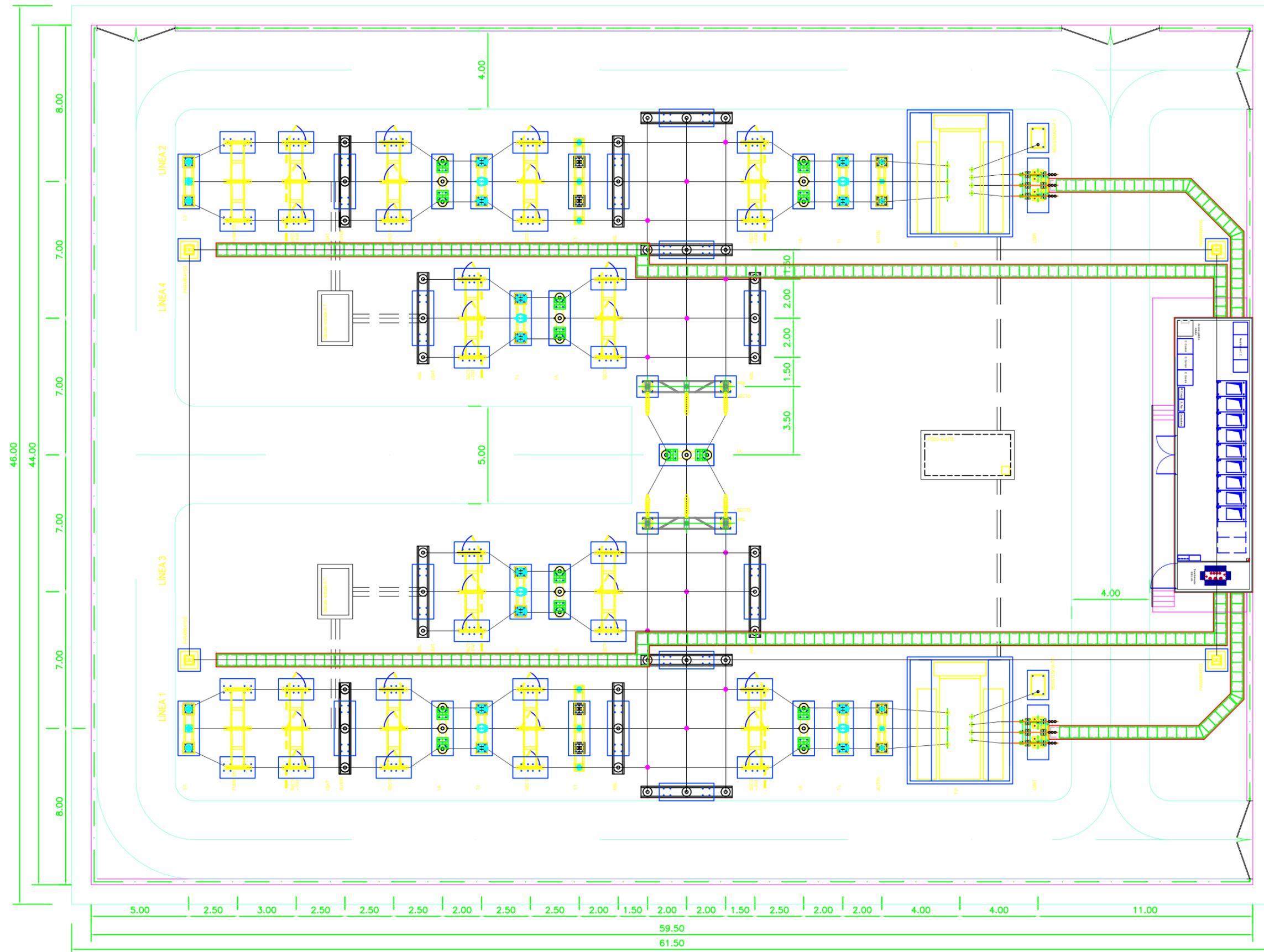
HORIZONTAL:
 VERTICAL:

Proyecto SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV 2x40 MVA

Título

PERFIL GENERAL

Autor	Nº Plano	Hoja	de	Rev.
Imanol Goicoechea	005	1	de	1
				0



IC
A

IC
A

IC

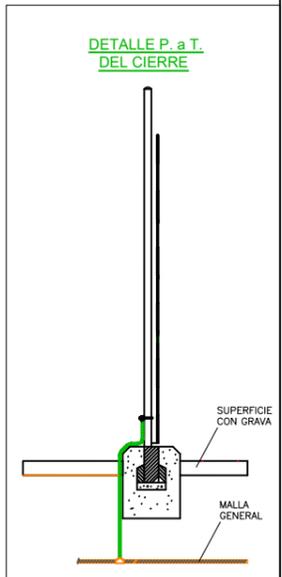
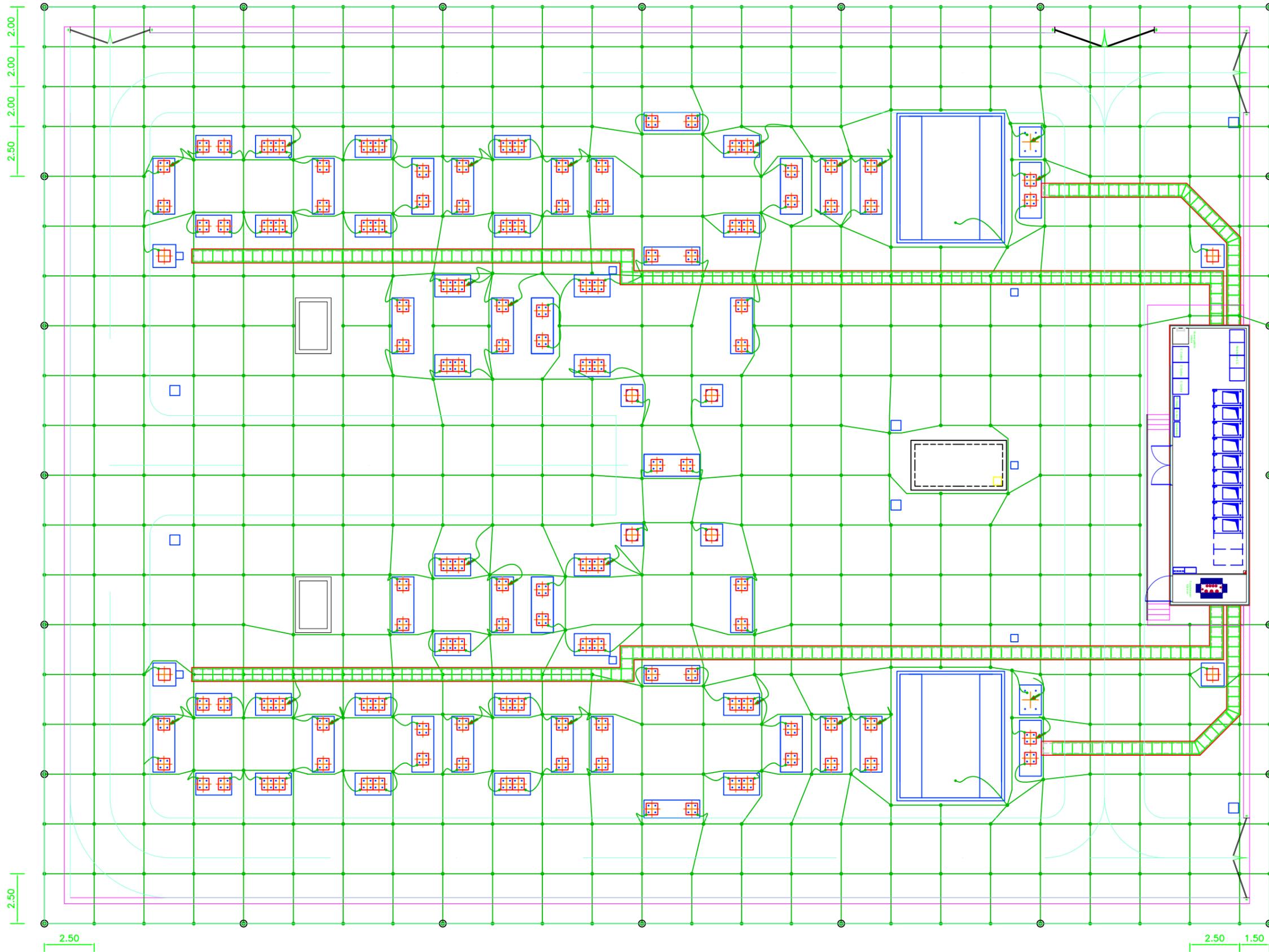
IC

