

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELÉCTRICA



PROYECTO FIN DE CARRERA

**PROYECTO TÉCNICO DE UNA SUBESTACIÓN
TRANSFORMADORA 220/45/20 kV: CÁLCULO DE LA
RED DE TIERRAS**

INGENIERIA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

AUTOR: César Martín Roperó

TUTOR: Jorge Martínez Crespo

Leganés Noviembre de 2013



AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar unas cuantas palabras a aquellas personas que han formado parte de mi vida en el transcurso de mis estudios universitarios.

Quisiera agradecer a mi familia todo el apoyo y el cariño mostrado durante la carrera, mis padres, mi hermana y mis abuelos, por confiar en mí y estar en los momentos tanto buenos como malos.

Así mismo también quisiera agradecer a todas las personas que de una u otra manera me han ayudado en el desarrollo de este proyecto, mis tutores de IBERDROLA Ignacio Santos y Javier Agüero, ya que sin ellos no hubiese sido posible la realización del mismo.

Gracias a mi tutor de proyecto Jorge Martínez por guiarme y ayudarme a culminar mis estudios, y a la UNIVERSIDAD CARLOS III por haber sido mi casa durante estos años y haberme dado la formación necesaria para enfrentarme al mundo laboral.

Por último, y no menos importante, gracias a todos mis amigos, tanto a los que han estado desde el principio como a los que están formando parte de mi vida ahora, que me han apoyado y han hecho más grata mi vida universitaria durante este camino



RESUMEN DEL PROYECTO

El Proyecto Fin de Carrera que a continuación se expone, tiene como tema principal el diseño de la subestación eléctrica transformadora denominada ST Peñaflor para la conexión de tres parques eólicos a la red eléctrica de distribución de Iberdrola

Este proyecto se ha basado en un caso real y consta de los capítulos o documentos que contiene un Proyecto Técnico Oficial a excepción del Estudio de Seguridad y Salud, que, debido a su gran extensión, se ha decidido no incluirlo en el mismo, así como el Pliego de condiciones dado que no aporta información relevante para conseguir los objetivos de este Proyecto Final de Carrera.

Su estructura se define en el capítulo 1 pero a rasgos principales se puede enfocar en dos partes diferenciadas.

Una parte en la que se enumeran los distintos equipos que componen la subestación transformadora con sus características y otra parte de cálculo y diseño de la red de tierras, dimensionando la malla de la subestación a partir de una herramienta informática.



ÍNDICE

1.- CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	9
1.1.- OBJETIVO DEL PROYECTO.....	9
1.2.- ALCANCE DEL PROYECTO.....	9
1.3.- JUSTIFICACIÓN.....	10
1.4.- EMPLAZAMIENTO.....	10
1.5.- ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	10
2.- CAPÍTULO 2: MEMORIA.....	13
2.1.- DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	13
2.2.- ESQUEMA UNIFILAR.....	16
2.2.1.- Sistemas de 220 kV.....	16
2.2.2.- Transformador de potencia.....	17
2.2.3.- Sistema de 30 kV.....	17
2.2.4.- Sistema de 20 kV.....	18
2.2.5.- Reactancias de Puesta a Tierra.....	18
2.2.6.- Pararrayos de M.T.....	18
2.2.7.- Cuadro de servicios auxiliares de C.A. y C.C.....	19
2.2.8.- Otras instalaciones.....	19
2.3.- CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	20
2.3.1.- Niveles de Aislamiento.....	20
2.3.2.- Distancias mínimas.	20
2.4.- ESTRUCTURA METÁLICA.....	22
2.4.1.- Estructura metálica de 220 kV.....	23
2.4.2.- Estructura metálica de 20 kV.....	23
2.5.- EMBARRADOS.....	24
2.5.1.- Embarrados de 220 kV.....	24
2.5.2.- Embarrados de 45 k.....	25
2.5.3.- Embarrados de 20 kV.....	25
2.5.4.- Piezas de conexión.....	25
2.5.5.- Aisladores soporte para 220 kV.....	25
2.5.6.- Aisladores soporte para 20 kV.....	26
2.6.- TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	26
2.6.1.- Transformador 220/20 kV T-2.....	26
2.6.2.- Transformador 45/20 kV T-1 y T-3.....	28
2.7.- INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS DE 220 KV.....	30
2.8.- SECCIONADORES.....	32
2.8.1.- Seccionadores de 220 kV.....	32
2.9.- TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD.....	33
2.10.- TRANSFORMADORES DE TENSION.....	34
2.10.1.- Transformadores de tensión capacitivos.....	34
2.10.2.- Transformadores de tensión inductivos.....	35
2.11.- AUTOVÁLVULAS.....	36
2.12.- REACTANCIAS DE PUESTA A TIERRA.....	36
2.13.- RESISTENCIAS.....	38
2.14.- CELDAS DE 45 KV.....	39
2.14.1.- Aparellaje.....	40
2.14.2.- Características de aparellaje.....	41



2.15- CELDAS DE 45 KV.....	43
2.15.1.- Aparellaje.....	44
2.15.2.- Características de aparellaje.....	45
2.16.- SERVICIOS AUXILIARES.....	46
2.16.1.- Servicios auxiliares de C.A.....	46
2.16.2.- Servicios auxiliares de C.C.....	47
2.17.- CUADROS DE CONTROL Y ARMARIOS DE PROTECCIONES.....	49
2.17.1.- Unidades de control.....	49
2.17.2.- Armarios de control y protecciones.....	49
2.18.- MEDIDAS.....	53
2.18.1.- Medida de energía.....	53
2.18.2.- Resto de medidas.....	53
2.19.- TELECONTROL Y COMUNICACIONES.....	54
2.20.- ALUMBRADO.....	54
2.20.1.- Alumbrado exterior.....	54
2.20.2.- Alumbrado interior.....	55
2.21.- SISTEMAS COMPLEMENTARIOS EN EL EDIFICIO.....	55
2.22.- INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA.....	55
2.23.- OBRA CIVIL.....	56
2.23.1.- Explanación y acondicionamiento del terreno.....	56
2.23.2.- Cerramiento perimetral.....	56
2.23.3.- Drenaje de aguas pluviales.....	57
2.23.4.- Accesos y viales interiores.....	57
2.23.5.- Edificio.....	57
2.23.6.- Bancada de transformador.....	58
2.23.7.- Cimentaciones.....	58
2.23.8.- Canalizaciones eléctricas.....	58
3.- CAPÍTULO 3: CÁLCULOS.....	59
3.1.- OBJETO.....	59
3.2.- DATOS DE ENTRADA E HIPOTESIS DE CÁLCULO.....	59
3.3.- METODOLOGÍA O HERRAMIENTA UTILIZADA.....	62
3.4.- DATOS DE SALIDA (RESULTADOS).....	63
3.5.- CONCLUSIÓN Y CUMPLIMIENTO DE RESULTADOS.....	70
4.- CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO.....	73
4.1.- PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	73
4.1.1.- Equipos y materiales.....	73
4.2.- PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	74
4.2.1.- Obra civil.....	74
4.2.2.- Montaje.....	74
4.3.- RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	75
5.- CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	77
6.- CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXO PLANOS.....	81



ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 1. Transporte de energía a través de la red eléctrica.....	13
FIGURA 2. Subestación convencional aislada al aire.....	15
FIGURA 3. Subestación encapsulada o aislada en SF ₆	15
FIGURA 4. Contacto.....	31
FIGURA 5. Precompresión.....	31
FIGURA 6. Arco.....	31
FIGURA 7. Inyección SF ₆	31
FIGURA 8. Reactancia de puesta a tierra.....	37
FIGURA 9. Protecciones propias de la reactancia.....	37
FIGURA 10. Compartimentos de celdas.....	39
FIGURA 11. Frente de celdas.....	42
FIGURA 12. Esquema del SIPCO de la subestación.....	50
FIGURA 13. Armarios de control y protección.....	51
FIGURA 14. Malla de puesta a tierra diseñada en AUTOCAD.....	61
FIGURA 15. Tensiones de paso obtenidos con el programa.....	70
FIGURA 16. Tensiones de contacto obtenidas con el programa.....	71



ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Distancias mínimas.....	20
Tabla 2. Circuitos de corriente alterna del cuadro de SSAA.....	47
Tabla 3. Circuitos de corriente continua del cuadro de SSAA.....	48
Tabla 4. Alimentaciones a 125 Vcc.....	49
Tabla 5. Medidas.....	54
Tabla 6. Datos de líneas aéreas.....	62
Tabla 7. Resultados obtenidos con el programa.....	67
Tabla 8. Resultados de EC y EP del programa.....	68
Tabla 9. Resultados de EC y EP calculados.....	69
Tabla 10. Cumplimiento de EC y EP.....	70



ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 1. Sección mínima cable de PaT (I).....	60
Ecuación 2 Sección mínima cable de PaT (II).....	64
Ecuación 3. Resistividad de puesta a tierra malla con picas (I).....	64
Ecuación 4. Resistividad de puesta a tierra malla sin picas (II).....	64
Ecuación 5. Resistividad de puesta a tierra malla con picas.....	65
Ecuación 6. Resistividad equivalente del terreno.....	65
Ecuación 7. Impedancia equivalente del cable de guarda.....	66
Ecuación 8. Impedancia equivalente línea subterránea.....	66
Ecuación 9. Impedancia equivalente de todas las líneas interconectadas con la subestación	66
Ecuación 10. Intensidad PaT.....	66
Ecuación 11. Intensidad simétrica corregida.....	66
Ecuación 12. Tensión de contacto (I).....	67
Ecuación 13. Tensión de paso (I).....	68
Ecuación 14. Tensión de contacto (II).....	69
Ecuación 15. Tensión de paso (II).....	69



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

Este proyecto fin de carrera tiene como objetivo el diseño de una subestación eléctrica necesaria para la evacuación a la red de tres parques eólicos construidos en Peñaflor de la Hornija Valladolid.

El objetivo principal es acondicionar una subestación eléctrica describiendo sus equipos y sus características técnicas para dar salida a la energía limpia generada por los parques eólicos y poder transportarla y distribuirla por la red.

Con el fin de ahorrar en ejecución y montaje se desestima la opción de montar una subestación tipo GIS, también debido en parte a que no está inmersa dentro de un núcleo urbano; y aunque los armarios de control y protección quedan alojados en edificios, la aparatamenta queda expuesta al exterior, tratándose de una subestación intemperie.

1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del proyecto que se presenta a continuación es generar el mínimo impacto ambiental y optimizar las instalaciones eléctricas, así como su futura explotación, para la evacuación de la energía generada por 3 parques eólicos. Dichos parques eólicos se denominarán Parque Eólico Peñaflor II Parque Eólico Peñaflor III y Parque Eólico Peñaflor IV.

El primero constará de una potencia de 31,5 MW, el segundo y el tercero constará de una potencia de 49 MW.

Se pretende realizar una única subestación transformadora de 220/45/20 kV, para poder evacuar dicha energía a la red.



1.3 JUSTIFICACIÓN

Como parte de la infraestructura eléctrica necesaria para la puesta en servicio de los parques eólicos mencionados en el apartado anterior, se encuentra la construcción de la nueva Subestación transformadora denominada ST Peñaflor (220/45/20 kV), dentro del término municipal de Peñaflor de Hornija.

A dicha subestación le llegarán alineaciones en 20 kV procedentes del parque eólico Peñaflor II, que recogerán una potencia de 31,5 MW, otras alineaciones en 20 kV procedentes del parque eólico Peñaflor III que recogerán una potencia de 49 MW y otras alineaciones en 20 kV procedentes del parque eólico Peñaflor IV que recogerán una potencia de 49 MW.

La subestación tendrá una salida de línea en 220 kV, línea 1 Tordesillas para el Parque Eólico Peñaflor II, una salida de línea en 45 kV línea 2 Tordesillas, evolucionable a 220 kV por si en un futuro se requiere, para el Parque Eólico Peñaflor IV y otra salida de línea en 45 kV línea Mudarra para el Parque Eólico Peñaflor III.

1.4 EMPLAZAMIENTO

La ST Peñaflor 220/45/20 kV está ubicada en la provincia de Valladolid, concretamente en el término municipal de Peñaflor de Hornija, en la parcela 31 polígono 26. Su cota aproximada de explanación se sitúa en los 842 m sobre el nivel del mar. La subestación tendrá una ocupación sobre la parcela de 6670 m².

El emplazamiento exacto de la instalación ampliada queda reflejado en el plano de situación. La superficie catastral de la parcela donde se pretende construir la subestación es de 25875 m²

En consonancia con lo dispuesto en la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, y Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica se describen en la relación anexa, los bienes y derechos afectados por la subestación eléctrica objeto del presente proyecto, al objeto que previos los trámites señalados en la Ley de 16 de diciembre de 1954, de Expropiación Forzosa, sea reconocida la utilidad pública en concreto de la citada instalación. Se puede ver plano de emplazamiento en ANEXO I planos

1.5 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

En este capítulo se ha realizado una introducción del proyecto, definiendo su alcance objetivos y planificación del mismo.

A continuación se hará una descripción de proyecto en el capítulo 2 “Memoria” donde se describirá principalmente lo que es una subestación y la clasificación de las mismas, se definirá topología de la subestación y se detallaran las principales características de la apartamenta que compone la subestación



En el siguiente capítulo, el capítulo 3 “Cálculos”, se presentan los cálculos necesarios para la ejecución de la subestación. En este apartado se procederá a calcular la malla de puesta a tierra de la subestación a partir de los datos iniciales de cortocircuito, impedancias y resistividad y mediante el programa AUTOGROUND se validará comprobando las tensiones de paso y contacto que deben respetarse para la protección y seguridad de las personas en la subestación.

El presupuesto se presenta en el capítulo 4. En él se hace una aproximación de los costes principales de la ejecución de la instalación, así como del coste de la obra civil, de los equipos y de su montaje. También está incluido el presupuesto por la subcontratación de las tareas a realizar.

Se expondrán para terminar las conclusiones obtenidas tras realizar el proyecto

Por último en el Anexo I, planos se incluirán los principales planos y esquemas unifilares que debe contener un Proyecto técnico de una subestación transformadora





CAPÍTULO 2: MEMORIA

2.1 DESCRIPCIÓN DE SUBESTACIÓN

Comenzaremos por una breve presentación de la red eléctrica para luego describir una subestación con sus principales equipos de actuación y a continuación pasaremos a describir brevemente el funcionamiento de un parque eólico.

Presentación de la red eléctrica

El sistema eléctrico se constituye como una red (mallada y/o radial) que permite la producción, transporte y distribución de la energía eléctrica a los usuarios con eficiencia, con calidad y con seguridad. Este sistema, se ha ido complicando y sofisticando con el transcurso de las décadas, debido en gran medida a un aumento progresivo de la demanda de energía.

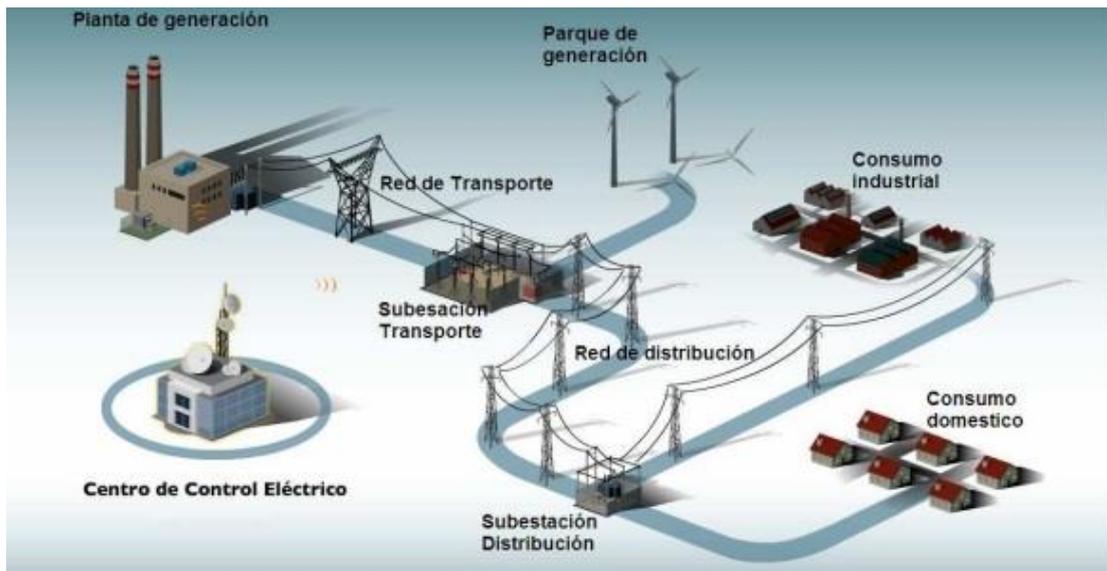


Figura 1 Transporte e energía a través de la red eléctrica



Definición subestación eléctrica

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar el transporte y la distribución de la energía eléctrica. [3]

Su equipo principal es el transformador, y está constituida por elementos de maniobra tales como interruptores y seccionadores

Clasificación, tipos de subestación eléctrica

En cuanto a su funcionalidad podemos clasificar las subestaciones en:

- Subestación de generación
 - Asociadas a centrales generadoras. Dirigen directamente el flujo de potencia al sistema.
- Subestación de transformación
 - Las subestaciones eléctricas elevadoras, situadas en las inmediaciones de las centrales generadoras de energía eléctrica, cuya función es elevar el nivel de tensión, hasta 132, 220 o incluso 400 kV, antes de entregar la energía a la red de transporte.
 - Las subestaciones eléctricas reductoras, reducen el nivel de tensión hasta valores que oscilan, habitualmente entre, 20, 45 ó 66 kV y entregan la energía a la red de distribución. Posteriormente, los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 400 V.
- Subestación de maniobra
 - Conectan varios circuitos (o líneas) para orientar o distribuir el flujo de potencia a diferentes áreas del sistema.

