

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***PROCEDIMIENTO PARA REFORMAR UNA
SUBESTACIÓN DE REPARTO***

Alumno: Apellániz Arce, Álvaro
Director: Ferro Vázquez, Jesús Javier

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 18,junio, 2019

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
GLOSARIO	VII
1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETIVO.....	4
3. BENEFICIOS.....	5
3.1 Beneficios sociales	5
3.2 Beneficios técnicos.....	6
3.3 Beneficios económicos.....	7
4. METODOLOGÍA	8
4.1. Introducción.....	8
4.2. Detalle del procedimiento	9
5. MEMORIA.....	12
5.1 Calidad de suministro.....	12
5.2 Descripción de la instalación a reformar.....	14
5.1.1. Sistema de 30 kV.....	15
5.1.2. Posición de transformación.....	19
5.1.3. Sistema de 13,2 kV	19
5.1.4. Edificio	21
5.1.5. Análisis de las emisiones magnéticas	22
5.1.6. Disposición eléctrica.....	24
5.1.7. Tierras inferiores.....	25
5.1.8. Estructuras metálicas	27

5.1.9. Embarrado.....	28
5.1.10. Servicios auxiliares	28
5.2. Alcance del proyecto	33
5.2.1. Sistema de 30 kV	35
5.2.2. Posición de transformación.....	39
5.2.3. Sistema 13,2 kV	42
5.2.4. Edificio	46
5.2.5. Análisis de las emisiones magnéticas	47
5.2.6. Disposición eléctrica.....	47
5.2.7. Distancia mínima para la protección y seguridad frente al riesgo eléctrico	48
5.2.8. Tierras inferiores.....	49
5.2.9. Estructuras metálicas	51
5.2.10. Embarrados	52
5.2.11. Servicios auxiliares	54
5.3. Obra Civil.....	63
5.3.1. Explanación y acondicionamiento del terreno.....	63
5.3.2. Cerramiento perimetral y puerta de acceso	63
5.3.3. Edificio	63
5.3.4. Malla de tierra.....	65
5.3.5. Bancada de transformador	65
5.3.6. Canalizaciones eléctricas	66
5.3.7. Sistema de drenaje	67
5.3.8. Cimentaciones.....	67

6. CÁLCULO	68
6.1. Intensidad de cortocircuito	68
6.1.1. Cortocircuito trifásico	68
6.1.2. Cortocircuito monofásico	69
6.1.3. Configuración en Y.....	70
6.1.4. Configuración en H.....	70
6.2. Cálculo de tierras inferiores	71
6.3. Ajustes de las protecciones de transformador	75
6.3.1. Protecciones de sobreintensidad	75
6.3.2. Lado de AT	76
6.3.3. Lado de MT	77
6.3.4. Protección diferencial	79
6.4. Cálculo de los embarrados	81
6.4.1. Embarrado rígido	81
6.4.2. Embarrado flexible	81
6.5. Distancias mínimas.....	82
6.5.1. Distancias fase – tierra y entre - fases	83
6.5.2. Distancias en pasillos de servicios y zonas de protección.....	83
6.5.3. Distancias de protección contra contactos accidentales desde el exterior.....	84
6.6. Transformadores de intensidad de medida y protección	85
6.7. Cálculo rectificador de batería	87
6.7.1. Datos de partida e hipótesis de cálculo.....	87
6.7.2. Proceso de cálculo	88
6.7.3. Cálculo de la potencia del rectificador	90

7. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	91
7.1. Obra eléctrica	92
7.1.1. Con compactación	94
7.1.2. Sin compactación.....	104
7.2. Control, protección y servicios auxiliares	110
7.2.1. Con compactación	110
7.2.2. Sin compactación.....	114
7.3. Obra civil.....	118
7.3.1. Con compactación	118
7.3.2. Sin compactación.....	122
7.4. Instalaciones complementarias.....	123
7.5. Medio ambiente y seguridad y salud.....	124
7.6. Resumen	125
8. BIBLIOGRAFÍA.....	126
ANEXO.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Sistema de la red eléctrica actual</i>	1
<i>Figura 1.2. Subestación de distribución</i>	2
<i>Figura 4.1. Resumen de Flujograma</i>	8
<i>Figura 4.2. Flujograma de la reforma</i>	11
<i>Figura 5.1. Configuración en Y con ruptores en línea</i>	16
<i>Figura 5.2. Configuración en H</i>	17
<i>Figura 5.3. Esquema simplificado del sistema de 30 kV compactado y configuración en H</i>	34
<i>Figura 6.1. Cortocircuito trifásico</i>	68
<i>Figura 6.2. Cortocircuito monofásico</i>	69
<i>Figura 6.3. Curva de disparo de la protección diferencial</i>	80
<i>Figura 6.4. Diagrama de consumos</i>	89

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 5.1. Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 5.2. Características de los transformadores bushing de transformador de 12,5MVA.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5.3. Características de los transformadores bushing de transformador de 25MVA.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5.4. Distancias mínimas de seguridad frente al riesgo eléctrico</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5.5. Resistividad de los diferentes tipos de terreno</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 5.6. Límite elástico mínimo para perfiles tubulares del tipo S-275-JR.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 6.1. Valores de las constantes en función del tiempo.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 6.2. Distancia mínima de aislamiento</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 6.3. Consumo en equipos de control y protección en posición de transformador</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.4. Consumo en equipos de control y protección en celdas de 30 kV.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.5. Consumo en equipos de control y protección en celdas de 13,2 kV.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.6. Consumo en equipos de control de servicios auxiliares.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.7. Consumo en las maniobras de energización.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 6.8. Equipos normalizados por la empresa distribuidora.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 7.1. Cuadro resumen de presupuesto</i>	<i>125</i>

GLOSARIO

AT: Alta tensión.

BT: Baja tensión.

c.a.: Corriente alterna.

c.c.: Corriente continua.

ITC: Instrucción técnica complementaria.

MT: Media tensión.

NIEPI: Es el número de interrupciones equivalente de la potencia instalada en media tensión.

ONAF: Oil natural air forced.

ONAN: Oil natural air natural.

P.a.T: Puesta a tierra.

R.T.C.: Red telefónica conmutada.

RAT: Reglamento de alta tensión.

SIPCO: Sistema integrado de protección y control.

ST: Subestación transformadora.

STR: Subestación transformadora de reparto.

TIEPI: Tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada en media tensión.

T.i.: Transformador de intensidad.

T.t.: Transformador de tensión.

UCP: Unidad de control de posición.

UCS: Unidad de control de subestación.

1. ANTECEDENTES

Los sistemas eléctricos de la red eléctrica nacional están constituidos, en su concepción global, por subestaciones de generación formadas por centrales generadoras que a través de transformadores elevadores aportan la energía a la red, por subestaciones de transporte que actúan como nudo de interconexión de un número variable de líneas de transporte, y las subestaciones de transformación y distribución que interconectan el sistema de transporte con niveles inferiores de tensión (transporte local y distribución). Este modelo energético se verá transformado en un nuevo modelo más distribuido, con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, de disminuir el consumo energético y de fomentar las energías renovables. Este modelo permita tanto la conexión como la desconexión de los puntos de generación y de consumo, facilitando la integración en la red de microgeneradores locales de carácter renovable, permitiendo el almacenamiento de la energía eléctrica y posibilitando la conexión masiva de los vehículos eléctricos [J. Ferro & A. Ferro, 2019].

En la *figura 1.1* se puede ver la situación de la red eléctrica actual, en la que conviven el sistema de generación convencional con las nuevas redes de generación y almacenamientos de energía.