Realizado por

Escalas

HORIZONTAL:
VERTICAL:

Proyecto	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA		
Título	PLANTA GENERAL		
Autor	Imanol Goicoechea	Nº Plano	006
		Hoja	1 de 1
		Rev.	0



SIMBOLOGIA.-

- ⊙ PICA DE TIERRA DE 2 m.
- CABLE CU 1x95mm ENTERRADO A 0,5m DE PROFUNDIDAD
- PUNTO DE CONEXION EXTERIOR
- UNION O DERIVACION CON SOLDADURA
- PUESTA A TIERRA DE SERVICIO con P. a T. DIRECTA

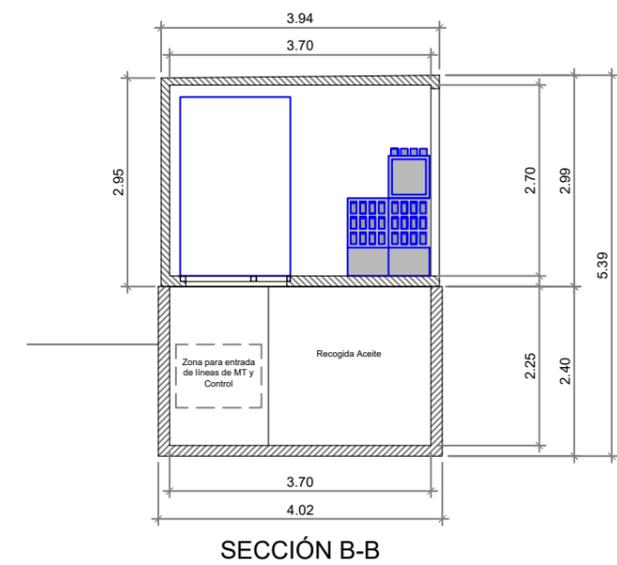
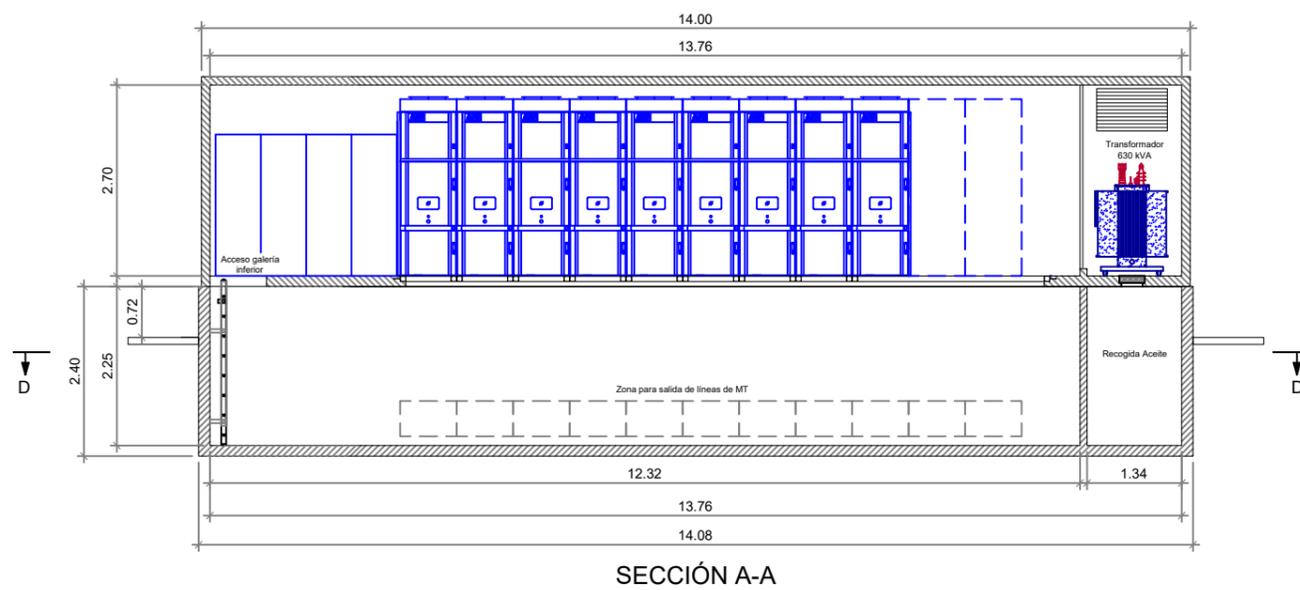
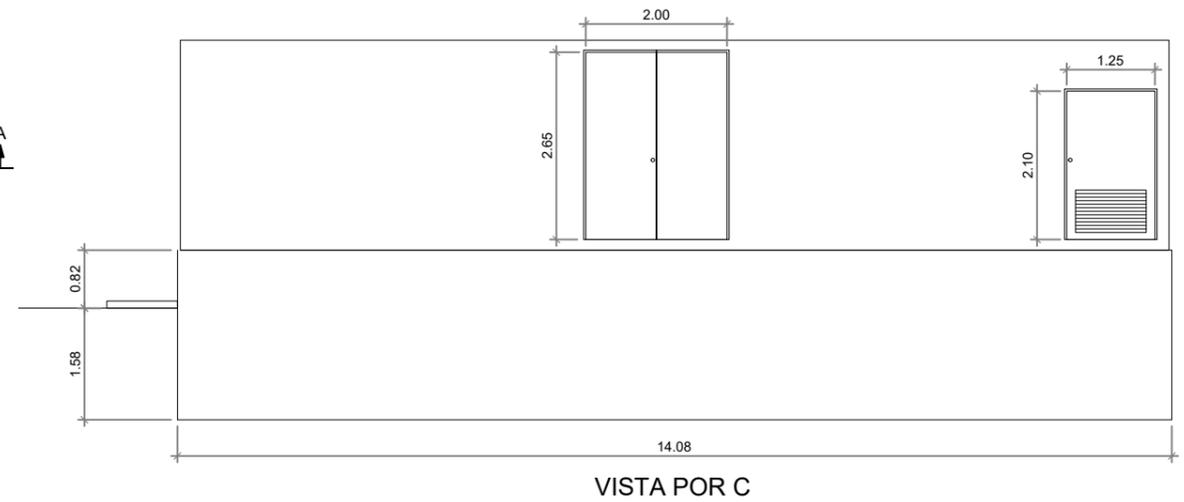
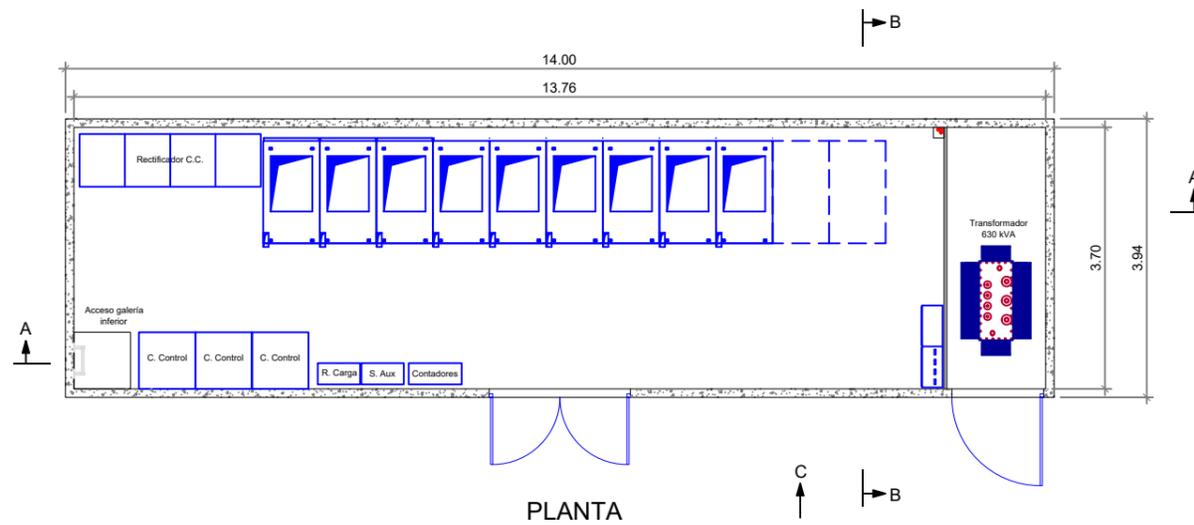
Realizado por