En cuanto a su construcción también se pueden clasificar en:

- Convencionales o aisladas al aire – AIS

La aparatamenta eléctrica, transformadores y juegos de barras se disponen en intemperie, en combinación con elementos estructurales metálicos. Son las subestaciones que se solían construir hace unas décadas en la periferia de las ciudades, para abastecer a éstas, que aparentemente presentan un gran impacto visual y que debido a su configuración se necesitaba una gran cantidad de espacio necesario para su montaje.



- Encapsuladas o aisladas en SF₆ – GIS

La aparamenta eléctrica, transformadores y juegos de barras se disponen en el interior de una o varias edificaciones. Estas subestaciones se construyen más próximas a los núcleos urbanos debido a que el gas SF₆ reduce mucho las distancias entre equipos o elementos en tensión. De este modo no solo se ve una subestación más compacta con menos impacto visual, sino que además se liberan grandes zonas de terreno muy valiosas.



Figura 2: Subestación convencional aislada al aire



Figura 3: Subestación encapsulada o aislada en SF₆



Configuración o topología

Se denomina configuración al arreglo de los equipos electromecánicos constitutivos, o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación, efectuado de tal forma que su operación permita dar a la subestación diferentes grados de confiabilidad, seguridad y flexibilidad de manejo, transformación y distribución de energía. [3]

Cada punto (o nodo) en el sistema tiene diferentes requerimientos de confiabilidad, seguridad y flexibilidad y cada configuración brinda diferentes grados de estas características.

Se pueden diferenciar dos tipos de configuraciones

Una en la que cada circuito tiene un interruptor con la posibilidad de conectarse a una o más barras por medio de seccionadores

- Barra simple
- Barra principal y barra de transferencia
- Doble barra más bypass
- Doble barra más barra de transferencia

Otra en la que los circuitos se conectan a las barras o entre ellas por medio de interruptores

- Anillo
- Interruptor y medio
- Doble barra con doble interruptor

No se va a explicar concretamente cada configuración, está se escoge según sea la funcionalidad de la instalación, obviamente siempre será más fiable y más flexible una doble barra más bypass pero su operación y control será bastante más complejo que una simple barra

2.2 ESQUEMA UNIFILAR

El esquema unifilar simplificado adoptado para las tensiones de 220 kV, 45 kV y 20 kV de esta instalación tendrá lugar en el ANEXO planos. En este esquema unifilar se han representado todos los circuitos principales que forman cada uno de los niveles de tensión, figurando las conexiones existentes entre los diferentes niveles y los elementos principales de cada uno de ellos.

2.2.1 Sistema de 220 KV

Se ha adoptado para la tensión de 220 kV un esquema de dos posiciones de línea y dos posiciones de transformador, actualmente una de las posiciones se utilizará para albergar una posición de 45 kV (que dará servicio al Parque Eólico de Peñaflor IV), las posiciones de 220 kV serán:

- Dos (2) posiciones de línea, una de ellas funcionando a 45 kV.
- Dos (2) posiciones de transformador de potencia, una de ellas funcionando en 45kV.



Aparellaje.

El aparellaje con que se equipa cada posición es el siguiente:

- Posición de línea:
 - Un (1) seccionador trifásico con cuchillas de puesta a tierra para conexión a línea.
 - Tres (3) transformadores de tensión capacitivo.
 - Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Tres (3) transformadores de intensidad.
 - Un (1) seccionador de conexión a barras.

- Posición de transformador:
 - Un (1) seccionador de conexión a barras.
 - Tres (3) transformadores de intensidad.
 - Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Tres (3) pararrayos unipolares.

En cada extremo de cada barra se conectan tres transformadores de tensión inductivos para la medida de tensión, potencia y energía, y alimentación a las protecciones.

2.2.2 Transformador de potencia

- Un transformador trifásico de 220/20 kV, T-2 de 55 MVA, de intemperie, aislado en aceite mineral, con regulación en carga por tomas en el lado de alta tensión.
- Dos transformadores trifásicos de 45/20 kV, T-1 y T-3 de 55 MVA cada uno, aislado en aceite mineral, con regulación en carga por tomas en el lado de alta tensión.

2.2.3 Sistema de 45 kV

Se ha adoptado, para la tensión de 45 kV, diferentes esquemas. Uno de ellos, que dará servicio al Parque Eólico Peñaflor III, se realizará mediante celdas de 45 kV, simple barra en aislamiento SF6. El otro esquema, que dará servicio al Parque Eólico Peñaflor IV como se ha indicado en el apartado 2.2.1. Sistema de 220 kV, se realizará en una posición de intemperie, diseñada con distancias y apartamientos de 220 kV. Quedando de la siguiente manera:

Celdas de 45 kV.

- Dos (2) posiciones de línea.
- Una (1) posición de medida.
- Una (1) posición de transformador.
- Una (1) posición de reserva.

Cada celda va debidamente equipada con el aparellaje necesario, según su función, así como de los equipos de medida y protecciones correspondientes.



Aparellaje intemperie.

El aparellaje con que se equipa en la posición provisional de 45 kV (tendrá aislamiento de 220 kV menos los indicados):

- Posición de línea:
 - Un (1) seccionador trifásico con cuchillas de puesta a tierra para conexión a línea.
 - Un (1) transformador de tensión capacitivo (aislamiento 45 kV).
 - Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Tres (3) transformadores de intensidad (aislamiento 45 kV).
 - Un (1) seccionador de conexión a barras.

- Posición de transformador:
 - Un (1) seccionador de conexión a barras.
 - Tres (3) transformadores de intensidad. (aislamiento 45 kV)
 - Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Tres (3) pararrayos unipolares (aislamiento 45 kV).

2.2.4 Sistema de 20 kV

Celdas 20 kV

Responde al esquema de simple barra y se compone de (25) celdas blindadas aisladas en SF6, repartidas en tres (3) módulos, destinadas a los siguientes servicios:

- Tres (3) celdas de transformador (alimentación al embarrado).
- Quince (15) celdas para salida de líneas.
- Dos (2) celdas de alimentación a transformador de servicios auxiliares y medida.
- Cuatro (4) posiciones de reserva.

Cada celda va debidamente equipada con el aparellaje necesario, según su función, así como de los equipos de medida y protecciones correspondientes.

Transformador de servicios auxiliares

Cada celda de servicios auxiliares alimenta a un transformador trifásico de aislamiento seco.

Se instalarán 2 transformadores de servicios auxiliares de aislamiento seco, con una potencia de 100 kVA $20 \pm 4 \times 2,5\% / 0,420 - 0,242$ kV cada uno, y se instalarán en el interior de la sala de celdas.

2.2.5 Reactancias de puesta a tierra

Para referir a tierra el sistema de 20 kV y dotar a las protecciones de una misma referencia de tensión para detectar faltas a tierra, se instalarán tres (3) reactancias trifásicas de 500 A durante 30 segundos.



Las reactancias (TZ-1, TZ-2 y TZ-3) se conectarán en paralelo con los embarrados de 20 kV de los transformadores de potencia 220/20 kV y 45/20 kV (T-2, T-1 y T-3 respectivamente) y junto a ellos, a través de seccionadores unipolares y su conexión se hará en zig-zag.

2.2.6 Pararrayos de M.T.

Se procederá a instalar un total de tres (3) autoválvulas unipolares de tensión nominal 24 kV, situados lo más cerca posible de las bornas del transformador T-3.

2.2.7 Cuadro de servicios auxiliares de C.A y C.C

-Servicios Auxiliares de Corriente Alterna (C.A.) 0,420 kV

Responde al esquema de simple barra y se alimenta desde el transformador de servicios auxiliares protegido mediante un interruptor automático magnetotérmico.

Del embarrado del cuadro de servicios auxiliares parten diferentes circuitos de C.A. a la tensión de 420 V, protegidos mediante interruptor automático magnetotérmico, de amperaje adecuado a los circuitos a proteger. Dos de las salidas alimentan a dos equipos rectificadores-batería, uno principal y otro de reserva respectivamente, y otra de las salidas alimenta al cuadro de alumbrado.

Desde este cuadro de alumbrado parten varios circuitos, protegidos con interruptores diferenciales del número de polos y poder de corte adecuados a los circuitos a proteger. De esta manera se alimentarán las instalaciones de alumbrado y fuerza del edificio, mediante circuitos independientes, de manera que el fallo de uno de ellos no afecte al resto.

-Servicios Auxiliares de Corriente Continua (C.C.) 125 V

El esquema corresponde a una simple barra seccionada.

La alimentación de corriente continua se realiza mediante dos circuitos desde el cuadro de servicios auxiliares de corriente alterna, a la tensión de 125 V, lo cual se consigue mediante la instalación de dos equipos rectificadores-batería, que transforma la tensión de 0,420 kV C.A. a 125 V C.C.

Todos los circuitos que parten de este cuadro de corriente continua estarán protegidos por interruptores automáticos magnetotérmicos, del amperaje adecuado a los circuitos a proteger.

La llegada a las baterías va a ser mediante seccionadores-fusibles y el resto de salidas será mediante interruptores automáticos magnetotérmicos.

2.2.8 Otras instalaciones

Además de los circuitos y elementos principales descritos en los anteriores apartados, también se ha reflejado en el esquema unifilar de 220, 45 y 20 kV la instalación de sus correspondientes aparatos de medida, mando, control y protecciones necesarios para la



adecuada explotación. Por sus características, estos aparatos son de instalación interior, y para su control y fácil maniobrabilidad, se han centralizado en cuadros situados en el edificio de control y en cubículos destinados a tal fin en las propias celdas de interior.

2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

2.3.1 Niveles de aislamiento

Los materiales que se emplearán en esta instalación serán adecuados y tendrán las características de aislamiento más apropiadas a su función.

El nivel de aislamiento que se ha adoptado, tanto para aparatos como para las distancias en el aire, según viene especificado en el “Reglamento sobre Centrales, Subestaciones y Centros de Transformación”, es el siguiente:

-En 220 kV, que corresponde a un valor normalizado de tensión más elevada para el material de 245 kV, se adopta el nivel de aislamiento nominal máximo, que soporta 1050 kV de cresta a impulso tipo rayo y 460 kV eficaces a frecuencia industrial durante un minuto. [1]

-En 45 kV, que corresponde a un valor normalizado de tensión más elevada para el material de 52 kV, se adopta el nivel de aislamiento nominal máximo, que soporta 250 kV de cresta a impulso tipo rayo y 95 kV eficaces a frecuencia industrial durante un minuto. [1]

-En 20 kV, que corresponden a un valor normalizado de tensión más elevada para el material de 24 kV, se adopta el nivel de aislamiento nominal máximo, que soporta 125 kV de cresta a impulso tipo rayo y 50 kV eficaces a frecuencia industrial durante un minuto. [1]

2.3.2 Distancias mínimas

El vigente “Reglamento sobre Centrales, Subestaciones y Centros de Transformación” en el apartado 3 de la MIE-RAT-12, especifica las normas a seguir para la fijación de las distancias mínimas a puntos en tensión.

Las distancias, en todo caso, serán siempre superiores a las especificadas en dicha norma, las cuales se recogen en la siguiente tabla:

Altitud de la instalación inferior de 1.000 m (cota 842 m):

<i>Tensión nominal</i>	<i>Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo</i>	<i>Distancia mínima fase-tierra en el aire</i>	<i>Distancia mínima entre fases en el aire</i>
220	1050	210	210
45	250	48	48
20	125	22	22

Tabla 1 Distancias mínimas[1]



Sistema de 220 kV

De acuerdo con el nivel de aislamiento adoptado y según lo indicado en las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT-12, para el nivel de tensión de 220 kV, las distancias mínimas fase-tierra y entre fases son 210 cm.

En la subestación transformadora Peñaflor 220/45/20 kV las distancias adoptadas entre ejes de fases y entre ejes y tierra serán de 350 cm para la tensión de 220 kV, superiores a las mínimas exigidas.

Según la instrucción MIE-RAT-15, p.3.1.2., los elementos en tensión no protegidos que se encuentren sobre los pasillos deberán estar a una altura mínima H sobre el suelo, medida en centímetros, $H = 250 + D$, siendo D la distancia expresada en centímetros de las tablas 4 a 6 de la MIE-RAT-12, en función de la tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo para la instalación. [1]

Para el parque de 220 kV, $D=210$ cm. Por lo tanto:

$$H = 250 + 210 = 460 \text{ cm.}$$

La altura mínima del embarrado sobre el suelo será de 460 cm, cumpliéndose, por tanto, la exigencia mencionada anteriormente.

Por otra parte, todos los elementos en tensión, en las zonas accesibles, estarán situados a una altura sobre el suelo superior a 230 cm, considerando en tensión la línea de contacto del aislador con su zócalo o soporte, si éste se encuentra puesto a tierra, cumpliendo de esta forma lo indicado en la instrucción MIE-RAT-15, p.3.1.5.

Distancia entre el cerramiento y las zonas en tensión superior a:

$$B = D + 150 = 210 + 150 = 360 \text{ cm.}$$

Sistema de 45 kV

De acuerdo con el nivel de aislamiento adoptado y según lo indicado en las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT-12, para el nivel de tensión de 45 kV, las distancias mínimas fase-tierra y entre fases son 48 cm.

En la subestación transformadora Peñaflor 220/45/20 kV las distancias mínimas adoptadas entre ejes de fases y entre ejes y tierra serán de 100 cm para la tensión de 45 kV, superiores a las mínimas exigidas.

Según la instrucción MIE-RAT-15, p.3.1.2., los elementos en tensión no protegidos que se encuentren sobre los pasillos deberán estar a una altura mínima H sobre el suelo, medida en centímetros, igual a $H = 250 + D$, siendo D la distancia expresada en centímetros de las tablas 4 a 6 de la MIE-RAT-12, en función de la tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo para la instalación. [1]

Para el parque de 45 kV, $D=48$ cm. Por lo tanto:



$$H = 250 + 48 = 298 \text{ cm.}$$

La altura mínima del embarrado sobre el suelo será de 298cm, cumpliéndose, por tanto, la exigencia mencionada anteriormente.

Por otra parte, todos los elementos en tensión, en las zonas accesibles, estarán situados a una altura sobre el suelo superior a 230 cm, considerando en tensión la línea de contacto del aislador con su zócalo o soporte, si éste se encuentra puesto a tierra, cumpliendo de esta forma lo indicado en la instrucción MIE-RAT-15, p.3.1.5.

Distancia entre el cerramiento y las zonas en tensión superior a:

$$B = D + 150 = 48 + 150 = 198 \text{ cm}$$

En el sistema de 45 kV que se alberga en celdas de 45 kV se utilizan cables subterráneos apantallados y celdas prefabricadas de interior normalizadas por el fabricante, habiendo superado los ensayos tipo correspondientes y siendo sometidas a ensayos específicos en cada suministro.

Sistema de 20 kV

En el sistema de 20 kV se utilizan cables subterráneos apantallados y celdas prefabricadas de interior normalizadas por el fabricante, habiendo superado los ensayos tipo correspondientes y siendo sometidas a ensayos específicos en cada suministro.

En los únicos tramos de embarrado desnudo a montar, que son las salidas de los transformadores de potencia, se mantendrán distancias de 50 cm entre fases.

2.4 ESTRUCTURA METÁLICA

Para el desarrollo y ejecución de la instalación proyectada es necesario el montaje de una estructura metálica que sirva de apoyo y soporte del aparellaje y los embarrados, así como para el amarre de las líneas.

La estructura metálica para esta instalación está compuesta por dos pórticos de entrada de la línea de 220 kV procedente de la subestación ST Tordesillas, de 13,5 m de longitud por 15,50 m de altura, hasta el amarre de dicha línea.

Todo el aparellaje de la instalación eléctrica de intemperie irá sobre soportes metálicos.

Tanto la estructura del pórtico como los soportes del aparellaje se realizarán en base a estructuras tubulares de acero.

Las cimentaciones necesarias para el anclaje de las estructuras se proyectarán teniendo en cuenta los esfuerzos aplicados, para asegurar la estabilidad al vuelco en las peores condiciones.

Toda la estructura metálica prevista será sometida a un proceso de galvanizado en caliente, una vez construida, con objeto de asegurar una eficaz protección contra la corrosión.



Estas estructuras se completan con herrajes y tornillería auxiliares para fijación de cajas de centralización, sujeción de cables y otros elementos accesorios.

La estructura metálica necesaria consta de:

2.4.1 Estructura metálica en 220 kV

- Cuatro (4) columnas destinadas a formar el pórtico de amarre de las líneas de 220 kV.
- Dos (2) vigas para amarre de dicha línea.
- Seis (6) soportes para divisor capacitivo de tensión.
- Dos (2) soportes para seccionador de tres columnas equipado con cuchillas de puesta a tierra.
- Cuatro (4) soportes para interruptor.
- Doce (12) soportes para transformadores de intensidad.
- Cuatro (4) soportes para seccionador de tres columnas para conexión a barras.
- Seis (6) soportes para transformadores de tensión de barras.
- Seis (6) soportes para autoválvulas.
- Cuatro (4) soportes para aisladores de apoyo del embarrado principal.

Las columnas podrán soportar el tiro total previsto de los conductores y cables de tierra, sin que el desplazamiento en sus extremos exceda de 1/150 de su altura.

Las vigas están diseñadas para soportar los tiros longitudinales de los conductores, sin que la flecha horizontal exceda de 1/200 de su luz, y las cargas verticales sin que la flecha en el plano vertical exceda de 1/300 de la luz.

2.4.2 Estructura metálica en 20 kV

- Tres (3) soportes para la reactancias de puesta a tierra, terminales de los cables de potencia.
- Tres (3) soportes para cables de potencia de 20 kV en la salida de cada transformador.
- Bastidores metálicos para celdas en interior de edificio.

En el ANEXO planos, en la implantación general, se puede apreciar un poco la configuración de estas estructuras.



2.5 EMBARRADOS

Los embarrados auxiliares serán elegidos de forma que las temperaturas máximas previstas no provoquen calentamientos por encima de 40 °C sobre la temperatura ambiente.

Asimismo, soportarán los esfuerzos electrodinámicos y térmicos de las corrientes de cortocircuito previstas, sin que se produzcan deformaciones permanentes.

A continuación se reflejan las intensidades nominales y de diseño, tanto en régimen permanente como en condiciones de cortocircuito, apreciándose que se han elegido unos valores para el diseño de embarrados superiores a los nominales con un margen de seguridad suficiente:

- Sistema de 220 kV:
 - Intensidad nominal de la instalación..... 289,01 A
 - Intensidad de cortocircuito de diseño..... 31,5 kA

- Sistema de 45 kV:
 - Intensidad nominal de la instalación..... 706,48 A
 - Intensidad de cortocircuito de diseño..... 31,5 kA

- Sistema de 20 kV:
 - Intensidad nominal de la instalación del P.E. Peñaflores II corresponde a 924 A
 - Intensidad nominal de la instalación del P.E. Peñaflores III corresponde a 1445,08 A
 - Intensidad nominal de la instalación del P.E. Peñaflores IV corresponde a 1445,08 A

2.5.1 Embarrados de 220 kV

Las barras principales de 220 kV estarán constituidas por tubo de aleación de aluminio, de 150/136 mm de diámetro, equivalente a 3.145 mm² de sección nominal, que admite un paso de corriente permanente de 3.378 A.

Este embarrado tubular irá soportado mediante aisladores rígidos montados en soportes anclados a las cimentaciones.

El resto de embarrados (embarrados secundarios o embarrados bajos) se realizarán con tubo de aleación de aluminio, de 100/90 mm de diámetro, equivalente a 1.495 mm² de sección nominal, que admite un paso de corriente de 2.230 A, y cable desnudo de aluminio homogéneo, tipo Gladiolus, de 36 mm de diámetro, equivalente a 766,5 mm² de sección nominal, que admite un paso de corriente permanente de 1.430 A.

La distancia mínima adoptada entre ejes de fase del embarrado principal es de 3,5 m.



2.5.2 Embarrados de 45 kV

La conexión entre las bornas de salida del transformador de potencia y la celda de alimentación al módulo de 45 kV, se hace a través de dos ternas de cable de potencia de aluminio:

- 55 MVA → tipo HEPRZ1 1x300 mm² 26/45 kV y terminales enchufables, que soportan una intensidad máxima de 940 A.

2.5.3 Embarrados de 20 kV

Para cada transformador la conexión entre las bornas de salida del transformador de potencia y la celda de alimentación al módulo de 20 kV, se hace a través de tres ternas de cable de potencia de aluminio:

- 55 MVA → tipo HEPRZ1 1x630 mm² 12/20 kV y terminales flexibles, que soportan una intensidad máxima de 1.640 A por fase.

Los embarrados propios de las celdas cumplen los valores indicados anteriormente.

2.5.4 Piezas de conexión

Con el fin de absorber las variaciones de longitud que se produzcan en los embarrados de 220/45/20 kV por efecto de cambio de temperaturas, se instalarán piezas de conexión elásticas, en los puntos más convenientes, que permitan la dilatación de los tubos sin producir esfuerzos perjudiciales en las bornas del aparellaje.

Las uniones entre bornas de aparellaje y conductores, así como las derivaciones de los embarrados se realizarán mediante piezas de ánodo masivo, 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.

En el sistema de 20 kV, en las zonas en las que se utilice conductor desnudo, se utilizarán uniones de aleación de ánodo masivo con tornillería de acero inoxidable sin embutir y que cumplan las características indicadas anteriormente.

2.5.5 Aisladores soporte de 220 kV

Los embarrados rígidos, principales, se sustentan sobre aisladores soporte del tipo columna de las siguientes características:

-Tipo.....	C8-1050
-Tensión de servicio.....	245 kV
-Tensión soportada bajo lluvia.....	460 kV
-Tensión soportada a onda de choque.....	1050 kV cresta
-Carga de rotura a flexión.....	8.000 N
-Carga de rotura a torsión.....	4.000 N

El número de aisladores soporte a instalar es seis (6).



2.5.6 Aisladores soporte de 20 kV

Los embarrados de 20 kV en la salida de bornas de cada transformador de potencia, se sustentan sobre aisladores de apoyo de las siguientes características

-Tipo.....	C4-125
-Tensión de servicio.....	24 kV
-Tensión soportada bajo lluvia.....	50 kV
-Tensión soportado a onda de choque.....	125 kV cresta
-Carga de rotura a flexión.....	4.000 N
-Carga de rotura a torsión.....	800 Nm

El número de aisladores soporte a instalar es seis (6).

2.6 TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Para la transformación 220/20 kV se ha previsto el montaje de un (1) transformador de potencia con regulación en carga en el lado de alta tensión, trifásico, de columnas, en baño de aceite, de intemperie.

2.6.1 Transformador 220/20 kV T-2

Características constructivas

Las características constructivas esenciales son:

-Tipo de servicio.....	Continuo
-Refrigeración.....	ONAN/ONAF
-Potencia nominal.....	44/55 MVA
-Relación de transformación.....	220/21,5 kV
-Frecuencia.....	50 Hz
-Grupo de conexión.....	YNd11

Ensayos dieléctricos

- Niveles a impulso tipo rayo:

-Primario.....	850 kV
-Secundario.....	125 kV
-Neutro del primario.....	125 kV
- Tensión aplicada durante 1 minuto, 50 Hz:

-Primario.....	360 kV
-Secundario.....	50 kV
-Neutro del primario.....	50 kV

Regulación de tensión

Cada transformador va provisto de regulación de tensión en mediante cambiador de tomas en carga de 19 posiciones de $220 \pm 9 \times 2,500 \text{ kV}$.



Transformadores de intensidad

En bornas de 220 y 20 kV van incorporados transformadores de intensidad, tipo "Bushing", de las siguientes características:

-Transformador:

- Bornas de 220 kV:
 - 3 T/i relación 200/5 A., 20 VA., CL. 0,5
 - 3 T/i relación 200/5 A., 30 VA., 5P20

- Bornas de 20 kV:
 - 3 T/i relación 1.600/5 A, 20 VA, Cl. 0,5
 - 3 T/i relación 1.600/5 A, 30 VA, Cl. 5P20.

-Refrigeración

La refrigeración de los transformadores es ONAN/ONAF mediante radiadores adosados a la cuba y motoventiladores accionados por termostato.

-Protecciones

Las protecciones propias de los transformadores constan del siguiente equipo:

-Dos indicadores magnéticos de nivel de aceite, uno para el aceite del transformador y otro para el aceite del regulador. Cada uno de los indicadores dispone de contacto de alarma de nivel bajo.

-Dos dispositivos liberadores de presión con contactos de alarma y disparo.

-Relé Buchholz de dos flotadores con contacto de alarma y disparo.

-Tres relés de protección para cada fase del conmutador en carga con contacto de disparo y señalización de disparo.

-Termómetro de agujas de contacto indicador de temperatura del aceite del transformador, con cuatro microinterruptores ajustados con los siguientes usos: marcha primer nivel de ventilación forzada, marcha segundo nivel de ventilación forzada, alarma de temperatura, disparo por temperatura.

-Termómetro de agujas de contacto indicador de temperatura de los devanados de alta tensión del transformador, con cuatro microinterruptores ajustados con los siguientes usos: arranque primer nivel de ventilación forzada, arranque segundo nivel de ventilación forzada, alarma de temperatura, disparo por temperatura.

-Termómetro de agujas de contacto indicador de temperatura de los devanados de baja tensión del transformador, con cuatro microinterruptores ajustados con los siguientes usos: arranque primer nivel de ventilación forzada, arranque segundo nivel de ventilación forzada, alarma de temperatura, disparo por temperatura.



-Termostato de indicación de nivel de temperatura del regulador con un contacto de alarma.

2.6.2 Transformador 45/20 kV T-1 y T-3

Para la transformación 45/20 kV se ha previsto el montaje de dos (2) transformadores de potencia con regulación en carga en el lado de alta tensión, trifásico, de columnas, en baño de aceite, de intemperie.

Características constructivas

Las características constructivas esenciales son:

-Tipo de servicio.....	Continuo
-Refrigeración.....	ONAN/ONAF
-Potencia nominal.....	44/55 MVA
-Relación de transformación.....	45/21,5 kV
-Frecuencia.....	50 Hz
-Grupo de conexión.....	YNd11

Ensayos dieléctricos

• Niveles a impulso tipo rayo:	
-Primario.....	250 kV
-Secundario.....	125 kV
-Neutro del primario.....	125 kV
• Tensión aplicada durante 1 minuto, 50 Hz:	
-Primario.....	95 kV
-Secundario.....	50 kV
-Neutro del primario.....	50 kV

Regulación de tensión

Cada transformador va provisto de regulación de tensión en mediante cambiador de tomas en carga de 12 posiciones de 45 + 5x726-6x726 kV.

Transformadores de intensidad (tipo bushing)

En bornas de 45 y 20 kV van incorporados transformadores de intensidad, tipo "Bushing", de las siguientes características:

-Transformador:

- Bornas de 45 kV:
-3 T/i relación 800/5 A., 20 VA., CL. 5P20
- Bornas de 20 kV:
-3 T/i relación 1.600/5 A, 15 VA, Cl. 0,1.



-Refrigeración

La refrigeración de los transformadores es ONAN/ONAF mediante radiadores adosados a la cuba y motoventiladores accionados por termostato.

-Protecciones

Las protecciones propias de los transformadores constan del siguiente equipo:

-Dos indicadores magnéticos de nivel de aceite, uno para el aceite del transformador y otro para el aceite del regulador. Cada uno de los indicadores dispone de contacto de alarma de nivel bajo.

-Dos dispositivos liberadores de presión con contactos de alarma y disparo.

-Relé Buchholz de dos flotadores con contacto de alarma y disparo.

-Tres relés de protección para cada fase del conmutador en carga con contacto de disparo y señalización de disparo.

-Termómetro de agujas de contacto indicador de temperatura del aceite del transformador, con cuatro microinterruptores ajustados con los siguientes usos: marcha primer nivel de ventilación forzada, marcha segundo nivel de ventilación forzada, alarma de temperatura, disparo por temperatura.

-Termómetro de agujas de contacto indicador de temperatura de los devanados de alta tensión del transformador, con cuatro microinterruptores ajustados con los siguientes usos: arranque primer nivel de ventilación forzada, arranque segundo nivel de ventilación forzada, alarma de temperatura, disparo por temperatura.

-Termómetro de agujas de contacto indicador de temperatura de los devanados de baja tensión del transformador, con cuatro microinterruptores ajustados con los siguientes usos: arranque primer nivel de ventilación forzada, arranque segundo nivel de ventilación forzada, alarma de temperatura, disparo por temperatura.

-Termostato de indicación de nivel de temperatura del regulador con un contacto de alarma.



2.7 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS DE 220 KV

Para la apertura y cierre de los circuitos de líneas y transformadores de potencia en carga, se ha previsto la instalación de interruptores automáticos tripolares de SF₆ para intemperie.

Las características más esenciales de estos interruptores son:

-Tensión de servicio.....	245 kV
-Frecuencia.....	50 Hz
-Intensidad nominal de servicio.....	3.150 A
-Poder de corte nominal bajo cto.....	40 kA
-Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz.....	460 kV
-Tensión con onda 1,2/50 μs.....	1050 kV
-Duración nominal de la corriente de cortocircuito.....	3 s
-Ciclo nominal de maniobra.....	O-0,3s-CO-3min-CO
-Tipo de reenganche.....	Trifásico

La cámara de extinción de los interruptores es de gas SF₆ con autosoplado.

Los tres polos de cada interruptor son accionados con un mismo mando motorizado a resortes en la posición de transformador, que se acopla a ellos por medio de transmisiones mecánicas. El aislamiento fase-tierra está formado por un aislador soporte de porcelana y la barra aislante que se encuentra en su interior.

En la posición de línea hay un mando por polo de cada interruptor.

El recinto interno de cada polo está lleno de gas bajo una presión de servicio controlada que garantiza el pleno poder de corte y características de aislamiento hasta una temperatura de, hasta al menos, -30° C sin necesidad de calefacción adicional.

Los interruptores de SF₆ que se instalan son dos (2) en las posiciones de transformador de 220/20 kV y dos (2) en la posición de línea, sumando un total de cuatro (4) interruptores automáticos tripolares de SF₆.

A continuación vemos el funcionamiento de este importante elemento de protección



El interruptor es el mayor y el más importante elemento del sistema constituido por el equipo de protección. [4]

Es responsable de la eliminación final de todas las perturbaciones que se presenten y, además, tiene que realizar todas las maniobras requeridas en una instalación durante el servicio normal. [4]

Para cumplir con estas condiciones, el interruptor debe poseer extrema fiabilidad, tanto eléctrica como mecánicamente.

Según la norma UNE 20104-90/1 el interruptor es un aparato mecánico de conexión, capaz de establecer, soportar e interrumpir la corriente en las condiciones normales de circuito y circunstancialmente las condiciones específicas de sobrecarga en servicio, así como soportar durante un tiempo determinado, en general fracciones de segundo, intensidades anormales específicas del circuito, tales como las de cortocircuito. [4]

En las imágenes que tenemos a la derecha se pueden apreciar las etapas de funcionamiento de interruptor de SF₆ como se produce el arco y como se extingue.

En la figura 5 vemos como contacto principal y contacto de arco están inicialmente cerrado

En la figura 6 tenemos lo que se conoce como pre-compresión que es cuando empiezan abrirse, y el pistón comprime el gas SF₆ en la cámara de presión.

La figura 7 se conoce como periodo de arco. El pistón continúa en movimiento, y una pequeña cantidad de gas es inyectada al arco, con esto va disminuyendo la corriente en el arco y se va enfriando por convección.

Por último en la figura 8 el movimiento de las partes termina y la inyección de gas frío continúa hasta estar completamente abierto los contactos.

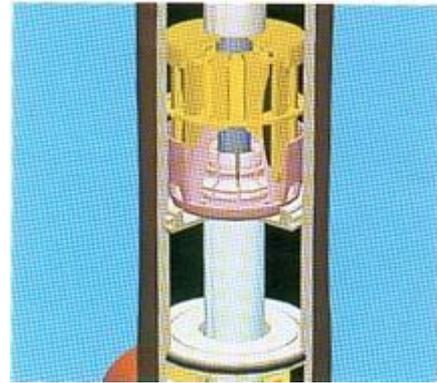


Figura 4: Contacto

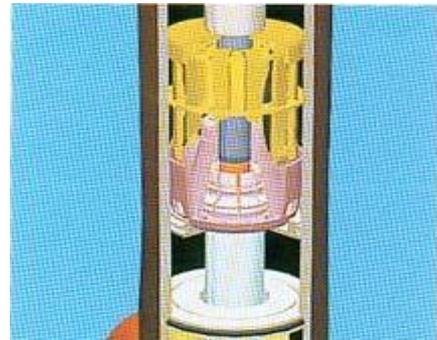


Figura 5: Precompresión

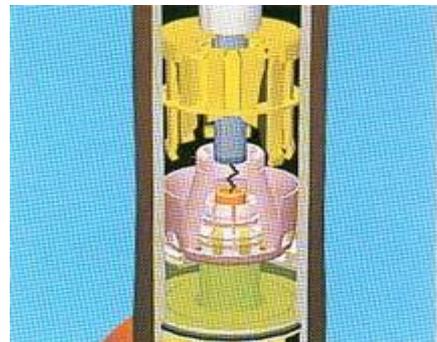


Figura 6: Arco



Figura 7: Inyección SF₆



2.8 SECCIONADORES

Para poder efectuar los necesarios seccionamientos se ha previsto el montaje de seccionadores, en el sistema de 220 kV, de las siguientes características:

2.8.1 Seccionadores de 220 kV

Será del tipo tres columnas, siendo giratoria la columna central.

El seccionador es tripolar de intemperie y está formado por tres polos independientes, montado sobre una estructura común.

Cada fase consta de tres columnas de aisladores. Las dos columnas laterales son fijas y en su extremo superior llevan el contacto fijo y toma de corriente, mientras que, la columna central es giratoria, y en ella va montada la cuchilla realizando dos rupturas por fase.

El accionamiento en las tres columnas rotativas se hace simultáneo con un mando único, mediante un sistema articulado de tirantes de tubo, ajustados, que permiten que la maniobra de cierre y apertura en las tres fases esté sincronizada.

El seccionador instalado en la salida de la línea, lo más alejado de barras, va provisto de unas cuchillas de puesta a tierra, con mando independiente y llevan un enclavamiento mecánico que impide cualquier maniobra estando las cuchillas principales cerradas.

Todos los accionamientos de los seccionadores tendrán mando motorizado.