Escalas

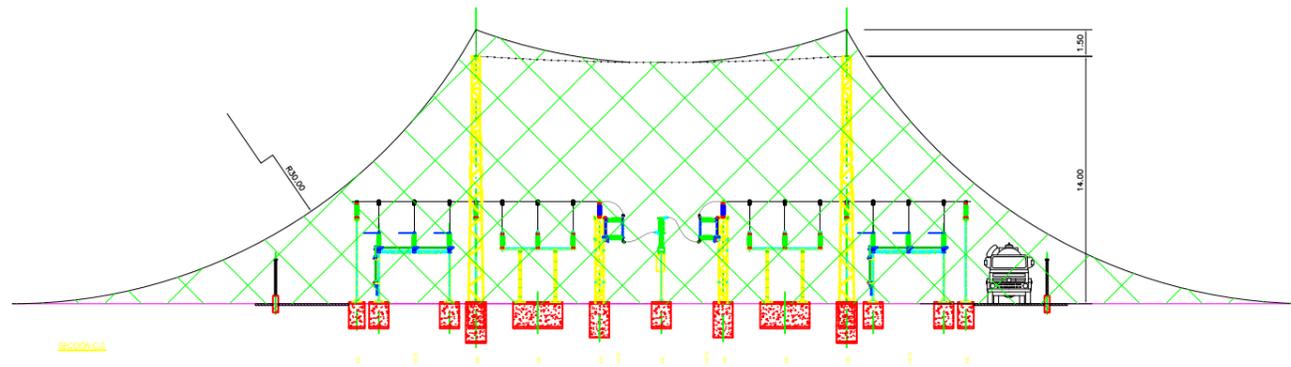
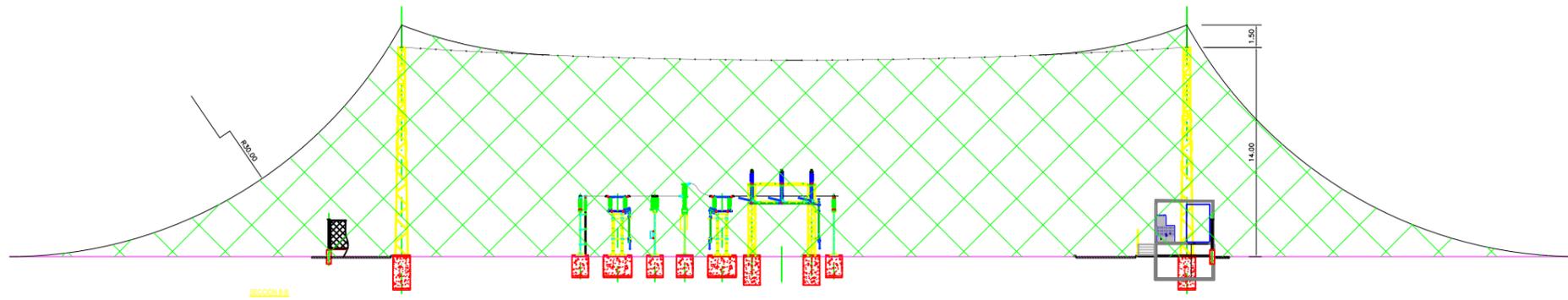
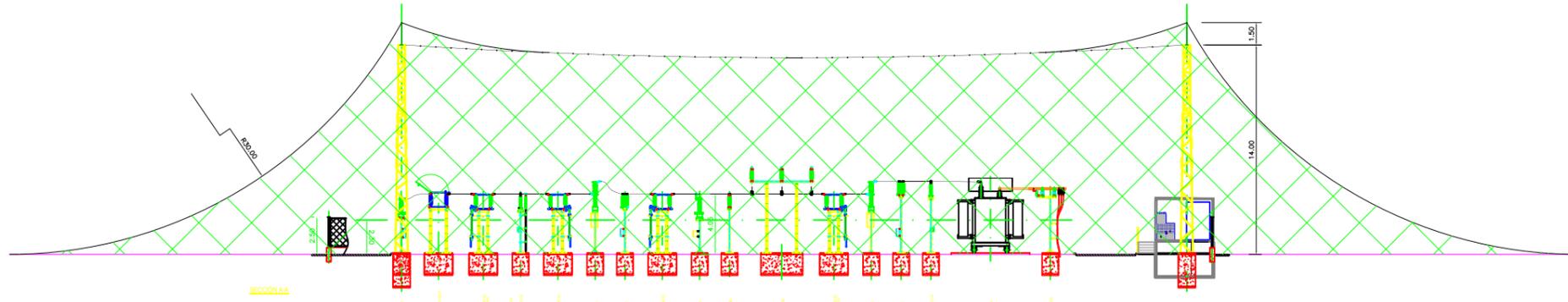
A3 / 1:200

HORIZONTAL:
VERTICAL:

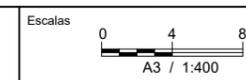
Proyecto	SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV 2x40 MVA		
Título	PLANTA RED DE TIERRAS		
Autor	Nº Plano	Hoja	de
Imanol Goicoechea	007	1	1
Rev.			
			0



Realizado por  Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	Escalas  A3 / 1:100 HORIZONTAL: VERTICAL:	Proyecto SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV 2x40 MVA
		Título SALA ELÉCTRICA
Autor Imanol Goicoechea	N° Plano 008	Hoja 1 de 1 Rev. 0



Realizado por
upna
 Universidad
 Pública de Navarra
 Nafarroako
 Unibertsitate Publikoa



HORIZONTAL:
 VERTICAL:

Proyecto SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV 2x40 MVA

Título
 PROTECCIÓN ATMOSFÉRICA

Aut. Imanol Goicoechea	Nº Plano 009	Hoja 1 de 1	Rev. 0
------------------------	--------------	-------------	--------



ANEXO 3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

ÍNDICE

1. OBJETO	2
2. ALCANCE.....	2
3. NORMATIVA Y REGLAMENTOS APLICABLES	2
4. ACTIVIDADES	3
4.1. MAQUINARIA A UTILIZAR.....	3
5. RIESGOS LABORALES Y MEDIDAS PREVENTIVAS.....	4
5.1. ACTIVIDADES	4
6. EVALUACIÓN DE RIESGOS	9
6.1. UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA.....	10
6.1.1. Actuación del maquinista	10
6.1.2. Condiciones de las máquinas de obra.....	11
6.1.3. Almacenamiento de combustible	11
6.2. SERVICIOS SANITARIOS	11
6.2.1. Primeros auxilios	11
6.2.2. Medicina preventiva.....	11
6.2.3. Evacuación de accidentados	12
6.3. SERVICIOS BÁSICOS COMUNES	12
6.4. SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.....	12
6.5. FORMACIÓN	12

1. OBJETO

El presente Estudio de Seguridad y Salud tiene por objeto definir las condiciones mínimas de seguridad y salud a cumplir en la construcción de la subestación de transformación del presente proyecto.

Con el fin de dar cumplimiento al Real Decreto 1627/97 se redacta este estudio en el marco de la ley 31/95 de Prevención de Riesgos Laborales.

En este se indican las previsiones respecto a la prevención de accidentes y enfermedades profesionales, los medios y las normas de actuación para evitar riesgos propios de la obra.

2. ALCANCE

El Estudio y posterior Plan de Seguridad son válidos para cualquier empresa que actúe en la obra, ya sea como contratista, subcontratista o personal autónomo, debiendo el contratista encargarse del cumplimiento de este estudio por parte del personal de la obra, así como la ley de Prevención de Riesgos Laborales, Decretos que la desarrollan y la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo.

El contratante deberá tener constancia de que cada trabajador ha sido informado de los riesgos específicos que afecten a su puesto de trabajo o función que desempeña dentro de la obra y de las medidas de protección y prevención que estas suponen.