Las características técnicas principales de estos seccionadores son las siguientes:

- Tensión nominal..... 245 kV
- Nivel de aislamiento a tierra y entre polos:
 - Tensión de ensayo a 50 Hz 1 minuto..... 460 kV
 - Tensión de ensayo a impulso tipo rayo, onda 1,2/50 μ s .. 1050 kV (val. cresta)
- Nivel de aislamiento sobre la distancia de seccionamiento:
 - Tensión de ensayo a 50 Hz 1 minuto..... 530 kV
 - Tensión de ensayo a impulso tipo rayo, onda 1,2/50 μ s.... 1200 kV (val. cresta)
- Intensidad nominal..... 1.600 A
- Intensidad admisible de corta duración (1 s)..... 40 kA (valor eficaz)
- Intensidad admisible (valor de cresta)..... 100 kA

Se instalarán dos (2) seccionadores tripolares de tres columnas con cuchillas de puesta a tierra en cada salida de línea y un total de cuatro (4) seccionadores de conexión a barras, siendo uno (1) para cada posición de línea y uno (1) para cada posición de transformador de 220 kV.



2.9 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

Montados junto a los interruptores de 220 kV se instalarán transformadores de intensidad que alimentarán los circuitos de medida y protección.

Las características principales de estos transformadores son las siguientes:

- Tensión nominal..... 245 kV
- Tensión de servicio nominal..... 220 kV
- Relación de transformación:
 - Posición de transformador 150-300/5-5-5 A
 - Posición de línea 150-300/5-5-5 A
- Potencias y clases de precisión:
 - Arrollamiento de medida (facturación) 10 VA Cl. 0,2 S
 - Arrollamiento de medida..... 30 VA Cl. 0,5
 - Arrollamiento de protección..... 50 VA 5P20
 - Arrollamiento de protección..... 50 VA 5P20
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 minuto, sobre el arrollamiento primario460 kV
- Tensión de prueba a onda de choque tipo 1,2/50 μ s..... 1050 kV cresta
 - Sobreintensidad admisible en permanencia1,2 x In primaria

En total se instalarán seis (6) transformadores de intensidad de las características mencionadas, tres (3) para la posición de línea de 220 kV, y tres (3) para la posición de transformador de 220 kV.

Montados en las dos posiciones de 45 kV con aislamiento en 220 kV, junto a los interruptores se instalarán transformadores de intensidad que alimentarán los circuitos de medida y protección.

Las características principales de estos transformadores son las siguientes:

- Tensión nominal..... 52 kV
- Tensión de servicio nominal..... 45 kV
- Relación de transformación:
 - Posición de transformador y línea..... 700-1500/5-5 A
- Potencias y clases de precisión:
 - Arrollamiento de medida..... 30 VA Cl. 0,5
 - Arrollamiento de protección 50 VA 5P20
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 minuto, sobre el arrollamiento primario 95 kV
- Tensión de prueba a onda de choque tipo 1,2/50 μ s..... 250 kV cresta
- Sobreintensidad admisible en permanencia..... 1,2 x In primaria

En total se instalarán seis (6) transformadores de intensidad de las características mencionadas tres (3) para la posición de línea de 45 kV con aislamiento 220 kV y tres (3) para la posición de transformador de 45 kV con aislamiento 220 kV.

Los transformadores de intensidad para el sistema de 20 kV se describen en el apartado “Celdas de Media Tensión”.



2.10 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Para alimentar los diversos aparatos de medida y protección se ha previsto la instalación de los siguientes transformadores de tensión.

2.10.1 Transformadores de tensión capacitivos

En la posición de línea de 220 kV se instalarán tres transformadores de tensión capacitivos.

Las características eléctricas principales de estos transformadores son las siguientes:

- Frecuencia 50 Hz
- Tensión de aislamiento nominal 245 kV
- Tensión de servicio nominal 220 kV
- Relación de transformación 220: $\sqrt{3}$ /0,110: $\sqrt{3}$ -110 kV
- Primer arrollamiento 30 VA Cl. 0,5 - 3P
- Segundo arrollamiento 30 VA Cl. 05 – 3P
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 min. 460 kV
- Tensión de prueba con onda de choque 1,2/50 μ s 1050 kV

El número de transformadores de tensión capacitivos a instalar es de tres (3) situados en la entrada de línea de 220 kV.

En la posición de línea de 45 kV con aislamiento en 220 kV se instalará un transformador de tensión capacitivo en la fase central.

Las características eléctricas principales de este transformador son las siguientes:

- Frecuencia..... 50 Hz
- Tensión de aislamiento nominal..... 52 kV
- Tensión de servicio nominal..... 45 kV
- Relación de transformación..... 45: $\sqrt{3}$ /0,110: $\sqrt{3}$ -110 kV
- Primer arrollamiento..... 15 VA Cl. 0,2
- Segundo arrollamiento.....50 VA Cl. 3P
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 min..... 95 kV
- Tensión de prueba con onda de choque 1,2/50 μ s..... 250 kV

El número de transformadores de tensión capacitivos a instalar es de uno (1) situado en la fase central de la entrada de línea de 45 kV con aislamiento 220 kV.



2.10.2 Transformadores de tensión inductivos

En uno de los extremos del embarrado principal se instalarán tres (3) transformadores de tensión inductivos, cuyas características eléctricas esenciales son:

- Frecuencia..... 50 Hz
- Tensión de aislamiento nominal..... 245 kV
- Tensión de servicio nominal..... 220 kV
- Relación de transformación:
 - Primer arrollamiento..... 220: $\sqrt{3}$ / 0,110: $\sqrt{3}$ kV
 - Segundo arrollamiento..... 220: $\sqrt{3}$ / 0,110: $\sqrt{3}$ kV
 - Tercer arrollamiento..... 220: $\sqrt{3}$ / 0,110 kV
- Potencias y clase de precisión (potencias simultáneas arrollamientos secundarios 1 y 2)
 - Primer arrollamiento 25 VA Cl. 0,2
 - Segundo arrollamiento..... 130 VA Cl. 0,5 - 3P
 - Tercer arrollamiento..... 150 VA Cl. 3P
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 min..... 460 kV
- Tensión de prueba con onda de choque 1,2/50 μ s..... 1050 kV

El número de transformadores de tensión inductivos a instalar es tres (3), situados en uno de los extremos del embarrado de 220 kV.

En el otro extremo del embarrado principal se instalarán tres (3) transformadores de tensión inductivos, cuyas características eléctricas esenciales son:

- Frecuencia..... 50 Hz
- Tensión de aislamiento nominal..... 52 kV
- Tensión de servicio nominal..... 45 kV
- Relación de transformación:
 - Primer arrollamiento 45: $\sqrt{3}$ / 0,110: $\sqrt{3}$ kV
 - Segundo arrollamiento..... 45: $\sqrt{3}$ / 0,110: $\sqrt{3}$ kV
 - Tercer arrollamiento 45: $\sqrt{3}$ / 0,110 kV
- Potencias y clase de precisión (potencias simultáneas arrollamientos secundarios 1 y 2)
 - Primer arrollamiento..... 20 VA Cl. 0,2
 - Segundo arrollamiento..... 100 VA Cl. 0,5 - 3P
 - Tercer arrollamiento..... 100 VA Cl. 0,5 - 3P
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante 1 min. 95 kV
- Tensión de prueba con onda de choque 1,2/50 μ s..... 250 kV

El número de transformadores de tensión inductivos a instalar es tres (3), situados en uno de los extremos del embarrado.



2.11 AUTOVÁLVULAS

Para proteger la instalación contra las sobretensiones de origen atmosférico, o las que por cualquier otra causa pudieran producirse, se ha proyectado el montaje de un juego de tres pararrayos tipo autoválvula, conectados en derivación de los embarrados de 220 y 45 kV, en cada una de las dos posiciones de transformador de potencia.

Las características principales de las autoválvulas previstas son:

Tensión 220 kV.

- Tensión nominal 190 kV
- Intensidad nominal de descarga 10 kA

Las autoválvulas a utilizar serán poliméricas.

Se instalarán un total de tres (3) autoválvulas en 220 kV, en el transformador (T-2).

Tensión 45 kV.

- Tensión nominal 42 kV
- Intensidad nominal de descarga 10 kA

Las autoválvulas a utilizar serán poliméricas.

Se instalarán un total de seis (6) autoválvulas en 45 kV, en los transformadores (T-1 y T-3).

2.12 REACTANCIAS DE PUESTA A TIERRA

Se instalarán tres (3) reactancias trifásicas de puesta a tierra, en baño de aceite, conectadas al sistema de 20 kV de los tres transformadores de potencia:

- Tensión nominal..... 24 kV
- Frecuencia..... 50 Hz
- Grupo de conexión.....Zig-Zag
- Intensidad de defecto a tierra por el neutro..... 500 A
- Duración del defecto a tierra por el neutro..... 30 s
- Aislamiento de partes activas.....baño de aceite mineral
- Refrigeración..... ONAN
- Tensión soportada con onda tipo rayo 1,2/50 μ s..... 125 kV
- Tensión de ensayo a 50 Hz..... 50 kV

En cada una de las fases y en el neutro lleva incorporados transformadores de intensidad tipo Bushing para protecciones, con las siguientes características:

- En Fases: 3 T/i tipo BR, relación 300/5 A, 15 VA 5P20
- En Neutro: 1 T/i tipo BR, relación 300/5 A, 15 VA, 5P20

Las protecciones propias de la reactancia son termómetro, relé Buchholz y nivel anormal de aceite.



Como protección de sobreintensidad en las fases se emplea un relé trifásico, instantáneo, y para la protección de sobreintensidad homopolar, un relé de acción diferida y tiempo inverso.

En las siguientes figuras se pueden observar la reactancia de PaT y sus protecciones.



Figura 8: Reactancia de puesta a tierra

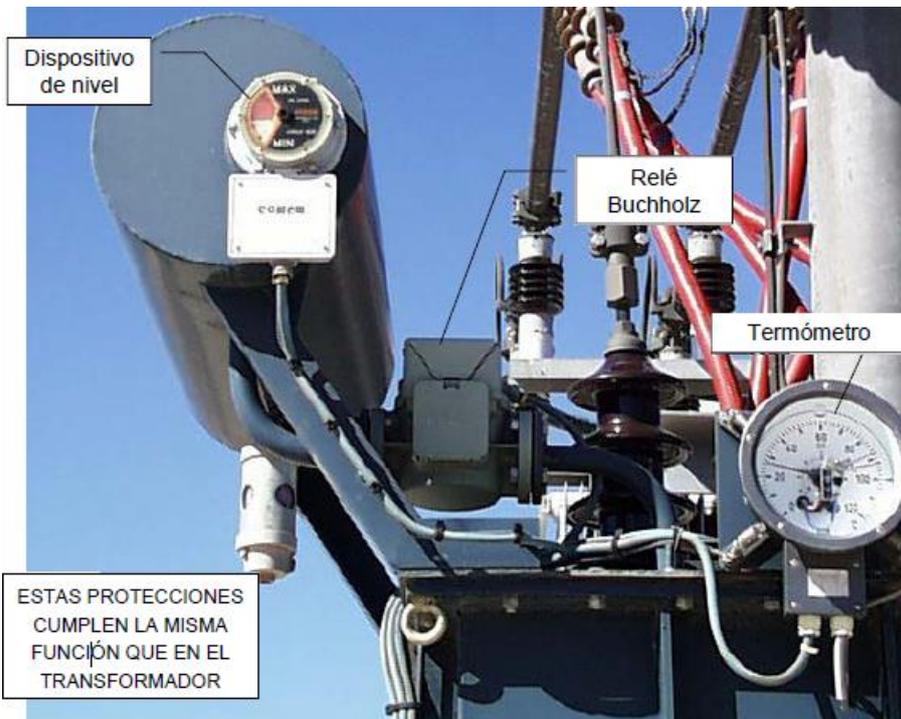


Figura 9: Protecciones propias de la reactancia



2.13 RESISTENCIAS

En serie con el neutro de la reactancia, se instalará una resistencia de puesta a tierra. Físicamente se ubicará, junto al transformador y su reactancia.

Las características principales de la resistencia son:

- Tipo.....Autoventilada con envolvente metálica
- Tensión nominal..... 20 kV
- Frecuencia..... 50 Hz
- Valor óhmico nominal 20 °C..... $20 \pm 10\%$
- Corriente de fallo nominal.....500 A
- Duración del defecto a tierra..... 15 Segundos

La resistencia de puesta a tierra de neutro de transformador está formada por parrillas estampadas de acero cromo níquel, AISI-304 (19%Cr, 10% Ni, contenido en C, del 0.06% máximo), unidas entre sí mediante soldadura por puntos y aisladas por separadores de cerámica térmica.

La resistencia estará formada por un conjunto de bloques unitarios que se montarán sobre un bastidor que forma parte de la caja que protegerá la parte activa de la resistencia de agentes exteriores, lluvia, polvo, etc. (Protección IP23).

La envoltura metálica será de chapa de acero galvanizada según la norma UNE 30-130-91, equivalente a EN 10 142 (espesor galvanizado 275 g/m²), fácilmente desmontable con puertas, para proceder a revisiones oculares, teniendo el conjunto suficiente rigidez para su traslado y disponiendo de dos cáncamos para poder ser suspendido.

La parte inferior de la resistencia irá provista de una chapa perforada que impedirá el paso de roedores, pájaros, etc.

También se dispondrá de dos terminales para puesta a tierra, dependiendo su tamaño de la sección de cable que vayan a conectar.

Cada uno de los bloques unitarios estará formado por dos espárragos aislados con micafofolio, que soportarán las parrillas unidos en sus extremos a dos cabezales soporte y aislados de éstos mediante aisladores de malamina.

Cada una de las columnas de bloques unitarios que componen el total de la resistencia estará aislada del bastidor general mediante 4 aisladores de KV tensión en servicio.

La conexión eléctrica de la resistencia al transformador y al lado de tierra, será realizada por medio de pasamuros, o directamente entrando a través de prensaestopas colocados en el fondo de la caja.



2.14 CELDAS DE 45 KV

Las características constructivas de estas celdas son de tipo encapsulado metálico, aislamiento en SF₆, para instalación en interior.

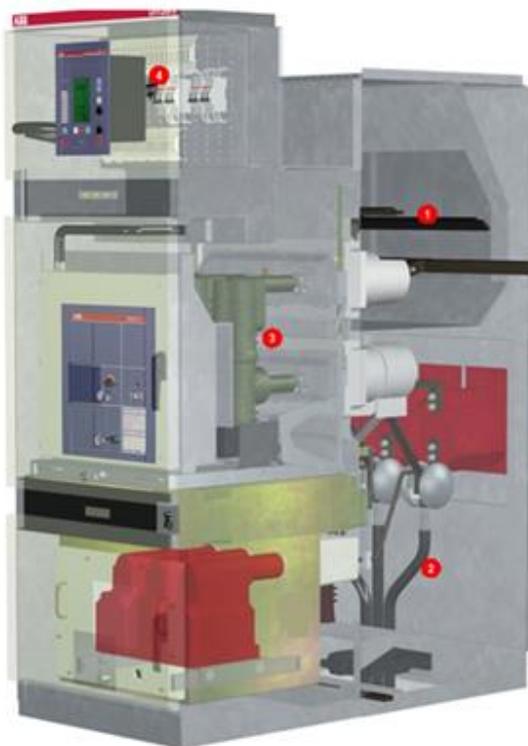
La utilización del SF₆ como medio de aislamiento confiere a estas celdas una serie de ventajas, como dimensiones reducidas, contaminación atmosférica, polvo, alta fiabilidad y disponibilidad.

Las celdas están fabricadas de acuerdo a la norma CEI 298 y cumplen con la denominación de “aparataje blindada”. Son del tipo “fases agrupadas”, con un 95% de gas y resto, 5%, aire.

Las celdas se instalarán agrupadas constituyendo un módulo con la siguiente distribución:

- Dos (2) celdas de línea.
- Una (1) celda de transformador (alimentación al embarrado).
- Una (1) celda de medida.
- Una (1) celda de reserva.

Cada celda consta en esencia de una serie de compartimentos



- 1. Compartimento de embarrado principal.**
- 2. Compartimento de conexión de cables.**
- 3. Compartimento de interruptor en SF₆.**
- 4. Compartimento de baja tensión.**

Figura 10: Compartimentos de celdas



Compartimento de embarrado principal:

Este compartimento está situado en la parte superior de la celda.

Este compartimento utiliza gas SF₆ como medio de aislamiento y en su interior se encuentran los siguientes elementos:

- Embarrado interior y conexiones.
- El seccionador y seccionador de puesta a tierra.

Compartimento de conexión de cables:

Está situado en la parte baja de la celda, con acceso desde la zona trasera y contiene:

- Zócalos adecuados para la conexión de los conectores de media tensión.
- Conectores rectos.
- Bridas de sujeción individual de cada cable de potencia.
- Zócalo para transformadores de tensión enchufables.

Compartimento de interruptor:

Este compartimento utiliza gas SF₆ como agente aislante y contiene el interruptor automático, está situado en la parte central de la celda y a él se conectan los cables de potencia y el embarrado general a través de pasatapas.

Compartimento de baja tensión:

Este compartimento se encuentra en la parte superior de la celda y se encuentra separado de la parte de media tensión. Contienen los equipos los elementos auxiliares de protección y control en baja tensión.

2.14.1 Aparellaje

Las características constructivas de cada celda son análogas, variando únicamente el aparellaje instalado en cada una de ellas de acuerdo con las necesidades para cada tipo de servicio.

El aparellaje con que va dotado cada tipo de celda es el siguiente:

Celda de acometida de transformador de potencia.

- Un (1) interruptor automático.
- Tres (3) transformadores de intensidad.
- Un (1) seccionador tripolar de tres posiciones con puesta a tierra.
- Tres (3) terminales unipolares.
- Tres (3) Detectores de tensión de fase



Celda de entrada de línea.