Cuando el trabajador pueda estar en una situación de riesgo grave o inminente, el superior deberá actuar de inmediato para eliminar tal situación, en caso de que el trabajador no pueda ponerse en contacto con su superior, él mismo, podrá subsanar al situación habida cuenta de sus conocimientos y medios a su disposición, y a la primera ocasión deberá informar a su superior del problema y la solución adoptada.

3. NORMATIVA Y REGLAMENTOS APLICABLES

El contratista deberá tener en todo momento afiliados y en alta de la Seguridad Social a todos aquellos trabajadores que de algún modo vayan a intervenir en la realización de los trabajos, así como aquellos que en su caso, precisen llevar a efecto tareas de coordinación, colaboración, dirección y control relacionados con la ejecución de dichos trabajos.

El contratista deberá disponer, previo al inicio de los trabajos, una póliza de seguro de accidentes de trabajo, donde se incluya la electrocución. Esta póliza deberá ser presentada al contratante para su examen y aceptación.

Los reglamentos aplicables en el ámbito de seguridad serán los siguientes:

- Decreto 3151/1968. Reglamento de líneas aéreas de alta tensión.
- Decreto 2413/1973. Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones complementarias.
- Decreto 3275/1982. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad de centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación e instrucciones técnicas complementarias (Orden ministerial 18-10-1984).

Las leyes de seguridad que se aplicarán a la prevención serán las siguientes:

- Ley 31/1995. Ley de prevención de riesgos laborales.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de 9 de marzo de 1971. Capítulo 6 (Electricidad).
- Real Decreto 1495/1986. Reglamento de seguridad de máquinas.
- Ley 8/1998 de 7 de abril, infracciones y sanciones en el orden social.
- Real Decreto 1316/1989. Protección de los trabajadores frente al ruido.
- Real Decreto 485/1997. Señalización de los lugares de trabajo.
- Real Decreto 773/1997. Utilización de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1215/1997. Utilización de equipos de trabajo.
- Real Decreto 1627/1997. Condiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.

4. ACTIVIDADES

Visto el proyecto de la construcción de la Subestación Eléctrica, la obra se puede dividir en las siguientes actividades:

- Implantación de la obra
- Acopio de material
- Movimiento de tierras
- Obra civil
- Montaje de la subestación (estructura metálica y aparata de alta tensión)
- Tendido de cables y montaje de equipos
- Puesta en servicio de la instalación

Una vez desarrollado el proyecto, el contratista ampliará, si es necesario, este contenido en su Plan de Seguridad.

4.1. MAQUINARIA A UTILIZAR

- Retroexcavadora con equipo de martillo rompedor
- Pala cargadora
- Camión basculante
- Dumper, carretilla a motor con volquete
- Compresor
- Martillo
- Sierra circular para madera
- Soldadura por arco eléctrico
- Soldadura oxiacetilénica y oxicorte
- Hormigonera eléctrica
- Grúa móvil

5. RIESGOS LABORALES Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Para cada actividad básica que se prevé realizar en la obra, hay un análisis de los riesgos más importantes y sus medidas preventivas, así como las protecciones que tenderán a reducir dichos riesgos y sus daños. Esta lista queda abierta a ser finalizada por el contratista en su Plan de Seguridad y Salud.

5.1. ACTIVIDADES

Implantación de la obra

Antes del inicio de la obra, el personal encargado estudiará, sobre la superficie del terreno, la distribución de los servicios que serán necesarios durante el desarrollo de la obra (acopio, talleres, oficinas, servicios del personal...) así como los accesos que se necesitan para vehículos o personal.

Previo al inicio de las actividades principales, se vallará todo el perímetro de la obra para evitar que personas ajenas a la obra entren en ella y así eliminar cualquier riesgo que pueda haber sobre ellos.

Entre estos riesgos, los más habituales son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales: incisiones cortantes, heridas punzantes...
- Caídas de personas al mismo nivel
- Caídas de cargas o materiales
- Riesgos provocados por la maquinaria
- Riesgos provocados por la falta de orden y limpieza

La protección mínima necesaria para esta actividad estará compuesta de: casco, mono, botas y guantes.

Acopio del material y almacenamiento del mismo

Todo el material de la obra se recepcionará en un descampado que estará preparado para tal fin. Aquí se realizará la actividad de clasificación de los distintos materiales y se almacenarán hasta ser llevados a su emplazamiento correspondiente.

En esta recepción, se anotará el peso de los elementos para así poder repartir la carga y no sobrepasar la carga máxima admisible de la grúa.

El transporte del material desde el descampado hasta cada emplazamiento se realizará con el vehículo adecuado, nunca viajando persona y carga en el mismo habitáculo.

En esta actividad los riesgos que aparecen con más frecuencia son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales: incisiones cortantes, heridas punzantes...
- Caídas de personas al mismo nivel
- Caídas de cargas o materiales
- Riesgos provocados por la maquinaria
- Riesgos provocados por la falta de orden y limpieza
- Ruido

La protección mínima necesaria para esta actividad estará compuesta de: casco, mono, botas, guantes y protector de oídos.

Movimiento de tierras

En esta actividad los principales accidentes son debidos a colisiones o atropellos, debido a las distracciones.

En ningún caso estas operaciones serán improvisadas ni organizadas por el propio maquinista, si no que se planificarán dentro del plan de desarrollo de la obra y serán dirigidas por el jefe de obra y el correspondiente encargado. Los operarios tendrán instrucciones concretas de la actividad a realizar y de la forma de ejecutarla, evitando así cualquier riesgo mayor en tareas inadecuadas.

Todos los operarios habrán recibido las instrucciones necesarias para que, si al excavar se encuentran con algo no previsto, paren la obra y avisen a la jefatura de obra para adoptar las medidas oportunas.

Los circuitos de la maquinaria, así como su radio de acción deben señalizarse, para evitar que nadie permanezca dentro y evitar así que se produzcan atropellos y colisiones.

Los riesgos más habituales son:

- Atropellos
- Colisiones
- Vuelcos
- Aplastamiento por corrimientos de tierras
- Caídas al mismo o distinto nivel
- Caídas de materiales
- Golpes de partes móviles de maquinas

Para esta actividad, hay tanto protecciones colectivas como individuales:

- Colectivas: señalización interior y exterior de la obra, vallas de contención de personas, pasarelas, barandillas.
- Individuales: casco, mono, botas, guantes y protector de oídos, cinturón anti vibratorio, mascarilla anti polvo, impermeable.

Obra civil

En referencia a la obra civil, los riesgos que aparecen más frecuentemente son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales: incisiones cortantes, heridas punzantes...
- Riesgos derivados de la manipulación de hormigón: dermatosis, salpicaduras en los ojos
- Caídas al mismo o distinto nivel
- Riesgos provocados por la maquinaria y vehículos
- Riesgo eléctrico
- Ruidos
- Incendios
- Riesgos derivados de trabajos de soldadura

Ante estos riesgos, se tomarán protecciones tanto colectivas como individuales:

- Protecciones colectivas: Señalización interior y exterior de la obra, interruptores diferenciales, barandillas en plataformas con una altura superior a dos metros en las que exista riesgo de caída y en huecos y perímetros donde no haya otra protección, extintores
- Protecciones individuales: casco, mono, botas, guantes, gafas, protector de oídos, mascarilla anti polvo, protecciones para los trabajos de soldadura, cinturón de seguridad.

También como medida de seguridad, se dejará la zona debidamente señalizada una vez se haya acabado el hormigonado, para evitar así el riesgo de caídas o hundimiento.

Montaje del parque

El acopio de material se hará en sentido inverso al de su utilización y se panificará para que cada elemento que vaya a ser transportado no sea estorbado por ningún otro.

El movimiento de los elementos se realizará con la maquinaria prevista por el fabricante y sólo se engancharán por los puntos y en las formas previstas.

Se llevará a cabo la comprobación de cada elemento, viendo que están libres de uniones con otros antes de izarlos. A la hora de izar el elemento, los operarios respetarán una distancia de seguridad.

Cuando haya que dirigir piezas de gran tamaño, se realizará con cuerdas guía. Los gruietas recibirán instrucciones sobre cargas máximas admisibles, no pasar las cargas por encima de las personas, elevar siempre las cargas en vertical evitando los tirones...

En elementos de gran superficie se extremarán las precauciones durante las maniobras, en caso de viento constante o ráfagas, llegando incluso a parar y dejar la carga si fuese necesario, para evitar el vuelco de las grúas o golpes a los operarios.

Los trabajos de montaje no se realizarán en días de lluvia intensa, tormentas, nieve, heladas fuertes o velocidad del viento elevada. Tanto los elementos de la estructura como la aparatada de alta tensión se soldarán o atornillarán con la mayor rapidez posible, sin dejar ningún elemento apuntalado de forma provisional.

Los operarios que trabajen en altura, tendrán una bolsa de herramientas adecuada para evitar su caída. Estos utilizarán siempre eslingas en perfecto estado, sustituyendo inmediatamente las que se aprecien con cualquier pequeño deterioro. La unión entre eslingas formadas por cables se realizará siempre con grilletes de tamaño adecuado.

El cinturón de seguridad estará siempre sujeto a alguna parte fija de la estructura, no permanecerá en los elementos durante el transporte y no arrojará objetos desde altura.

Los riesgos más frecuentes en esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas: incisiones cortantes, heridas punzantes...
- Caídas al mismo o distinto nivel
- Caídas de cargas o materiales
- Caídas de objetos
- Riesgos provocados por la maquinaria y vehículos
- Riesgo eléctrico
- Ruidos
- Riesgos derivados de trabajos de soldadura

Ante estos riesgos, se tomarán protecciones tanto colectivas como individuales:

- Protecciones colectivas: bandas de señalización, interruptores diferenciales, barandillas en plataformas con una altura superior a dos metros en las que exista riesgo de caída
- Protecciones individuales: casco, mono, botas de seguridad, guantes y gafas.
- Estas, serán complementadas, únicamente cuando así lo requiera la fase de la actividad con: protector de oídos, protecciones para los trabajos de soldadura, cinturón de seguridad con arnés y cuerda salvavidas, bolsa de herramientas.

Tendido de cables y montaje de equipos

Durante el tendido del cableado a lo largo de la subestación, así como de todos los equipos, los riesgos más habituales son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas: incisiones cortantes, heridas punzantes...
- Caídas al mismo o distinto nivel
- Caídas de cargas o materiales
- Caídas de objetos
- Golpes
- Riesgos provocados por la maquinaria y vehículos
- Riesgo eléctrico
- Ruidos
- Riesgos derivados de trabajos de soldadura

Ante estos riesgos, se tomarán protecciones tanto colectivas como individuales:

- Protecciones colectivas: bandas de señalización, interruptores diferenciales, barandillas en plataformas con una altura superior a dos metros en las que exista riesgo de caída
- Protecciones individuales: casco, mono, botas de seguridad, guantes, gafas, protecciones para trabajos de soldadura y cinturón de seguridad.

Puesta en servicio de la instalación

La puesta en servicio es la fase final del proceso de instalación y se efectúa una vez la obra esté acabada y siguiendo unos protocolos que han sido elaborados previamente.

El personal que realice los ensayos necesarios para la puesta en servicio deberá ser experto en aparatos elevadores de tensión.

Todas las zonas donde estén ubicados los circuitos a ensayar, estarán señalizadas para evitar el acceso al personal que no participe en esta actividad, es decir, el que no esté incluido en el equipo de pruebas.

La energización de cada circuito se hará de forma aislada, por separado del resto, señalizando las zonas de trabajo para evitar la entrada de personal ajeno al equipo de puesta en servicio.

Los riesgos que se encuentran más habitualmente en esta actividad son:

- Riesgos derivados de la manipulación de materiales y herramientas: incisiones cortantes, heridas punzantes...
- Caídas al mismo o distinto nivel
- Riesgo eléctrico
- Incendio

Ante estos riesgos, se tomarán protecciones tanto colectivas como individuales:

- Protecciones colectivas: bandas de señalización, carteles indicadores y extintores
- Protecciones individuales: casco, mono, botas de seguridad y guantes.
- Estas protecciones básicas se podrán complementar con otras necesarias en cada momento en el caso de que en la puesta en marcha se necesite maniobrar o poner a tierra algún circuito.

6. EVALUACIÓN DE RIESGOS

El contratista, en su Plan de Seguridad, deberá evaluar los distintos riesgos que han sido mencionados para cada actividad, así como los que puedan surgir en ese nuevo documento. Los criterios de evaluación de riesgos serán los siguientes:

Probabilidad de que ocurra el daño:

- (A) Alta: el daño ocurrirá siempre o casi siempre.
- (M) Media: el daño ocurrirá en algunas ocasiones.
- (B) Baja: el daño ocurrirá raras veces.

Consecuencias:

- (LD) Ligeramente dañino: cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo, dolor de cabeza.
- (D) Dañino: laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores, sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos, enfermedad que conduce a una incapacidad menor.
- (ED) Extremadamente dañino: amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones fatales, cáncer y otras enfermedades crónicas que acorten severamente la vida.

Una vez evaluados los distintos riesgos de acuerdo a estos criterios, se podrán clasificar todos estos riesgos siguiendo la siguiente tabla que combina ambos criterios:

		CONSECUENCIAS		
		Ligeramente Dañina (LD)	Dañina	Extremadamente Dañina (ED)
PROBABILIDAD	BAJA (B)	Trivial	Tolerable	Moderado
	MEDIA (M)	Tolerable	Moderado	Importante
	ALTA (A)	Moderado	Importante	Intolerable

Viendo la clasificación de cada riesgo en la tabla, se decidirá la acción a tomar en cada situación:

RIESGO	ACCIÓN y TEMPORIZACIÓN
Trivial (T)	- No se requiere acción específica.
Tolerable (TO)	- No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejorar que no supongan una carga económica importante.
Moderado (M)	- Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado. - Cuando el riesgo moderado esta asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con mayor precisión, la probabilidad de dar como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante (I)	- No se debe comenzar el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. - Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. - Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos.
Intolerable (IN)	- No se debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. - Si no es posible reducir el riesgo. Incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

6.1. UTILIZACIÓN DE MAQUINARIA

6.1.1. Actuación del maquinista

Se seguirá el Real Decreto 1215/97, donde especifica que la conducción en obra de equipos de trabajo automotores deberá ser realizada por operarios que hayan recibido una formación adecuada para dicha actividad.

Previo a la puesta en marcha de la máquina, se deberá comprobar que no hay personas ni obstáculos a su alrededor. El maquinista deberá conocer la zona de trabajo previamente delimitada, así como la altura de seguridad en el caso de que se trabaje bajo líneas de Alta Tensión.

Cualquier maquinista operador o auxiliar, que deba intervenir en la obra durante la puesta en servicio, habrá recibido un cursillo de formación para trabajos en proximidad y cercanía de tensión y deberá conocer su cometido.

No se cargará en ningún caso por encima de la cabina, quedando prohibida la utilización de la pala de la retroexcavadora para transportar personal. No se utilizarán las máquinas excavadoras como grúas o para el transporte de material.

6.1.2. Condiciones de las máquinas de obra

Las máquinas de obra deberán llevar señalización acústica y visual, retrovisores a ambos lados, servofrenos y freno de mano en perfecto estado de funcionamiento.

6.1.3. Almacenamiento de combustible

Para el almacenamiento de combustible, así como la manipulación de bidones de líquidos inflamables, gasolina, gas-oíl... se habilitará un lugar idóneo en la caseta de obra adecuada para este almacenamiento, que se ubicará lejos del personal por razones de seguridad.

No se encenderá ningún tipo de fuego o se soldará en las proximidades, manteniéndose el suelo limpio de carburantes y aceites y teniendo cercano todos los medios necesarios para la extinción.

6.2. SERVICIOS SANITARIOS

6.2.1. Primeros auxilios

A pesar de que el principal objetivo del estudio es evitar los accidentes, es inevitable que existan, debido a causas de difícil control y prevención. Por ello, es necesario prever la prestación de primeros auxilios para atender a los posibles accidentados, tal y como está reflejado en el Real Decreto 1627/1997.

Dadas las características de la obra e instalación a efectuar, es necesario estar equipado con un botiquín de primeros auxilios por grupo de trabajo, con el fin de dar las primeras atenciones sanitarias ante cualquier accidente.

6.2.2. Medicina preventiva

Con el fin de lograr evitar en la medida de lo posible las enfermedades en esta obra, así como las disfunciones derivadas de los esfuerzos físicos, psíquicos o cualquier trastorno peligroso, se prevé que el contratista, en cumplimiento de la legislación vigente, realice los reconocimientos médicos previos a los trabajadores de esta obra, antes de su inicio, exigiendo también este cumplimiento al resto de empresas subcontratadas.