- Un (1) interruptor automático.
- Tres (3) transformadores de intensidad.
- Un (1) seccionador tripolar de puesta a tierra.
- Tres (3) terminales unipolares.
- Tres (3) Detectores de tensión de fase

Celda de medida.

- Tres (3) transformadores de tensión inductivos.
- Tres (3) Detectores de tensión de fase

2.14.2 Características del aparellaje.

Las características eléctricas del aparellaje descrito para cada celda son las siguientes:

Interruptores

- Tensión nominal..... 45 kV
- Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz..... 95 kV
- Tensión de ensayo onda de choque 1,2/50µs..... 250 kV
- Intensidades nominales:
 - Celdas de línea..... 1.250 A
 - Celdas de transformador..... 2.000 A
- Poder de corte simétrico:
 - Celdas de línea 25 kA
 - Celdas de transformado..... 25 kA
- Aislamiento.....en SF6

Transformadores de intensidad

- Intensidades primarias nominales:
 - Celdas de línea 300-600 A
 - Celdas de transformador 750-1.500 A
- Intensidades secundarias nominales:
 - Celdas de línea..... 5 A
 - Celdas de transformador..... 5-5-5 A
- Potencias y clases de precisión:
 - Celdas de línea:
 - Primer núcleo..... 10 VA 5P20
 - Celdas de transformador:
 - Primer núcleo..... 10 VA Cl. 0,2s
 - Segundo núcleo..... 20 VA 5P20
 - Tercer núcleo..... 10 VA Cl. 0,5*
- Tensión nominal de aislamiento..... 52 kV



Transformadores de tensión

- Tensión máxima de servicio..... 52 kV
- Relación..... 45: $\sqrt{3}/0,110$: $\sqrt{3}$ - $0,110\sqrt{3}$ kV - $0,110:3$ kV
- Potencias y clases de precisión:

- Primer núcleo 10 VA Cl. 0,2
- Segundo núcleo..... 50 VA Cl.0,5-3P
- Tercer núcleo 50 VA Cl.3P

Seccionadores de puesta a tierra

Los seccionadores de puesta a tierra son de tres posiciones (Abierto-Cerrado-PAT) con mando manual.

Terminales para cables

- Conectores acodados y atornillados en T de 52 kV 1.250 A.



Figura 11: Frente de celdas



2.15 CELDAS DE 20 KV

Las características constructivas de estas celdas son de tipo encapsulado metálico, aislamiento en SF₆, para instalación en interior. La utilización del SF₆ como medio de aislamiento confiere a estas celdas una serie de ventajas, como dimensiones reducidas, contaminación atmosférica, polvo, alta fiabilidad y disponibilidad.

Las celdas están fabricadas de acuerdo a la norma CEI 298 y cumplen con la denominación de “aparamenta blindada”. Son del tipo “fases agrupadas”, con un 95% de gas y resto, 5%, aire.

Las celdas se instalarán agrupadas constituyendo un módulo con la siguiente distribución:

- Módulo 1 para la conexión del Parque Eólico Peñaflor IV, compuesto por:
 - Cinco (5) celdas de línea.
 - Una (1) celda de transformador T-1 (alimentación al embarrado).
 - Una (1) celda de alimentación a transformador de servicios auxiliares y medida.
 - Una (1) celda de reserva
- Módulo 2 para la conexión del Parque Eólico Peñaflor II, compuesto por:
 - Cinco (5) celdas de línea.
 - Una (1) celda de transformador T-2 (alimentación al embarrado).
 - Una (1) celda de medida.
 - Dos (2) celda de reserva
- Módulo 3 para la conexión del Parque Eólico Peñaflor III, compuesto por:
 - Cinco (5) celdas de línea.
 - Una (1) celda de transformador T-3 (alimentación al embarrado).
 - Una (1) celda de alimentación a transformador de servicios auxiliares y medida.
 - Una (1) celda de reserva

Cada celda consta en esencia de una serie de compartimentos:

Compartimento de embarrado principal:

Este compartimento está situado en la parte superior de la celda.

Este compartimento utiliza gas SF₆ como medio de aislamiento y en su interior se encuentran los siguientes elementos:

- Embarrado interior y conexiones.
- El seccionador y seccionador de puesta a tierra.

Compartimento de interruptor:

Este compartimento utiliza gas SF₆ como agente aislante y contiene el interruptor automático, está situado en la parte central de la celda y a él se conectan los cables de potencia y el embarrado general a través de pasatapas.



Compartimento de baja tensión:

Este compartimento se encuentra en la parte superior de la celda y se encuentra separado de la parte de media tensión. Contienen los equipos los elementos auxiliares de protección y control en baja tensión.

Compartimento de conexión de cables:

Está situado en la parte baja de la celda, con acceso desde la zona trasera y contiene: Zócalos adecuados para la conexión de los conectores de media tensión.

Conectores rectos.

- Bridas de sujeción individual de cada cable de potencia.
- Zócalo para transformadores de tensión enchufables.
- Transformadores toroidales de intensidad.

2.15.1 Aparellaje

Las características constructivas de cada celda son análogas, variando únicamente el aparellaje instalado en cada una de ellas de acuerdo con las necesidades para cada tipo de servicio.

El aparellaje con que va dotado cada tipo de celda es el siguiente:

Celda de acometida de transformador de potencia.

- Un (1) interruptor automático desenchufable.
- Tres (3) transformadores de intensidad.
- Un (1) seccionador tripolar de tres posiciones con puesta a tierra.
- Nueve (9) terminales unipolares.
- Tres (3) Detectores de tensión de fase

Celda de entrada de línea.

- Un (1) interruptor automático desenchufable.
- Tres (3) transformadores de intensidad.
- Un (1) seccionador tripolar de puesta a tierra.
- Tres (3) terminales unipolares.
- Tres (3) Detectores de tensión de fase

Celda de servicios auxiliares y medida.

- Tres (3) fusibles calibrados en A.T. (6,3 A / 24 kV).
- Un (1) interruptor-seccionador en carga, mando manual de 3 posiciones abierto-cerrado-spt.
- Tres (3) terminales unipolares.
- Tres (3) transformadores de tensión inductivos.
- Tres (3) Detectores de tensión de fase



2.15.2 Características del aparellaje.

Las características eléctricas del aparellaje descrito para cada celda son las siguientes:

Interruptores

- Tensión nominal..... 24 kV
- Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz..... 50 kV
- Tensión de ensayo onda de choque 1,2/50 μ s..... 125 kV
- Intensidades nominales:
 - Celdas de línea 630 A
 - Celdas de transformador 1.600 A
- Poder de corte simétrico:
 - Celdas de línea 25 kA
 - Celdas de transformador 25 kA
- Aislamiento.....en SF6

Transformadores de intensidad

- Intensidades primarias nominales:
 - Celdas de línea..... 300-600 A
 - Celdas de transformador..... 750-1.500 A
- Intensidades secundarias nominales:
 - Celdas de línea..... 5-5-5 A
 - Celdas de transformador..... 5-5-5 A
- Potencias y clases de precisión
 - Celdas de línea:
 - Primer núcleo..... 10 VA 5P20
 - Segundo núcleo..... 15 VA Cl. 0,5
 - Tercer núcleo..... 10 VA Cl. 0,2s
 - Celdas de transformador:
 - Primer núcleo..... 10 VA Cl. 0,2s
 - Segundo núcleo..... 20 VA 5P20
 - Tercer núcleo..... 10 VA Cl. 0,5*
 - Celdas de partición:
 - Primer núcleo..... 20 VA 5P20
 - Segundo núcleo..... 15 VA Cl. 0,5
- Tensión nominal de aislamiento..... 24 kV

Transformadores de tensión

- Tensión máxima de servicio..... 24 kV
- Relación..... 22: $\sqrt{3}/0,110$: $\sqrt{3} - 0,110$: $\sqrt{3} \text{ kV} - 0,110:3 \text{ kV}$
- Potencias y clases de precisión:
 - Primer núcleo 10 VA Cl. 0,2
 - Segundo núcleo 15 VA Cl.0,5-3P
 - Tercer núcleo..... 50 VA Cl.3P



Seccionadores de puesta a tierra

Los seccionadores de puesta a tierra son de tres posiciones (Abierto-Cerrado-PAT) con mando manual.

Terminales para cables

-Conectores acodados y atornillados en T de 24 kV 630 A.

2.16 SERVICIOS AUXILIARES

Los servicios auxiliares de la Subestación estarán atendidos necesariamente por los dos sistemas de tensión (c.a. y c.c.). Para la adecuada explotación del centro, se instalarán sistemas de alimentación de corriente alterna y de corriente continua, según necesidades, para los distintos componentes de control protección y medida.

Para el control y operatividad de estos servicios auxiliares de c.a. y c.c. se ha dispuesto el montaje de un cuadro de centralización de aparatos formado por bastidores modulares a base de perfiles y paneles de chapa de acero.

El cuadro consta de dos zonas diferenciadas e independientes, donde se alojan respectivamente los servicios de corriente alterna y corriente continua.

Cada servicio está compartimentado independientemente y tiene su acceso frontal a través de las puertas con cerradura en las que se ha fijado el esquema sinóptico.

2.16.1 Servicios Auxiliares de C.A.

- Transformador de servicios auxiliares

Para disponer de estos servicios auxiliares se ha previsto la instalación de dos transformadores de 100 kVA, que se montarán en el interior de las salas de celdas, en un armario de chapa metálica similar al de las celdas. Cada transformador se conecta a su correspondiente celda de 20 kV de alimentación a servicios auxiliares y, a su vez, alimenta en baja tensión el cuadro de servicios auxiliares situado en el edificio de mando y control.

Las características de estos transformadores son:

- Trifásico sumergido en aceite
- Potencia nominal..... 100 kVA
- Tensión primaria..... 20±4x2,5% kV
- Tensiones secundarias..... 0,420-0,242 kV
- Conexión..... Triángulo / Estrella
- Grupo de conexión..... Dyn11



- Interruptor automático.

A la entrada del cuadro de servicios auxiliares se colocará un seccionador automático de corte omnipolar, cuyas características se indican a continuación:

- Mando..... Eléctrico
- In..... 160 A
- Tensión..... 380 V
- Icc..... 31,5 KA
- R..... 160 Ohmios

- Circuitos de C.A.

Los circuitos de alimentación de corriente alterna que parten del cuadro de servicios auxiliares son los siguientes:

CIRCUITO	DESTINO	PROTECCIÓN
A01	RECTIFICADOR BATERÍA 1 125 V C/C	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
A02	RECTIFICADOR BATERÍA 1 125 V C/C	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
A03	RECTIFICADOR BATERÍA 48V C/C	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
A04	FUERZA Y CONTROL T-1	INT. MAGNETOTÉRMICO 40 A
A05	FUERZA Y CONTROL T-2	INT. MAGNETOTÉRMICO 40 A
A06	FUERZA Y CONTROL T-3	INT. MAGNETOTÉRMICO 40 A
A07	FUERZA Y CONTROL L-1	INT. MAGNETOTÉRMICO 40 A
A08	FUERZA Y CONTROL L-2	INT. MAGNETOTÉRMICO 40 A
A09	RESERVA INTERRUPTOR	MAGNETOTÉRMICO 40 A
A10	RESERVA INTERRUPTOR	MAGNETOTÉRMICO 40 A
A11	RESERVA INTERRUPTOR	MAGNETOTÉRMICO 40 A
A12	CALEFACCION PARQUE DE 220 KV	INT. MAGNETOTÉRMICO 20 A
A13	CALEFACCION CELDAS DE 20 KV	INT. MAGNETOTÉRMICO 20 A
A14	SIPCO/UCS	INT. MAGNETOTÉRMICO 16 A
A15	COMUNICACIONES	INT. AUTOMÁTICO 16 A
A16	REPARTIDOR DE FIBRA OPCTICA	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
A17	ARMARIO DE MEDIDA	INT. MAGNETOTÉRMICO 16 A
A18	CONTRAINCENDIOS	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
A19	ANTIINTRUSISMO	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
A20	TOMAS DE FUERZA	DIFERENCIAL 63 a 300 mA
A21	AIRE ACONDICIONADO	DIFERENCIAL 63 a 300 mA
A22	CALEFFACIÓN	DIFERENCIAL 40 a 300 mA
A23	VENTILACIÓN SALA CELDAS 20 KV	DIFERENCIAL 40 a 300 mA
A24	ALUMBRADO EDIFICIO	DIFERENCIAL 40 a 300 mA
A25	ALUMBRADO EXTERIOR	DIFERENCIAL 40 a 300 mA

Tabla 2 circuitos de corriente alterna del cuadro de SSAA

2.16.2 Servicios Auxiliares de C.C.

Para la tensión de corriente continua se ha proyectado la instalación de dos equipos compactos rectificador-batería de 125 Vcc, que funcionarán en paralelo alimentando cada uno todos los servicios (control, fuerza y protecciones).



Los dos equipos de 125 Vcc funcionan ininterrumpidamente y durante el proceso de carga y flotación su funcionamiento responde a un sistema prefijado que actúa automáticamente sin necesitar de ningún tipo de vigilancia o control, lo cual da mayor seguridad en el mantenimiento de un servicio permanente.

Además de los equipos mencionados anteriormente se instalará una fuente de alimentación conmutada para los equipos de comunicaciones, que se alimentará a la tensión de 125 Vcc y tendrá una tensión de salida de 48 Vcc.

Los circuitos de alimentación de corriente continua que parten del cuadro de servicios auxiliares son los siguientes:

CIRCUITO	DESTINO	PROTECCIÓN
C01	RESERVA	INT. MAGNETOTÉRMICO 50 A
C02	MOTOR INTERRUPTORES	INT. MAGNETOTÉRMICO 50 A
C03	MANDO PRINCIPAL 220 KV	INT. MAGNETOTÉRMICO 15 A
C04	UCS/SIPCO ALIMENTACIÓN PRINCIPAL	INT. MAGNETOTÉRMICO 40 A
C05	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 20 KV MODULO 1	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C06	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 30 KV MODULO 2	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C07	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 30 KV MODULO 3	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C08	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 30 KV MODULO 4	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C09	MANDO CUADRO SSAA C/A	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C10	ARMARIO DE MEDIDA	INT. MAGNETOTÉRMICO 6 A
C11	RESERVA	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C12	ALIMENTACIÓN VOLTÍMETRO DIGITAL	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C13	CONVERTIDOR 125/48 V C/C	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C14	RESERVA	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A

Tabla 3 circuitos de corriente continua del cuadro de SSAA



A partir del equipo secundario de corriente continua parten las siguientes alimentaciones a 125 Vcc.:

CIRCUITO	DESTINO	PROTECCION
C01	EQUIPO RESERVA MANDO 2ª BOBINA	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C02	UCS/SIPCO ALIMENTACIÓN SECUNDARIA	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C03	ALIMENTACIÓN 2º MANDO CELDAS 30 KV MODULO 1	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C04	RESERVA	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C05	RESERVA	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C06	RESERVA	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C07	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 20 KV MODULO 1	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C08	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 20 KV MODULO 2	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C09	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 20 KV MODULO 3	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C10	ALIMENTACIÓN MANDO CELDAS 20 KV MODULO 4	INT. MAGNETOTÉRMICO 25 A
C11	ALIMENTACIÓN VOLTÍMETRO DIGITAL	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C12	SEÑALIZACIÓN CELDAS 20 KV MODULO 1	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C13	SEÑALIZACIÓN CELDAS 20 KV MODULO 2	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C14	SEÑALIZACIÓN CELDAS 20 KV MODULO 3	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A
C15	SEÑALIZACIÓN CELDAS 20 KV MODULO 4	INT. MAGNETOTÉRMICO 10 A

Tabla 4 Alimentaciones a 125 Vcc

2.17 CUADROS DE CONTROL Y ARMARIOS DE PROTECCIONES

El mando y control de la subestación transformadora, así como los equipos de protección y automatismo necesarios para la misma, se instalarán en armarios constituidos por paneles de chapa de acero y un chasis formado con perfiles y angulares metálicos del mismo material.

2.17.1 Unidades de Control.

El mando y control de la subestación es de tipo digital y está constituido por:

- Una Unidad de Control de Subestación (UCS) dispuesta en un armario de chapa de acero, en el que se ubicarán, además de la unidad de control propiamente dicha, una pantalla y un teclado en el frente, un reloj de sincronización GPS, una unidad de control para la adquisición de las señales de los servicios auxiliares y una bandeja para la instalación de los módem de comunicación con el Telemando.
- Una Unidad de Control de Posición (UCP) por cada posición de la Subestación (220kv = 2L+2T; 45Kv = 2L+1T+R; 20Kv = 3x5L+3T+2PARTIC.+2SSAA), constituida por un rack de 19". En el caso de las posiciones de línea y transformadores de potencia, cada UCP se alojará en el correspondiente armario de control y protecciones. Las comunicaciones entre las diferentes UCP's y la

UCS se realizará a través de una estrella óptica con fibra de cristal multimodo de 62,5/125 μm .

Desde cada UCP se podrá controlar y actuar localmente sobre la posición asociada, y desde la UCS se podrá controlar cualquiera de las posiciones, así como disponer de información relativa a medidas, alarmas y estado del sistema en general.