6.2.3. Evacuación de accidentados

La evacuación de las personas accidentadas, que por sus lesiones así les sea requerido, estará prevista por el contratista de la obra mediante la contratación de un servicio de ambulancias que definirá en su Plan de Seguridad.

6.3. SERVICIOS BÁSICOS COMUNES

Dadas las características de la obra e instalaciones a efectuar, será necesario dotarla de una caseta de obra, para vestuarios por cada grupo de obra y por cada 14 trabajadores o fracción. El contratista deberá definir la situación y el número de casetas de obra en su Plan de Seguridad.

6.4. SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

El contratista está obligado a hacer cumplir en todo momento a todo el personal y el personal subcontratado las normas contenidas en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, del 8 de noviembre de 1995, así como todos los reglamentos que continúen en vigor, conducentes a evitar peligros y accidentes.

6.5. FORMACIÓN

Toda persona que intervenga en la obra deberá recibir la correspondiente formación de seguridad.

Al personal que vaya a intervenir en el montaje de la estructura y de la aparamenta de 220 KV y 66 KV, además del curso de formación general, recibirá:

- un curso de formación específica en riesgos de altura
- un curso de formación específica de riesgos eléctricos
- Tipos de accidentes frecuentes

Los maquinistas que, por cualquier circunstancia, puedan maniobrar debajo de las barras de Alta Tensión, durante el tiempo de puesta en servicio de la subestación, recibirán también un curso de formación específica para trabajos en proximidad y cercanía de tensión.

Pamplona, a marzo de 2017



Fdo. Imanol Goicoechea Díez



ANEXO 4: PLIEGO DE CONDICIONES DE MONTAJE ELECTROMECAÁNICO

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

ÍNDICE

1. OBJETO.....	2
2. NORMATIVA APLICABLE.....	2
2.1. Normativa de gestión medioambiental.....	3
2.2. Normativa de seguridad.....	3
3. FASES DE MONTAJE ELECTROMECHANICO.....	4
4. ESTRUCTURA METÁLICA.....	4
4.1. Construcción.....	4
4.2. Manipulación en obra.....	5
5. APARAMENTA.....	6
5.1. Módulos compactos.....	6
5.2. Resto de la aparamenta.....	6
6. TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	7
7. PUESTA A TIERRA SUPERFICIAL.....	7
8. EMBARRADOS Y CONEXIONES.....	8
8.1. Embarrados rígidos de tubo o pletina.....	9
8.2. Embarrados flexibles.....	9
8.3. Conexiones.....	9
9. ALUMBRADO Y TOMAS DE FUERZA.....	9
10. CELDAS DE MT.....	10
11. CUADROS DE PROTECCIÓN, CONTROL Y SSAA.....	10
12. CABLES DE POTENCIA MEDIA TENSIÓN.....	11
13. CABLES DE FUERZA Y CONTROL.....	11
14. RECEPCIÓN DE LAS OBRAS.....	12
14.1. Medición y comprobaciones.....	12
14.2. Pruebas locales y P.E.S. de equipos de baja tensión.....	13
14.3. Pruebas de control y protecciones del aparellaje de AT.....	13

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

1. OBJETO.

El objeto del presente Pliego de condiciones es establecer los requisitos a los que se debe ajustar la ejecución de las obras del proyecto, así como las condiciones técnicas y control de calidad que han de cumplir los materiales utilizados en el mismo.

Las condiciones técnicas y operaciones a realizar que se indican, no tienen carácter limitativo, teniendo que efectuar además de las indicadas todas las necesarias para la ejecución correcta del trabajo.

Como norma general, la ejecución de las obras deberá cumplir las instrucciones del fabricante, además de las instrucciones que se indiquen en este documento.

2. NORMATIVA APLICABLE

El diseño, fabricación, montaje y pruebas de equipos y materiales, estarán de acuerdo con los Reglamentos y Normas que se indican, en su edición vigente:

- Reglamentos Electrotécnicos de Alta Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (MIE-RAT), en particular:
- Real Decreto 3275/1982 del 12/11, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Orden del 6/07/1987, por la que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias (MIE RAT) del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de transformación.
- Reglamento de líneas Eléctricas de Alta Tensión.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Ley de prevención de riesgos laborales 31/95 del 8 de Noviembre y todos los reales decretos.
- Normas UNE.
- Recomendaciones IEC.
- Requisitos exigidos por la Compañía Suministradora (IBERDROLA, S.A.)

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

2.1. Normativa de gestión medioambiental

- R.D. 952/1997, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
- Todas las Normas de ámbito Autonómico y Local de obligado cumplimiento.

Se reducirá al mínimo posible el impacto ambiental de las actividades como son las siguientes acciones:

- Minimizar:
 - El consumo de agua, energía y demás materias primas, los vertidos, los ruidos y la emisión de gases.
- Identificar:
 - Los materiales y productos con impacto medioambiental que, aún sin estar en uso, no se hayan destinado al abandono. Dentro de estos productos se considerarán (incluidos los envases):
Productos químicos (utilizados en los distintos sistemas de tratamiento), pinturas, grasas y aceites, combustibles fósiles (gasolina, gasoil, etc.), resinas, etc.
- Controlar:
 - La generación y gestión de Residuos Peligrosos y Residuos Sólidos Urbanos. Esta gestión consiste en la segregación adecuada en los contenedores de los residuos.

2.2. Normativa de seguridad

- Prescripciones de Seguridad para Trabajos y Maniobras en Instalaciones Eléctricas, edición 2ª revisada (AMYS), o en su caso la última edición o revisión de la misma.
- RD 614 / 2001 "Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico".
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada s/Decreto del 11 de marzo de 1971, o en su caso la última edición o revisión de la misma.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

3. FASES DE MONTAJE ELECTROMECHANICO

La ejecución del montaje electromecánico se realizará en las siguientes fases:

- 1º - Selección y colocación de estructuras metálicas.
- 2º - Instalación de aparamenta.
- 3º - Ejecución de las puestas a tierra exteriores o superficiales.
- 4º - Instalación de embarrados.
- 5º - Instalación de alumbrado.
- 6º - Instalación de celdas y armarios.
- 7º - Tendido de cables de fuerza y control.
- 8º - Conexión de cables de fuerza y control.
- 9º - Pruebas.

4. ESTRUCTURA METÁLICA

4.1. Construcción

Todas las estructuras metálicas serán realizadas mediante perfilería normalizada, con un acabado superficial a base de un galvanizado en caliente no inferior a 90 micras.

En general los aceros utilizados serán de tipo S-275-JR.

Los consumibles de soldadura: Los electrodos a utilizar en la soldadura manual al arco eléctrico serán de alguna de las calidades estructurales definidas en la norma UNE14.003

El material empleado para la fabricación de los tornillos responderá, en cuanto a composición, propiedades mecánicas y designación, a lo especificado en la norma DIN 267 y en cuanto a clase de resistencia. (calidad 5.6)

En todas las zonas de un perfil que hayan de entrar en contacto con otro, en las uniones, se eliminarán las rebabas de laminación, así como las marcas de laminación en relieve.

Se permitirá el punzonado en espesores no superiores a 15 mm; en otro caso deberán ser taladrados. El punzón debe ofrecer garantías de lograr un agujero de borde cilíndrico, sin grietas ni fisuras. Los agujeros destinados a alojar tornillos calibrados se ejecutarán siempre con taladro.

Antes de soldar se limpiarán los bordes de la costura, eliminando cuidadosamente toda la cascarilla, herrumbre o suciedad y, muy especialmente, las manchas de grasa o pintura.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

4.2. Manipulación en obra

Se repararán y engrasarán las roscas de los pernos.