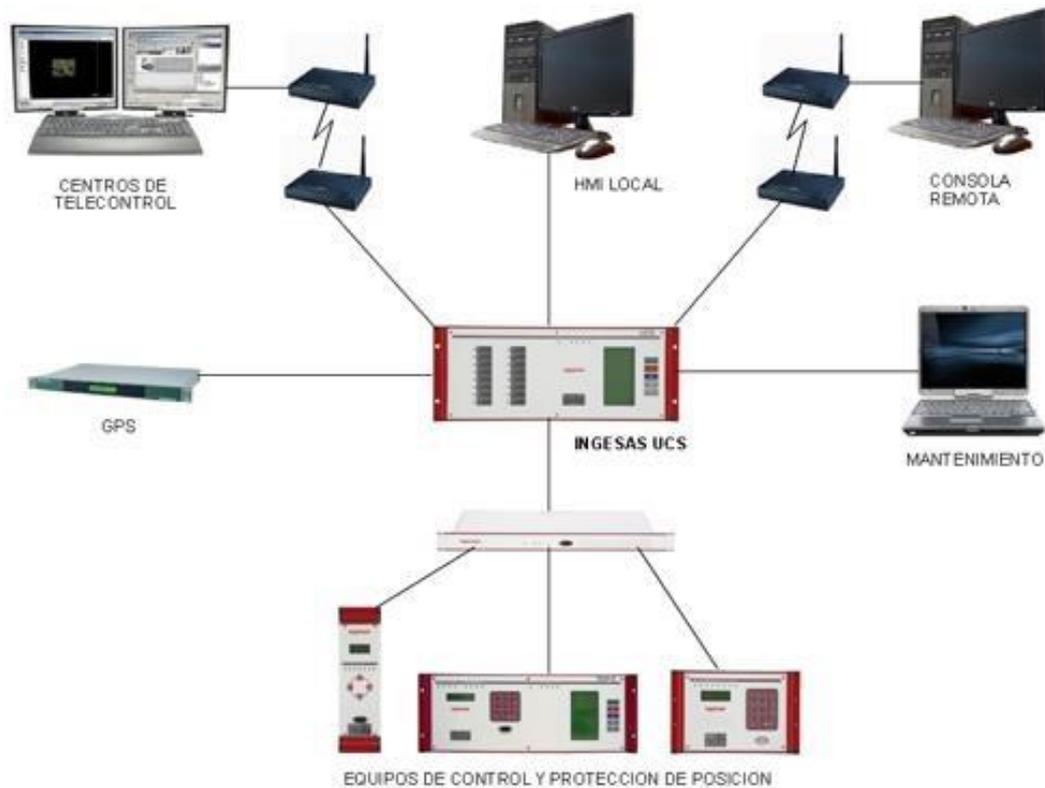


Figura 12: Esquema del SIPCO de subestación

2.17.2 Armarios de control y protecciones.

Este armario estará compuesto por chasis contruidos con perfiles metálicos, cerrados por paneles laterales fijos, acceso anterior con chasis pivotante y puerta frontal de cristal o policarbonato ignífugo, lo cual permite gran visibilidad, protección contra polvo y suciedad y fácil manejo y acceso a los aparatos instalados.



Figura 13: Armarios de control y protección

Protecciones de transformador.

Para cada transformador se instalarán los siguientes equipos de protección:

- Una protección de sobreintensidad (51-51N-79-3) de tres fases y neutro con característica inversa y reenganche incorporado. La protección llevará oscilo incorporado.
- Una protección diferencial de transformador (87) para el transformador T-2 de 35 MVA y dos protecciones diferenciales de transformador (87) para el transformador T-1 de 55 MVA, de dos devanados, de frenado porcentual por armónicos, filtrado para corriente de neutro.
- Un relé maestro (86) de disparo y bloqueo por actuación de las protecciones de máquina y diferencial.
- Un relé de sobreintensidad (50TZ, 51G) de tres fases y neutro para la protección instantánea de la reactancia de puesta a tierra del sistema de 20 kV y protección temporizada de neutro de reserva para faltas en el cable de potencia desde las bornas de baja del transformador hasta la posición de entrada de celdas de MT.

La función de vigilancia de bobinas de disparo está incorporada dentro del relé de sobreintensidad de respaldo.

Protecciones de la generación.

- Un relé de mínima tensión trifásico (27), tres unidades de medida entre fases, con disparo temporizable entre 0 y 1 segundo.
- Un relé de máxima tensión monofásica con disparo temporizable entre 0 y 1 segundo (59).
- Un relé de máxima-mínima frecuencia (81), con unidad de mínima frecuencia ajustable entre 48 y 50 Hz, unidad de máxima frecuencia ajustable entre 50 y 51 Hz, y temporización ajustable entre 0 y 1 segundo.



Estas protecciones correspondientes a la generación actúan sobre el interruptor de las líneas de 20 kV.

Protecciones de la línea de 220 kV.

En la línea de 220 kV se instalarán las siguientes protecciones:

- Una protección de distancia (21) de tres fases y tierra funcionando en esquema de distancia escalonada, con función adicional de sobreintensidad direccional de neutro de reserva integrada, reenganchador y sincronismo incorporado. El disparo será trifásico y deberá llevar la función oscilo incorporada.
- Una protección de respaldo de sobreintensidad direccional de neutro (67N) para respaldo ante faltas a tierra de la protección principal, dotada de la capacidad de comunicación a distancia. El disparo de esta protección activará la función de reenganche incorporado a la protección principal.
- Un relé de sincronismo (25).

La función de supervisión de las primeras bobinas de disparo se integrará en la protección de distancia principal.

Protecciones embarrado 220 kV

Se instalará una protección diferencial de barras (87-B) que actuará provocando el disparo trifásico de cada una de las posiciones conectadas al embarrado de 220 kV frente a cualquier desequilibrio en el mismo.

Protecciones de las celdas de 45 kV.

Todas las funciones de protección del sistema de MT basadas en sobreintensidad estarán integradas dentro de las propias unidades de control de posición (UCP's) como un conjunto único.

Protecciones de línea de 45 kV.

- Una protección de sobreintensidad de tres fases y neutro (51) de característica inversa, con reenganchador incorporado. Lleva incorporada la función de comprobación de bobinas de disparo y cierre.

Protecciones de transformador de 45 kV.

- Una protección de sobreintensidad de tres fases y neutro (51-51N) de característica inversa, con reenganchador incorporado. Lleva incorporada la función de comprobación de bobinas de disparo y cierre. Asimismo, dispondrá de la función de oscilo.

Una protección de detección de tensión homopolar (64) del triángulo abierto, para detección de tierras resistentes, en base a relé de máxima tensión de rango 3 a 20 V, situado en la celda de medida, con alarma y disparo temporizado.



Protecciones de las celdas de 20 kV.

Todas las funciones de protección del sistema de MT basadas en sobreintensidad estarán integradas dentro de las propias unidades de control de posición (UCP's) como un conjunto único.

Protecciones de línea de 20 kV.

-Una protección de sobreintensidad de tres fases y neutro (51) de característica inversa, con reenganchador incorporado. Lleva incorporada la función de comprobación de bobinas de disparo y cierre.

Protecciones de transformador de 20 kV.

-Una protección de sobreintensidad de tres fases y neutro (51-51N) de característica inversa, con reenganchador incorporado. Lleva incorporada la función de comprobación de bobinas de disparo y cierre. Asimismo, dispondrá de la función de oscilo. Una protección de detección de tensión homopolar (64) del triángulo abierto, para detección de tierras resistentes, en base a relé de máxima tensión de rango 3 a 20 V, situado en la celda de medida, con alarma y disparo temporizado.

2.18 MEDIDA

2.18.1 Medida de Energía

Los requerimientos en cuanto a medida de energía para facturación habrán de ser acordados con la Compañía Distribuidora. Considerando el punto de entrega en 20kV, se prevé el siguiente equipamiento:

-Dos (2) contadores combinados de activa/reactiva a cuatro hilos clase 0,2S en activa y 0,5 en reactiva, bidireccional, con emisor de impulsos, 3x110v3 V y 3x5 A, simple tarifa y montaje empotrado.

-Dos módulos tarifadores de cuatro entradas con reloj interno incorporado y salida serie de comunicaciones.

2.18.2 Resto de medidas

La medida de las posiciones de todo el parque (incluido el sistema de 20 kV) se integrará bien directamente (desde los T/i y T/t) bien a través de convertidor en las UCP's.

Exclusivamente se utilizarán contadores externos al sistema de control integrado para las lecturas de energía activa y reactiva en la llegada de transformador a las celdas de MT. Esta información se recogerá mediante pulsos en la UCP de transformador de MT. Esta medida servirá como medida de comprobación y contratación del contador principal.

En la tabla adjunta se indican las variables que se medirán en función de la posición:



Posición	VLin	VBarr	A	P	Q	Wh	Varh
TRANSFORMADOR 220 kV		X	X	X	X	X	X
TRANSFORMADOR 45 kV		X	X	X	X	X	X
LÍNEA 220 kV	X		X	X	X		
LÍNEA 45kV	X		X	X	X		
CELDAS LINEAS 45 KV	X		X	X	X		
CELDAS LINEAS 20 KV			X	X	X		
PARTICION 20 KV		X	X	X	X		
CELDAS TRAFO 20kV			X	X	X	X	X

Tabla 5: Medidas

2.19 TELECONTROL Y COMUNICACIONES

La instalación se explotará en régimen abandonado, por lo que la subestación estará dotada de un sistema de Telecontrol, el cual se encarga de recoger las señales, alarmas y medidas de la instalación para su transmisión a los centros remotos de operación de las compañías explotadoras del parque.

La información a transmitir será tratada y preparada por el sistema de control integrado y la transmisión se realizará por fibra óptica, instalada en la línea eléctrica.

A través de esta vía de comunicación se podrán transmitir señales de teledisparo y realizar telemedida.

Los equipos de comunicaciones a instalar se alimentarán desde una fuente conmutada con tensión de salida de 48 V c.c. y que se instalará en uno de los armarios de la sala de control.

2.20 ALUMBRADO

La subestación dispondrá de un sistema de alumbrado exterior y otro interior en el edificio con un nivel lumínico, en ambos casos, suficiente para poder efectuar las maniobras precisas, con el máximo de seguridad.

Se instalará un sistema de alumbrado de emergencia, compuesto por lámparas de incandescencia y alimentado en corriente continua con posibilidad de doble ciclo de 15 minutos (uno automático y otro manual).

2.20.1 Alumbrado exterior.

Para la iluminación exterior se montarán proyectores de aluminio anodizado, cerrados, que alojan lámparas de vapor de sodio alta presión, de 250 y 400 W.



Los proyectores se instalarán sobre soportes de una altura de 1,0 m, adecuadamente orientados, con el fin de facilitar las labores de mantenimiento.

El encendido de este alumbrado se produce manual o automáticamente por medio de un reloj programador instalado en el cuadro de servicios auxiliares, en el que irá montado el contactor y los fusibles que protegen el correspondiente circuito.

2.20.2 Alumbrado interior.

El alumbrado interior en el edificio de mando, control y celdas de 20 kV se realizará con pantallas para tubos fluorescentes de 40 W que proporcionarán la iluminación exigida a cualquier necesidad.

Dentro del interior del edificio se instalará un sistema de alumbrado de emergencia, compuesto por lámparas de incandescencia y alimentado en corriente continua con posibilidad de doble ciclo de 15 minutos (uno automático y otro manual).

2.21 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS EN EL EDIFICIO

El edificio de control de la subestación irá equipado además con las siguientes instalaciones complementarias:

- Sistema de detección de humos en el edificio. La activación de este sistema emitirá una alarma que se transmitirá por telemando.
- Sistema de extinción de incendios con medios manuales.
- Ventilación forzada actuada por termostato para las salas de control y celdas.
- Calefacción actuada por termostato para la sala de control.

2.22 INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

Se dotará a la instalación de una malla de tierra inferior enterrada a 0,60 m de profundidad, que permita reducir las tensiones de paso y de contacto a niveles admisibles, anulando el peligro de electrocución del personal que transite tanto por el interior como por el exterior de la instalación.

Todos los elementos metálicos de la instalación estarán unidos a la malla de tierras inferior, dando cumplimiento a las exigencias descritas en la MIE-RAT 13 del “Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación”.

Según lo establecido en el citado Reglamento, apartado 6.1 de la MIE-RAT 13, se conectarán a las tierras de protección todas las partes metálicas no sometidas a tensión normalmente, pero que pueden estarlo como consecuencia de averías, accidentes, sobretensión es por descargas atmosféricas o tensiones inductivas. [3]

Por este motivo, se unirán a la malla de tierra:

- los chasis y bastidores de los aparatos de maniobra,
- los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos,
- las puertas metálicas de los locales,
- las vallas y cerramientos metálicos,
- la estructura metálica (columnas, soportes, pórticos, etc.),



- los blindajes metálicos de los cables,
- las tuberías y conductos metálicos,
- las carcasas de transformadores, motores y otras máquinas.

Se conectarán directamente a tierra, sin uniones desmontables intermedias, los siguientes elementos, que se consideran puestas a tierra de servicio:

- los neutros de transformadores de potencia y medida,
- los hilos de tierra de las líneas aéreas,
- los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra,
- las tomas de tierra de las autoválvulas para eliminación de sobretensiones o descargas atmosféricas.

Las conexiones previstas se fijarán a la estructura y carcasas del aparellaje mediante tornillos y grapas especiales de aleación de cobre, que permitan no superar la temperatura de 200 °C en las uniones y que aseguren la permanencia de la unión. Se hará uso de soldaduras aluminotérmicas tipo Cadweld de alto poder de fusión, para las uniones bajo tierra, ya que sus propiedades son altamente resistentes a la corrosión galvánica.

La malla de tierra se realizará con conductor de cobre desnudo de 95 mm² de sección.

En el Capítulo 3 “Cálculos” se adjunta el método de cálculo para la malla de puesta a tierra y en el ANEXO planos del presente proyecto se muestra un plano con la red de tierras.

2.23 OBRA CIVIL

La obra civil para la construcción de la subestación transformadora Peñaflor 220/45/20 kV consistirá en:

2.23.1 Explanación y acondicionamiento del terreno

Se pretende explanar el terreno a una única cota, aproximadamente a 842 m sobre el nivel del mar. Los trabajos correspondientes comprenderán la retirada de la capa vegetal, excavación, relleno y compactado hasta la cota de explanación indicada.

El recinto interior irá acabado con una capa de grava de 10 cm de espesor.

2.23.2 Cerramiento perimetral

El cerramiento que delimitará el terreno destinado a alojar la subestación estará formado por un muro de piedra del lugar. El cerramiento así constituido tendrá una altura de 2,30 m sobre el terreno, cumpliendo la mínima reglamentaria establecida de 2,20 m.

Se instalarán para el acceso a la subestación tres puertas metálicas, una peatonal de una hoja y 1 m de anchura y otras dos abatibles de 3 m de anchura cada una para el acceso de vehículos.



2.23.3 Drenaje de aguas pluviales

El drenaje de las aguas pluviales se realizará mediante una red de recogida formada por tuberías drenantes que canalizarán las mismas a través de un colector hasta el exterior de la subestación, vertiendo en las cunetas próximas.

2.23.4 Accesos y viales interiores

El acceso a la ST Peñaflor se realizará desde un camino rural, al cual se accede desde el punto kilométrico 6 de la carretera VP-5502.

Se construirán los viales interiores necesarios para permitir el acceso de los equipos de transporte y mantenimiento requeridos para el montaje y conservación de los elementos de la subestación.

2.23.5 Edificio

Se instalará un edificio formado por elementos modulares prefabricados de hormigón armado con aislamiento térmico, realizándose “in situ” la cimentación y solera para el asiento y fijación de dichos elementos prefabricados y de los equipos interiores del edificio, así como la organización de las canalizaciones necesarias para el tendido de los cables de potencia y control. El edificio estará recubierto en su totalidad por piedra de la zona. En cuanto a la cubierta del edificio se realizara con teja tipo árabe.

Este edificio constará de una sola planta y se distribuirá de la siguiente manera:

- Sala de Telemando de los Parques Eólicos: albergará los equipos necesarios para el control de los parques eólicos.
- Sala de Control de la Subestación: irán ubicados en ella los equipos correspondientes al control, protección, servicios auxiliares en BT, etc., necesarios para el correcto funcionamiento de la subestación y de los parques eólicos.
- Sala de Comunicaciones: se dispondrá de los armarios, convertidores y equipos de rectificador-batería necesarios. Tendrá una superficie de 15 m² aproximadamente.
- Salas de Celdas: se ubicarán en ellas los tres módulos de celdas de Media Tensión (20kV), separados por tabiques, y comunicados entre sí.
- Aseo-ducha y sala de descanso, accesibles desde un pasillo proveniente de la sala de telemando.
- Sala de reuniones
- Despacho
- Almacén de repuestos: proyectado para el almacenaje de los diferentes equipos que considere la propiedad.
- Almacén de residuos.
- Almacén de repuestos.

Exteriormente el edificio irá rematado con una acera perimetral de 1,10 m de anchura. Las fachadas estarán revestidas con piedras de la zona y el tejado estará cubierta con teja tipo árabe.

Para el acceso exterior a las distintas salas se instalarán nueve puertas metálicas de dimensiones adecuadas para el paso de los equipos a montar. Una de ellas para acceder directamente desde el exterior a la zona de control, cuatro para acceder a las salas de



celdas, dos para acceder a los almacenes de residuos, una para acceder al almacén de repuestos y la otra para acceder a la sala de telemando.

2.23.6 Bancada de transformador.

Para la instalación de los transformadores de potencia previstos, se construirán tres bancadas formadas por una cimentación de apoyo, y se dispondrá de un receptor de emergencia enterrado para recogida del aceite, que en caso de un hipotético derrame, se canalizará hacia el mismo, en el que quedará confinado.