En el armado de soportes, nivelación y alineación, las tolerancias admitidas son:

- Alineación + 5 mm
- Nivelación $\pm 2,5$ mm

Cuando se tengan que realizar soldaduras en la obra, en el acero galvanizado, se han de tener en cuenta los requisitos siguientes para efectuarlas:

- Se debe emplear necesariamente electrodos de tipo Rutilo o del tipo Ácido-rutilo con hierro en polvo de gran rendimiento.
- La intensidad de la corriente será siempre superior a la empleada para soldar acero negro.
- Es preciso dejar separación suficiente (unos 2 mm) entre los bordes de las piezas a soldar para dar salida al zinc fundido.
- Limpiar bien la soldadura y la zona afectada por el calor, usando cepillo metálico.
- Aplicar sobre la soldadura y la zona afectada por el calor una pintura de base zinc metálico para protegerla de la corrosión

Una vez terminado el montaje de los elementos galvanizados, será llevada a cabo una inspección sobre todas las superficies con este tratamiento y deterioradas por las operaciones de manejo, montaje, taladros ozonas afectadas por la soldadura. Se señalarán estas zonas y se repararán según el siguiente proceso:

- Eliminación de cemento, tierra, marcas, escorias, proyecciones de soldaduras y otras materias extrañas mediante cepillo de púas metálicas, rasquetas, limpiadores alcalinos en solución u otro sistema.
- Limpieza de aceite y grasa con trapos limpios empapados en disolvente, eliminación del óxido utilizando herramientas mecánicas a motor. Esta operación será ampliada a una franja de 50 mm sobre la capa de galvanizado sana, en torno a la zona defectuosa.
- Inmediatamente después de la preparación superficial, se aplicarán dos capas de pintura del tipo cloro-caucho rica en zinc.
- Se comprobarán las medidas de anclaje de los distintos aparatos con los de los soportes, en caso de que hubiese que modificar o hacer nuevos agujeros, se harían con taladro, nunca con soplete.
- Se engrasará toda la tornillería, tanto la galvanizada como la de acero inoxidable, antes y después de su montaje, con grasa Molykote.

5. APARAMENTA

5.1. Módulos compactos

Se procederá a la fijación en sus bancadas y una vez nivelados se regularán y ajustarán según instrucciones del fabricante.

El llenado de fluido aislante se realizará a la presión indicada por el fabricante. Cuando se trate de aceite, se realizará un filtrado hasta alcanzar una rigidez dieléctrica mínima de 150 kV/cm.

En su recepción se comprobará la densidad del gas a través del densímetro y la presión del gas para el caso de interruptores de SF6. A su vez el fabricante comprobará que no hay fugas.

La casa constructora del interruptor deberá revisar el montaje y dar su aprobación al mismo.

Se procederá al izado, fijación en sus soportes y una vez nivelados se regularán y ajustarán según instrucciones del fabricante.

Se comprobarán ajustes, engrases finales, así como la penetración de las cuchillas, conforme a las indicaciones del fabricante

5.2. Resto de la aparamenta

Se procederá a la situación, nivelación y fijación a los soportes correspondientes y, en donde proceda, se instalarán las conducciones necesarias hasta las cajas de centralización.

Para su montaje se seguirán las instrucciones del fabricante.

- El montaje de los trafos de medida, cuando se monte uno por fase, se realizará siguiendo el número de fabricación: el menor en fase 0 y el mayor en la fase 8. Una vez montados se medirán los aislamientos. En los TI, además, se medirá la polaridad y relación de transformación.
- En las autoválvulas, cuando proceda, se montarán los contadores de descarga. Se comprobará y medirá el aislamiento entre la base donde lleve la puesta a tierra y el soporte metálico.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

6. TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Las condiciones técnicas de operación y montaje a realizar, serán las que el fabricante indique en las instrucciones del transformador y los planos de montaje de la instalación.

Las actividades principales a desarrollar en el montaje:

- Descarga y traslado hasta su emplazamiento definitivo junto con sus accesorios.
- Montaje de accesorios y bornas.
- Tratamiento y llenado de aceite bajo vacío.

Se comprobará la existencia de una ligera sobrepresión de gas en la cuba del transformador.

Se efectuará el vacío de la cuba, al mismo tiempo se realizará el filtrado del aceite en depósitos aparte.

Una vez conseguidos los valores de rigidez dieléctrica y vacío indicados en la Especificación Técnica de Montaje de Transformadores de Potencia, se iniciará el llenado de la cuba por la parte inferior hasta alcanzar un nivel cercano a la tapa.

Se procederá a la rotura de vacío.

Una vez montados todos los elementos del trafo se procederá al llenado final del trafo.

Cuando la cuba no esté preparada para pleno vacío, se procederá solamente al tratamiento del aceite y al llenado del transformador.

En el caso de transformadores nuevos, la casa constructora del transformador realizará el montaje y supervisará la puesta en servicio del mismo.

7. PUESTA A TIERRA SUPERFICIAL

De la malla enterrada se derivará a los diferentes elementos de la Subestación.

Cualquier elemento que no soporte tensión deberá estar conectado a la malla de tierra. El contacto de los conductores de tierra deberá hacerse de forma que quede completamente limpio y sin humedad.

Todos los sistemas porta cables de la instalación (tubos, bandejas, etc.) se conectarán a tierra en el inicio de sus recorridos, mediante cable de cobre desnudo, recorriendo las bandejas y grapado a las mismas.

Las partes metálicas asociadas con equipos eléctricos, tales como, vallas del parque, soportes, etc., se conectarán directamente a la red general de puesta a tierra.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

La conexión a equipos y estructuras se realizará mediante grapas atornilladas que permitan la desconexión de los conductores cuando se quiera verificar los sistemas de puesta a tierra.

Se conectarán a tierra directamente, sin uniones desmontables intermedias los sistemas de tierra de servicio como son: Neutro de transformadores de potencia y de medida, hilos de tierra de las líneas aéreas, tomas de tierra de las autoválvulas, etc.

Conexiones atornilladas:

- Las conexiones atornilladas se realizarán mediante grapas de bronce.
- La tornillería será de acero bicarbonatado, con arandela o dispositivo anti vibratorio eficaz.
- Las abrazaderas y grapas para conexión de conductores serán bronce con tornillo de amarre de acero inoxidable.
- Las uniones atornilladas entre pletinas o las que se realicen con grapas especiales o mediante terminales, se efectuarán observando las siguientes precauciones:
 - Se limpiarán previamente las superficies de contacto, con el fin de que la resistencia eléctrica de la unión sea mínima.
 - La limpieza indicada anteriormente se llevará a cabo de forma que no se elimine el galvanizado de las pletinas o estructuras que lleven este tratamiento.
 - Se deberá dar el par de apriete adecuado con llave dinamométrica a los tornillos, con el fin de asegurar la continuidad de la unión.

Una vez finalizada la instalación de la red de puesta a tierra aérea, se realizarán las siguientes inspecciones:

- Comprobación de la puesta a tierra de todos los equipos y masas metálicas.
- Comprobación del par de apriete en las conexiones atornilladas.
- Comprobación del correcto soportado del cable de cobre y de la utilización del material especificado.
- Se medirán las tensiones de paso y de contacto.
- Se medirá la resistencia del electrodo de puesta a tierra de la subestación y edificio.

8. EMBARRADOS Y CONEXIONES

Tanto los embarrados principales como los secundarios quedarán unidos a los distintos elementos de aparellaje por medio de racores de aleación de aluminio, de geometría adecuada y diseñadas para soportar las intensidades permanentes y de corta duración previstas sin que existan calentamientos localizados.

Su tornillería será de acero inoxidable y quedará embutida en la pieza para evitar altos gradientes de tensión.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

Se tendrá en cuenta para la selección de los racores tanto las posibles dilataciones del embarrado como las posibles vibraciones que se pudieran generar (trafo de potencia, interruptores, etc.)

8.1. Embarrados rígidos de tubo o pletina

Los embarrados de tubo se prepararán y ejecutarán en el suelo, incluyendo el doblado con máquina, empalmes si son necesarios, y taladros. Posteriormente se izarán y montarán los diferentes tramos.

8.2. Embarrados flexibles

Los embarrados flexibles se instalarán procurando que no queden tensos, dándole una flecha de 1/20 de la longitud del cable en conexiones horizontales.

8.3. Conexiones

El apriete de todas las piezas de conexión se hará con llave dinamométrica, siguiendo las instrucciones del fabricante en cuanto al orden y par de apriete.

El tratamiento de las superficies de contacto se hará de la forma siguiente:

- Las superficies de contacto plateado se limpiarán con un paño suave y con disolvente (Tricloroetileno). No se permite cepillar con cepillo de acero.
- Las superficies de contacto de cobre o aluminio, se limpiarán con un cepillo de acero o tela esmeril.
- Se engrasará toda la tornillería de acero inoxidable, antes y después de su montaje, con grasa Molykote.

9. ALUMBRADO Y TOMAS DE FUERZA

La instalación de alumbrado interior se realizara bajo tubo de PVC rígido y mecanismos de superficie.

En el interior del edificio se colocarán regletas fluorescentes estancas, su encendido se realizará a través de interruptores o conmutadores de superficie según sea el caso.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

En el interior del edificio se preverán equipos autónomos de emergencia que proporcionen 7 lux en el edificio de control durante tres horas. La puesta en funcionamiento será de forma automática cuando la tensión de los servicios auxiliares de la instalación descienda por debajo del 80% de su valor nominal. Así mismo en las puertas se instalarán bloques autónomos con el rotulo de "SALIDA".

Se instalarán cajas con una toma de corriente de 32A, III+T tipo CETAC y una toma de 16A, II+T tipo Schuko. También se instalarán varios enchufes de superficie en el interior del edificio.

Para la iluminación exterior se colocarán proyectores en la subestación con equipo incorporado para lámparas de V.S.A.P. a 220 Vca., con reflector en aluminio anodizado y carcasa de aleación ligera inyectada, se colocará sobre soportes galvanizados apoyados en el suelo.

10. CELDAS DE MT

Las condiciones técnicas de operación y montaje a realizar, serán las que el fabricante indique en las instrucciones y los planos de montaje de la instalación.

Se realizarán las siguientes operaciones:

- Desembalaje, situación, ensamblado, nivelado y fijación de los diversos elementos que componen el conjunto, en su bancada correspondiente.
- Se realizará la unión de embarrados principales y derivaciones.
- Comprobación y colocación de los aislamientos de embarrados.
- Cableado de interconexiones entre celdas y cableado de todos los aparatos.
- Puesta a tierra.
- Pruebas funcionales de maniobra y control.

11. CUADROS DE PROTECCIÓN, CONTROL Y SSAA

Las condiciones técnicas de montaje y operación a realizar, serán las que el fabricante indique en las instrucciones del equipo y los planos de montaje de la instalación.

Se instalarán sobre bastidor realizado con U para la perfecta nivelación de los armarios.

Se realizarán las siguientes operaciones:

- Desembalaje, situación, ensamblado, nivelado y fijación de los diversos elementos que componen el conjunto, en su bastidor correspondiente.
- Se realizará la unión entre armarios.
- Puesta a tierra.
- Colocación de equipos que hayan podido ir sueltos en el transporte.
- Cableado de interconexiones.
- Pruebas funcionales de maniobra y control.

12. CABLES DE POTENCIA MEDIA TENSIÓN

Los cables discurrirán por canalizaciones en el suelo de la Subestación.

En los casos de instalación de los conductores dentro de tubos enterrados, se dispondrá un sólo cable (o un conjunto de conductores unipolares que constituyan un sistema o terna) por conducto.

Para la realización de las terminaciones se emplearán las instrucciones del fabricante.

El tendido se realizará formando ternas trifásicas.

No se admitirán empalmes en el tendido inicial de los cables de potencia.

Se realizarán los ensayos eléctricos previos a la puesta en servicio.

Los cables irán marcados identificando circuito y fase en las zonas visibles y arquetas de registro.

13. CABLES DE FUERZA Y CONTROL

Se efectuará el tendido y conexionado de las líneas de baja tensión que sean necesarias para la distribución de corriente alterna, continua y control a todos los equipos de la Subestación.

Los cables discurrirán por canalizaciones en el suelo de la Subestación.

Se evitará el recorrido de los cables por la parte anterior y posterior de los instrumentos, cajas de conexión y otros dispositivos, para no impedir la apertura de cubiertas, extracción de equipos y otros trabajos realizados con el mantenimiento.

Todos los cables de control serán de cobre de una sección mínima de 1,5mm² para los circuitos de mando y señal.

Los cables se pondrán agrupados en mazos y se asegurarán a tramos cortos mediante bridas, con radios de curvatura lo más grande posible.

En los cables apantallados, se instalará una abrazadera sin fin de acero en el extremo del cable para dar tierra a la pantalla, mediante cable de cobre trenzado.

Se realizarán pruebas de funcionamiento en el 100% del cableado.

Todos los cables serán del tipo RV-K 0,6/1kV, bajo halógenos. Las venas serán de cobre y todos sus hilos serán numerados de color negro sin cable de tierra.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

Conexionados:

- Como norma general se dispondrá de regletas terminales de llegada para todo el cableado.
- No se conectarán más de dos conductores a una borna o terminal de un aparato.
- Se puentearán internamente el número adecuado de bornas, para permitir la conexión de un solo conductor por borna, en el lado de salida de la regleta.
- Todos los cables irán numerados en sus extremos así como sus hilos de forma indeleble, por medio de un manguito de plástico en el que se indicará número de cable e hilo, borna en la que está conectada y borna en la que se conecta en el otro extremo.

14. RECEPCIÓN DE LAS OBRAS

Para la recepción y puesta en servicio de la instalación se realizarán las pruebas que se precisen para asegurar su correcto funcionamiento. Se pueden distinguir tres fases, en las cuales se exponen los ejemplos más significativos:

14.1. Medición y comprobaciones

- Comprobación que todas las conexiones de las masas a tierra están realizadas y verificadas, habiéndose medido la resistencia de puesta a tierra en cada uno de los puntos de la instalación.
- Medida de resistencia de la malla de tierra.
- Medida de las tensiones de paso y contacto.
- Medida de aislamiento de cables y del aparellaje de AT y MT.
- Medida de aislamiento de cables BT.
- Medida de rigidez dieléctrica del aceite de los transformadores.
- Medida de aislamiento de los bobinados de los transformadores de potencia.
- La secuencia de conexión de las fases está correctamente.
- Timbrado de todos los cables de la subestación según planos de interconexión.
- Todos los elementos de seguridad y protección del sistema están adecuadamente dispuestos y operan correctamente.
- Comprobación de que no existen partes con tensión a la vista o expuestas a contactos accidentales.

Pliego de condiciones de montaje electromecánico

14.2. Pruebas locales y P.E.S. de equipos de baja tensión

- Pruebas funcionales de seccionadores.
- Pruebas funcionales de interruptores.
- Pruebas funcionales de transformadores de potencia.
- Pruebas y puesta en servicio de rectificadores y baterías de acumuladores.
- Puesta en servicio de armarios de servicios Auxiliares.
- Pruebas locales del alumbrado y tomas de corriente

14.3. Pruebas de control y protecciones del aparellaje de AT

- Comprobación de los circuitos de mando, control, señalización y alarma de interruptores y seccionadores, de intensidades y tensiones de los trafos de medida, de bloqueos y condicionantes de control.
- Pruebas de protecciones y equipos de medida.
- Energización de todos los elementos de la Subestación y prueba de su funcionamiento a tensión normal.
- Puesta en servicio.

Al término de la obra deberán mostrarse todas las modificaciones que se hayan realizado durante la ejecución de la obra, para su delineación definitiva.

También se entregarán los protocolos de las pruebas realizadas.

Pamplona, a marzo de 2017



Fdo. Imanol Goicoechea Díez



ANEXO 5: RELACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS AFECTADOS

RELACIÓN DE BIENES Y DERECHOS AFECTADOS

AFECCIONES A PROPIETARIOS.

Las afecciones a propietarios, motivadas por la construcción de la Subestación de Alta Tensión objeto del presente proyecto, bien sea por la superficie de la ST o recorrido de zanjas exteriores pueden consultarse en la tabla adjunta.

SUBESTACIÓN 66/20 KV 2x40 MVA

MUNICIPIO	FINCA (Según proyecto)	TITULAR Y DOMICILIO				DATOS CATASTRALES			AFECCIONES					
		Propietario	Dirección	Localidad	Provincia	Políg.	Parcela	Naturaleza / Cultivo	Nº Arquetas	Ocupación Arquetas (m²)	Longitud Canaliz. (m)	Anchura canaliz. (m)	Superficie canaliz. (m²)	Superficie Subestación. (m2)
SANGÜESA	661	PEREZ-OBANOS,LISO,TRINIDAD	CP: 31487	LIEDENA	NAVARRA	8	661	T.LABOR	2	10,08	0	1,05	0	2829 m2 (61,5 m x 46 m)