2.23.7 Cimentaciones.

Se realizarán las cimentaciones necesarias para la sustentación del pórtico de amarre de la línea de 220 kV así como del aparellaje exterior de 220 y 20 kV.

2.23.8 Canalizaciones eléctricas.

Se construirán todas las canalizaciones eléctricas necesarias para el tendido de los correspondientes cables de potencia y control.

Estas canalizaciones estarán formadas por zanjas, arquetas y tubos, enlazando los distintos elementos de la instalación para su correcto control y funcionamiento.

Las zanjas se construirán con bloques de hormigón prefabricado, colocados sobre un relleno filtrante en el que se dispondrá un conjunto de tubos porosos que constituirán parte de la red de drenaje, a través de la cual se evacuará cualquier filtración manteniéndose las canalizaciones libres de agua.



CAPÍTULO 3. CÁLCULOS

3.1. OBJETO

Toda instalación eléctrica debe disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que en ningún punto normalmente accesible del interior o exterior de la instalación eléctrica donde las personas puedan circular o permanecer y exista el riesgo de que puedan estar sometidas a una tensión peligrosa durante cualquier defecto en la instalación eléctrica o en la red unida a ella.

El presente cálculo tiene por objeto validar la malla de tierra proyectada para el proyecto de la subestación ST PEÑAFLOR.

3.2. DATOS DE ENTRADA E HIPOTESIS DEL CÁLCULO

Una instalación eléctrica debe estar diseñada para soportar dos tipos de corriente:

- Corriente nominal máxima.
- Corriente de cortocircuito máxima.

Un cortocircuito se define como el camino conductor accidental o intencionado entre dos o más partes conductoras que fuerza a que la diferencia de potencial entre ellas sea igual o próximo a cero.

Estos fallos dan lugar a la circulación de muy elevadas corrientes por los elementos de la red, pudiendo producir daños en estos, como por ejemplo la degradación de los aislantes, sobreesfuerzos electrodinámicos, sobrecalentamientos, incendios, etc., además de suponer un peligro para las personas.

El estudio de los cortocircuitos que pueden producirse en la subestación permitirá definir la red de tierras necesaria para evacuar de forma segura las elevadas corrientes que tienen lugar en estas situaciones.

Las principales características de los cortocircuitos son la duración, el origen y su localización.



Según los puntos del circuito que se pongan en contacto, se distinguen los siguientes tipos:

- Monofásico a tierra (80% de los casos)
- Bifásico (15% de los casos)
- Trifásico o equilibrado (5% de los casos)

Para la ST PEÑAFLOR conocemos los datos de corriente ante un cortocircuito monofásico con un valor de 7,5 kA

Realizaremos los cálculos a partir de la corriente de falta monofásica, dado que es el caso más desfavorable.

Esta corriente, es la corriente de cortocircuito total que aportan tanto las líneas como los transformadores de los que se compone la subestación, el inconveniente es que no sabemos que I_{cc} aportan, de forma individual, estos; pues no tenemos el estudio de cortocircuito detallado.

Para ello, y tras la experiencia de varios estudios de cortocircuito, se puede hacer la aproximación de que las líneas aportan el 70% de la I_{cc} TOTAL y los transformadores el 30% de esta.

Partimos pues de los datos iniciales:

- Datos de la red

Frecuencia de la red.....	50 Hz
Relación impedancias (X/R).....	20
Tiempo despeje falta (Tf).....	0,5 s
Relación de tensiones.....	220/20Kv-45/20Kv

- Datos del terreno y de los conductores de tierra

Profundidad a la que está enterrada la malla (h).....	0,6 m
Espesor capa superficial.....	0,1 m
Resistividad capa superficial (ρ_s).....	3000 Ohm·m
(*1) Resistividad media del terreno (ρ).....	300 Ohm·m
Cable de tierra del conductor.....	Cu 95 mm ²

$$S_{min} = \frac{I_{f_{total}}}{160 \left(\frac{A}{mm^2} \right) \cdot 1,2}$$

Ecuación 1 Sección mínima cable de PaT



-Cable Cobre:

coef. térmico resistividad (20°C)..... $\alpha_r = 0,00393 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 Coeficiente ($1/\alpha_0$ a 0°C)..... $K_0 = 234 \text{ } ^\circ\text{C}$
 Resistividad 20°C..... $\rho_r = 1,72 \text{ } \mu\text{ } / \text{cm}$
 Factor Capacidad Térmica..... $\text{TCAP} = 3,42 \text{ J/cm}^3\text{ } ^\circ\text{C}$
 Temperatura máxima admisible..... $T_m = 300^\circ\text{C}$

- Datos geométricos

Longitud del lado mayor de la malla (Lx)..... 94 m
 Longitud del lado menor de la malla (Ly)..... 75,5 m
 Número de conductores paralelos al lado mayor (nx)..... 10
 Número de conductores paralelos al lado menor (ny)..... 12
 Número de picas (e)..... 0
 Longitud de las picas (Le)..... 0 m

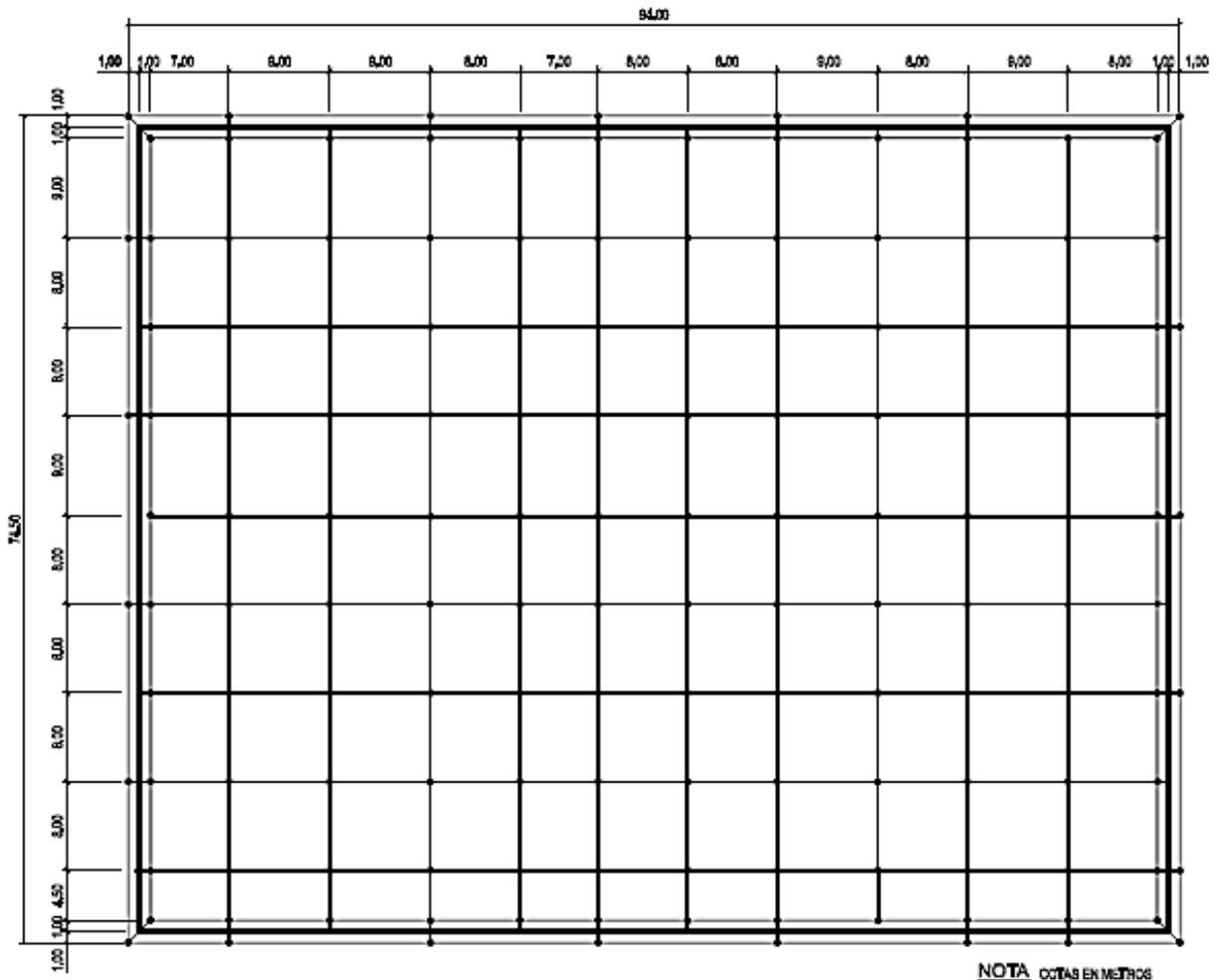


Figura 14: Malla de puesta a tierra diseñada en AUTOCAD



-Datos Líneas aéreas de Alta Tensión 220kV

	IF= 3·I0 (kA) (*2)		Ra (Ω)	Conductor tierra-óptico	
	Módulo	Fase		Tipo	RW(Ω/km)
L.TORDESILLAS 1 (*3)	2406.6 A	98.1°	20	OPGW-24	0.5
L.TORDESILLAS 2	2406.6 A	98.1°	20	OPGW-24	0.5
L.MUDARRA	253.5 A	120.2°	20	OPGW-24	0.5

Tabla 6: Datos de líneas aéreas

(*2) → Datos obtenidos de la herramienta de software PSS/E al aplicar la metodología desarrollada en el Manual de Métodos titulado “Estudios Estáticos de redes Eléctricas”

IF= 3·I0..... Intensidad aportada por las líneas con el cortocircuito en 220kV
 Dichas intensidades, corresponden al cortocircuito más desfavorable
 Ra..... Impedancia puesta a tierra apoyos eléctricos
 RW (Ω /km)..... Resistencia hilo de guarda

El estudio está realizado para dos posiciones de línea de 220 kV y otra a 45 kV.

(*3) → Aunque la línea 1 Tordesillas es de 45 Kv se sobredimensiona la corriente aportada por la línea ante un cortocircuito, para una posible ampliación futura de 220 kV. Se estima que la corriente de falta se reparte en un 70% por las líneas como se había expuesto anteriormente.

3.3 METODOLOGÍA O HERRAMIENTA UTILIZADA

El método a emplear está basado en el programa AUTOGROUND de la empresa SAFE ENGINEERING SERVICES & TECHNOLOGIES LTD, en el cual se realiza en cálculo según la norma ANSI/IEEE Std. 80-2000. Los datos obtenidos se contrastarán con la Instrucción Técnica Complementaria MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre).

El proceso desarrollado se ajusta al siguiente esquema:

- a) Determinación de la resistividad del terreno → Modulo RESAP

En este módulo se introducen los datos de resistividad aportados por el estudio de resistividad en este caso 300 Ωm. (Ver (*1) página 60)

RESAP se utiliza normalmente para determinar modelos de la estructura de la tierra basados en mediciones de la resistividad del suelo. Estos modelos del suelo pueden ser utilizados para analizar sistemas de puesta a tierra, estudios de protección catódica de conductos, examinar problemas electromagnéticos de inducción (EMI) y para calcular parámetros de línea. RESAP es uno de los componentes principales de los paquetes del software AUTOGROUND. [5]



Dado los datos del campo, RESAP produce automáticamente una estructura del suelo que se acerque lo más de cerca posible a los datos. Además, RESAP puede generar modelos aproximados simplificados con un número reducido de capas según lo especificado por el usuario.

b) Diseño de la malla de tierra → Modulo MALT

En este módulo se introduce la malla diseñada a través del software AUTOCAD, programa de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Podemos ver la figura 14 donde se representa el diseño de la malla de tierra.

El módulo de ingeniería MALT se utiliza para analizar el sistema de puesta a tierra de redes de energía con formas arbitrarias y se utiliza a menudo para investigar los potenciales y las corrientes desviadas (transferidas) a las estructuras metálicas bajo tierra cercanas. El módulo MALT es uno de los componentes principales de los paquetes del software AUTOGROUND. [5]

c) Estudio de la intensidad derivada a través de las líneas por conducción y por inducción→ Modulo FCDIST

En este tercer módulo se introducen los datos de las líneas aportados por el estudio de cortocircuito, en nuestro caso se han tenido que hacer algunas suposiciones debido al desconocimiento de ciertos datos de partida. (Ver (*3))

FCDIST calcula la distribución de la corriente de falla en múltiples terminales, líneas de transmisión y alimentadores de distribución requiriendo un mínimo de información y un simple conjunto de datos referentes a la red. Al proveer al usuario con un estimado de la distribución de la corriente de falla, que circula en el sistema de puesta a tierra, el módulo FCDIST ayuda a evitar el sobre-diseño del sistema de puesta a tierra, que de otra manera sería necesario en relación al valor de la corriente de falla dentro del sistema estudiado. Esto puede redundar en ahorros significativos de tiempo y dinero. [5]

d) Determinación de las tensiones de paso y contacto admisibles por el cuerpo humano, considerando las más desfavorables según MIE-RAT.

Comprobamos con estos resultados que cumple con las especificaciones requeridas por el MIE RAT 13 sobre Instalaciones de Puesta a Tierra del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.

3.4 DATOS DE SALIDA (RESULTADOS)

-Conductor de tierra

IF total= 7.5 (kA) Suma fasorial total de Intensidad de falta
tf=0,5 (s) tiempo defecto
Ta = 40 °C Temperatura ambiente

Según el MIE RAT-13, a efectos de dimensionado de las secciones, el tiempo mínimo a considerar para duración del defecto, a la frecuencia de la red será de un segundo, no



pudiéndose superar una densidad de corriente para el cobre de 160 A/mm². Considerando que se admite un aumento de la temperatura final del cable de 300°, sin suponer riesgo de incendio, y que el sistema está unido rígidamente a tierra para una tensión nominal UN ≥ 100 kV, se obtiene:

$$S_{min} = \frac{I_{f_{total}}}{160 \left(\frac{A}{mm^2} \right) \cdot 1,2}$$

Ecuación 2 sección mínima cable de PaT(II)

$$S_{min} = 38.84 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, se elige como sección para los conductores de puesta a tierra de estructuras y aparatos, así como de la malla de tierra: **S = 95 mm²**
Sección normalizada por IBERDROLA

-Resistencia de la red de tierras

Para el cálculo de red de tierras existente se pueden dar los casos de mallas sin picas o mallas con picas, a continuación se exponen los dos casos.

En el cálculo de la resistencia de puesta a tierra, en mallas sin picas, podemos obtener dos ecuaciones tratándose de si h es mayor o menor que 0,25

De modo que si h es menor que 0,25 se utilizará la ecuación:

$$R_g = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{Lc}$$

Ecuación 3: Resistencia de puesta a tierra mallas sin picas (I)

Y si h es mayor que 0.25 se utilizará la ecuación

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

Ecuación 4: Resistencia de puesta a tierra mallas sin picas (II)

Siendo

$$Lc = Lx \cdot nx + Ly \cdot ny$$

$$A = Lx \cdot Ly$$

Donde:

h = profundidad de la malla

r = resistividad del terreno



A = área ocupada por la malla de tierra

En el cálculo de la resistencia de puesta a tierra, en mallas con picas, se utilizará la Ecuación

$$R_g = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_{12}}$$

Ecuación 5: Resistencia de puesta a tierra mallas con picas

En nuestro caso el programa se ha basado en el cálculo de malla de puesta a tierra sin picas puesto que tenemos un dimensionamiento requerido suficiente para que no se necesiten montar picas.

La resistividad del terreno es un poco alta, aunque está dentro de los límites permitidos.

Esto se traduce en que a mayor resistividad la corriente de falta será más difícil de disiparse con lo que debería realizarse un buen mallado para disipar dicha intensidad de falta.

El módulo RESAP del programa AUTOGROUND utiliza los datos de las mediciones de resistividad reales obtenidas en la parcela donde se ubica la subestación PEÑAFLORES para calcular el modelo equivalente del terreno. Para ello, utiliza la formulación existente en la IEEE Std 80-2000:

$$\rho_{a(av1)} = \frac{\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + \dots + \rho_{a(n)}}{n}$$

Ecuación 6: Resistividad equivalente del terreno

Siendo $\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + \dots + \rho_{a(n)}$ similares profundidades de terreno, y siendo n el número total de medidas realizadas. El programa, para obtener un modelo de suelo más representativo, realiza dicho cálculo a diferentes profundidades, obteniendo un modelo de suelo representado finalmente por una serie de capas horizontales de terreno, cada una de ellas con un valor de resistividad aproximado con la formulación mencionada.

Una vez que se tiene un modelo aproximado del terreno basado en las mediciones reales de campo, el programa obtiene el valor de la resistencia de puesta a tierra del conjunto mediante implementación matemática. Por tanto, en la instalación objeto de este estudio se ha obtenido una resistencia de puesta a tierra del conjunto de valor $R_g = 0.30291 \Omega$

-Análisis Intensidades aportadas por las líneas de Alta Tensión

El cálculo de las impedancias equivalentes del cable de tierra/guarda (z_{pi}), con sus respectivos apoyos, en una línea aérea, y/o de la pantalla de una línea subterránea, conectada en ambos extremos a la red de tierras, se calcularían con las ecuaciones



Línea aérea (i):

$$Z_{pi} = 0,5 \cdot Z_w + \sqrt{(0,5 \cdot Z_{wi})^2 + Z_{wi} \cdot R_a}$$

Ecuación 7: Impedancia equivalente del cable de guarda

siendo:

Z_{wi} impedancia propia del cable de tierra entre apoyos aéreos

• Línea subterránea (i):

$$Z_{pi} = 0,2 + Z_{wi}$$

Ecuación 8: Impedancia equivalente línea subterránea

siendo:

Z_{wi} impedancia propia de la pantalla entre subestaciones

La impedancia equivalente de todas las líneas interconectadas con la subestación eléctrica, con la ecuación:

· Impedancia equivalente:

$$\frac{1}{Z_p} = \sum_1^{Total\ líneas} \frac{1}{Z_{pi}}$$

Ecuación 9: Impedancia equivalente de todas las líneas interconectadas con la subestación

Teniendo en cuenta la resistencia de la red de tierras calculada anteriormente (R_g), y la impedancia equivalente (Z_p), se obtiene la intensidad por la puesta a tierra de la subestación (I_g), con la ecuación

$$I_g = \left| \frac{Z_p}{Z_p + R_g} \right| \cdot \sum_1^{Total\ líneas} (3 \cdot I_0) = S_f \cdot \sum_1^{Total\ líneas} (3 \cdot I_0)$$

Ecuación 10: Intensidad de PAT

y el valor eficaz de la componente asimétrica, con la Ecuación ($t_f= 0,5s$):

$$I_G = I_g \cdot D_f$$

Ecuación 11: Intensidad simétrica corregida



Resultados obtenidos del programa

	Módulo	Fase
Intensidad total de falta	5362 A	99.18°
Intensidad por cables de guarda y pantallas de cables subterráneos	2.109,6 A	101.48°
Intensidad puesta a tierra (I _G)	3.257 A	97.634°
GPR=I _G ·R _g	920.74 A	97.27°

Tabla 7: Resultados obtenidos con el programa

Cálculo de Tensiones de Paso y Contacto máximas al terreno obtenidas con el programa AUTOGROUND

Tensión de contacto máxima

El programa implementa la siguiente formulación matemática del capítulo 16.5 de la IEEE Std 80-2000.

$$E_{\text{contacto máxima}} = E_m = \frac{K_m \cdot K_i \cdot \rho \cdot I_G}{L_M}$$

Ecuación 12: Tensión de contacto (I)

siendo

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 \cdot \left(\frac{L_e}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot e \cdot L_e \dots \dots \dots \text{Longitud efectiva de enterramiento}$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n \dots \dots \dots \text{Factor de irregularidad}$$

$$K_{ii} = 1 \dots \dots \dots \text{Red de picas}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} \dots \dots \dots \text{Red sin picas}$$

$$K_h = \sqrt{1 + h} \dots \dots \dots \text{Factor de profundidad}$$

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

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \dots \dots \dots n^\circ \text{ efectivo de conductores paralelos}$$



$$n_a = \frac{L_c}{(L_x + L_y)}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_x + L_y}{2 \cdot \sqrt{A}}}$$

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

Tensión de paso máxima

$$E_{paso\ máxima} = E_s = \frac{K_s \cdot K_i \cdot \rho \cdot I_G}{L_s}$$

Ecuación 13: Tensión de paso (I)

Siendo

$L_s = 0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot e \cdot L_e$Longitud efectiva de enterramiento

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

-Resultados obtenidos

E contacto máxima transferida (EC)	169.48 (V)
E paso máxima transferida (EP)	76.71 (V)

Tabla 8: Resultados de EC y EP del programa



-Cálculo de Tensiones de Paso y Contacto ADMISIBLES (MIE-RAT 13)

$$E_{contacto} = \frac{K}{t_f^m} \left(1 + \frac{1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right)$$

Ecuación 14: Tensión de contacto (II)

$$E_{paso} = \frac{10K}{t_f^m} \left(1 + \frac{6 \cdot \rho_s}{1000} \right)$$

Ecuación 15: Tensión de paso (II)

siendo:

K=72 y m=1 para tiempos $t_f < 0,9$ s
 K=78,5 y m=0,18 para tiempos $0,9 < t_f < 3$ s

Resultados obtenidos para un tiempo de falta de 0.5 segundos.

Calculamos estos resultados y a continuación los comparamos con los datos obtenidos del software Autoground para comprobar si cumplen o no.

$$E_{contacto} = \frac{K}{t_f^m} \left(1 + \frac{1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right) = \frac{72}{0,5^1} \left(1 + \frac{1,5 \cdot 3000}{1000} \right) = 792 \text{ V}$$

$$E_{paso} = \frac{10K}{t_f^m} \left(1 + \frac{6 \cdot \rho_s}{1000} \right) = \frac{10 \cdot 72}{0,5^1} \left(1 + \frac{6 \cdot 3000}{1000} \right) = 27360 \text{ V}$$

E contacto admisible (EC)	792 (V)
E paso admisible (EP)	27360 (V)

Tabla 9: Resultados de EC y EP calculados



3.5 CONCLUSIÓN CUMPLIMIENTO DE RESULTADOS

-Tensiones de Paso y de Contacto

El criterio a seguir: $EC < ECA$ y $EP < EPA$  **CUMPLE**

	CRITERIO	RESULTADOS	
E contacto	EC < ECA	169.48 < 792 (V)	CUMPLE REGLAMENTO
E paso	EP < EPA	76.71 < 27360 (V)	CUMPLE REGLAMENTO

Tabla 10: Cumplimiento de EC y EP

-Graficas

Tensiones de paso obtenidos en el Modulo MALT:

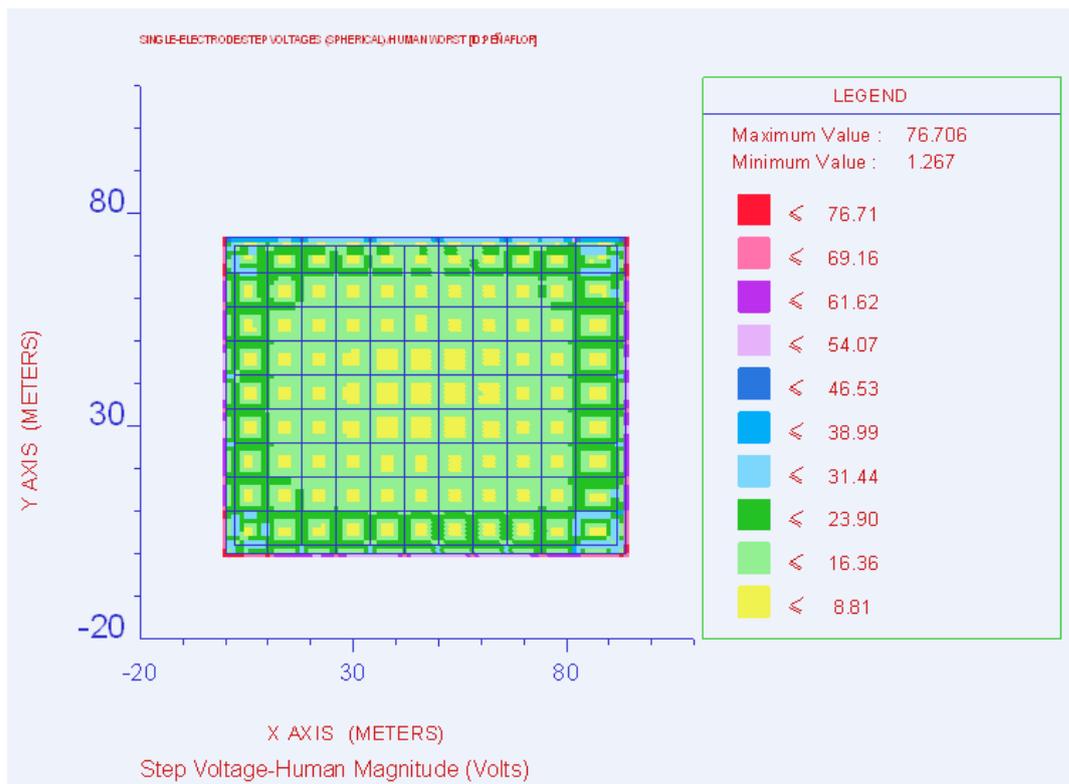


Figura 15: Tensiones de paso obtenidas con el programa



Tensiones de contacto obtenidas en el Modulo MALT:

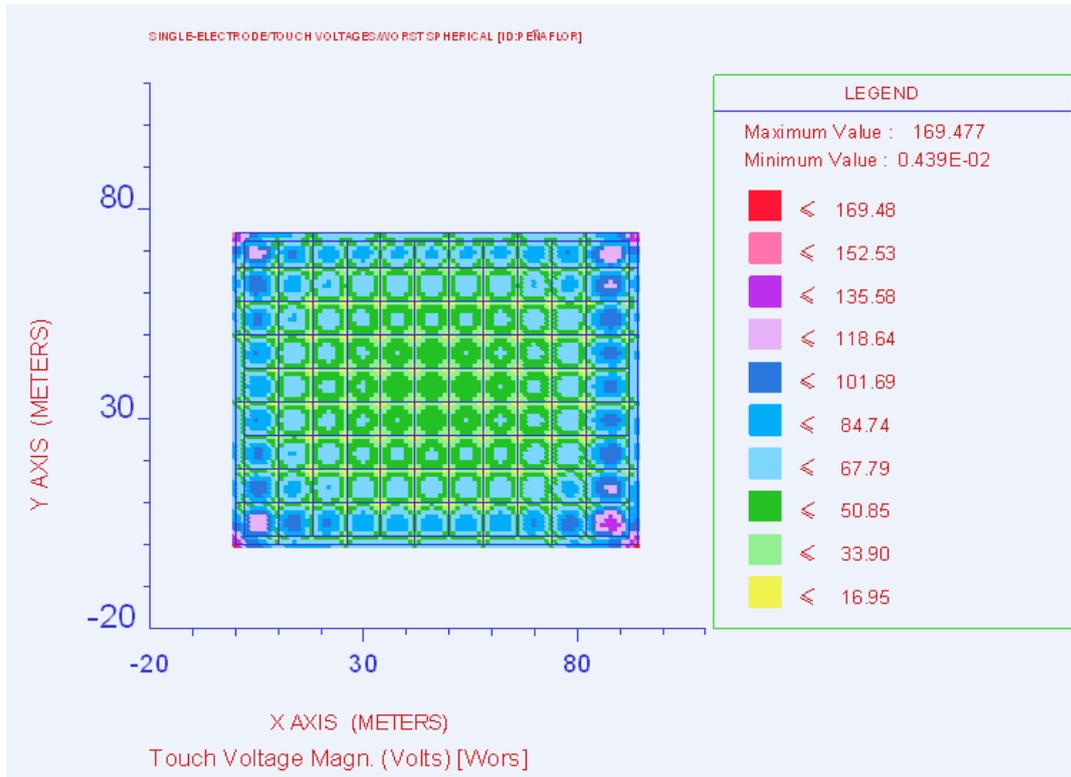


Figura 16: Tensiones de contacto obtenidas con el programa





CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO

4.1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DE LA ST PEÑAFLORES 220/45/20 KV

4.1.1 Equipos y materiales

-Transformadores de potencia.....	1.654.300,00 €
-Sistema de 220 kV.....	469.500,00 €
-Sistema de 45 kV.....	368.530,00 €
-Sistema de 20 kV.....	465.924,00 €
-Estructuras metálicas.....	105.000,00 €
-Control, protecciones, automatismos y medida.	234.600,00 €
-Suministro de edificio prefabricado.....	260.820,00 €
-Servicios auxiliares.....	93.250,00 €
-Instalaciones complementarias.....	121.315,96 €
-Elementos varios.....	75.000,00 €
<hr/>	
Total Equipos y Materiales.....	3.848.239,96 €



4.2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA DE LA ST PEÑAFLOR 220/45/20 KV

4.2.1 Obra civil

-Adecuación del terreno.....	110.077,20 €
-Cerramiento perimetral de la instalación.....	133.513,20 €
-Viales internos y accesos.....	26.413,00 €
-Drenaje y sistemas de aguas.....	50.600,00 €
-Edificio de control y celdas.....	85.356,00 €
-Cimentaciones, bancada y receptor de emergencia enterrado.....	82.342,00 €
-Canalizaciones eléctricas.....	35.000,00 €
-Tendido de la malla de puesta a tierra.....	28.004,60 €
-Terminado del parque de intemperie y taludes.....	8.692,00 €

Total Obra Civil..... 559.998,00 €

4.2.2 Montaje

-Montaje.....	192.411,99 €
---------------	--------------

Total Montaje..... 192.411,99 €

Total Presupuesto De Ejecución Por Contrata (4.2.1 + 4.2.2)..... 752.409,99 €

La parte del presupuesto total correspondiente al presupuesto de ejecución por contrata asciende a **SETECIENTOS CINCUENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS NUEVE EUROS CON NOVENTA Y NUEVE CENTIMOS**



4.3. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

-EQUIPOS Y MATERIALES.....	3.848.239,96 €
-OBRA CIVIL.....	559.998,00 €
-MONTAJE.....	192.411,99 €
<hr/>	
TOTAL PRESUPUESTO.....	4.600.649,95 €

Asciende el presente presupuesto a la cantidad de **CUATRO MILLONES SEISCIENTOS MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y CINCO CENTIMOS.**





CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto era diseñar una subestación transformadora que fuese capaz de evacuar a la red la energía generada por tres parques eólicos.

El diseño para esta subestación se ha elegido basándose en unos estudios y cálculos realizados mediante programas informáticos.

A nivel académico se puede extraer como principal conclusión que en la realización de este proyecto, los cálculos efectuados son necesarios para verificar que los resultados obtenidos se encuentran dentro de unos límites normales, marcados por la experiencia en instalaciones similares.

Por un lado el más que seguro dimensionamiento por parte de la malla de tierra ya que a pesar de tener una resistividad de terreno un poco elevada la sección de cable normalizada de 95 hace que se dimensione una malla de tierra casi equidistante a lo largo del eje x y lo largo del eje y y con una seguridad sobre personas que me aseguraba disipar la corriente en caso de derivación a tierra. Es importante recalcar que se ha tenido en cuenta una futura ampliación en la línea 1, de 45 kV a 220 kV, y el estudio de puesta a tierra se ha calculado en base a esta posible ampliación.

Gracias al cálculo de esta malla he conseguido comprender mejor los sistemas de puesta a tierra y su aplicación.

Por otro lado, la elección de la aparamenta, materiales y equipos no se realiza exclusivamente en base a los cálculos obtenidos, si no que se guía por una normativa existente, interna a la empresa, donde todos los componentes están estandarizados y están en base a una normalización y homologación que dotan a éstos de una serie de ventajas, ya que

- Reduce los tiempos de fabricación, suministro y montaje
- El mantenimiento es más seguro y efectivo y se realiza una mejor explotación de las instalaciones.
- Facilita el diseño de la subestación y la elección de sus componentes.



- Ayuda a la hora de subsanar incidencias, puesto que tener todas las instalaciones con las mismas características hace que esas posibles incidencias hayan sido encontradas en otras subestaciones anteriormente.

Cabe destacar que la elección de la ubicación del proyecto busca abaratar costes. La existencia de las líneas eléctricas aéreas, proporcionaba todos los requisitos indispensables para lograr un considerable ahorro de costes.

Una ubicación diferente de la subestación probablemente hubiese obtenido una mejor resistividad de terreno, abaratando así costes en la malla de tierra, pero por el contrario se hubiese tenido que contemplar cierto retranqueo de apoyos y líneas o un movimiento de tierras que hubiese encarecido ostensiblemente los costes de obra civil y maquinaria empleada.

En cuanto a la parte personal, la realización de este proyecto me ha enseñado a utilizar el software AUTOGROUND para calcular sistemas de puesta a tierra con la dificultad y problemas que conlleva el manejo de aprender nuevas herramientas informáticas.

Además he recordado conocimientos de AUTOCAD, muy importantes en la vida laboral ingenieril.



CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

- [1] -*Reglamento sobre Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación*. IBERDROLA Centro de documentación Bilbao 2002. Primera edición, Mayo 2002. ISBN 84
- [2] - *Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas de Alta Tensión*. IBERDROLA Centro de documentación Bilbao 2002.
- Cuaderno técnico nº 158 de Schneider Electric.
 - GÓMEZ EXPÓSITO: *Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica*. McGraw-Hill Interamericana, edición 2002
 - CONEJO, A.J.: *Instalaciones eléctricas*. McGraw Hill, Edición 2007.
 - GARCIA MARQUEZ, ROGELIO: *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas*. Alfaomega marcombo.
 - Apuntes de la asignatura *Gestión de Redes Eléctricas*, curso 2009/2010

Documentación y formación proporcionada por Iberdrola Ingeniería y Construcción S.A.U.:

- *Servicios Auxiliares en las subestaciones de Iberdrola*. Curso impartido por Félix Jaime Alcojor. Mayo 2011
- [3] - *Conceptos generales de subestación*. Curso impartido por Ignacio Manrique Inés. Abril 2011
- *Redes de puesta a tierra en subestaciones*. Curso impartido por Francisco de Paula Gallardo. Junio 2011
- [4] - *Protecciones eléctricas en Subestaciones*. Curso impartido por Francisco de Paula Gallardo. Junio 2011
- *Normativa Iberdrola MDT 15635 rev 1 03 Anexo III equipos subestaciones 1/14* IBERDROLA. Centro de documentación Bilbao 2002.

Páginas web de interés:

[5] -<http://www.sestech.com/products/softpackages/AutoGround.htm>

-<http://www.iberdrolaingenieria.com>



- <http://www.ree.es/tr>

-<http://www.energy.siemens.com>



ANEXO PLANOS

1. Plano de emplazamiento.
2. Esquema unifilar simplificado.
3. Implantación general.
4. Planta general de tierras interiores.
5. Características generales del edificio.
6. Disposición interior del edificio.
7. Bancada del transformador.
8. Muro cortafuegos.
9. Receptor de emergencia enterrado.