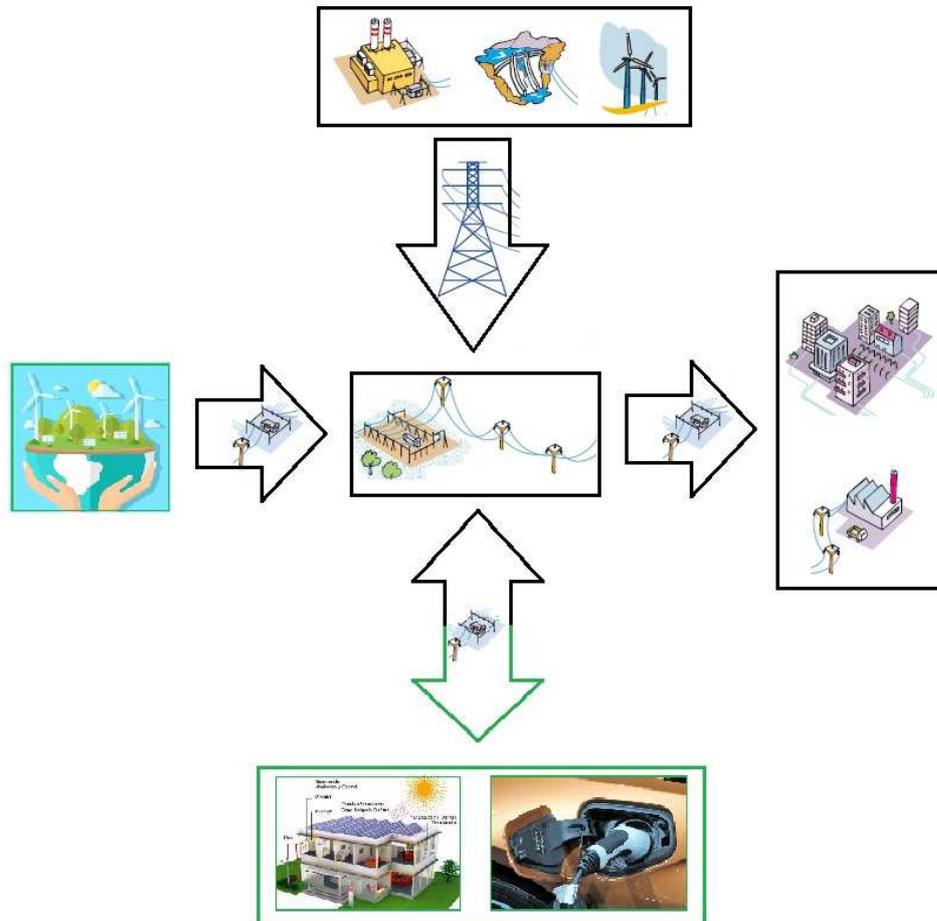


Figura 1.1. Sistema de la red eléctrica actual

La variedad de niveles de tensión existentes actualmente se traduce en inconvenientes económicos y técnicos, por lo que es necesario un análisis de los niveles más adecuados para el suministro eléctrico, de tal manera que las nuevas instalaciones tengan en cuenta este criterio y se evolucione hacia la nueva tipología. Actualmente se ha disminuido el número de niveles de tensión, tendiendo a la utilización de solo tres niveles de tensión con relación de al menos 1:3 entre MAT y AT y al menos 1:5 entre AT y MT, y siendo cada vez más frecuente el paso directo de MAT a MT con relaciones 1:11 o incluso superiores.

Las subestaciones de transformación y distribución, en función de su tensión nominal, se dividen en diferentes categorías:

- Categoría especial: las instalaciones de tensión nominal igual o superior a 220 kV, o las que forman parte de la Red de Transporte.
- Primera categoría: Las de tensión nominal entre 66 kV y 220 kV, y que no forman parte de la Red de Transporte.
- Segunda Categoría: Las de tensión nominal igual o inferior a 66 kV y superior a 30 kV.
- Tercera Categoría: las de tensión nominal igual o inferior a 30 kV y superior a 1 kV. Estas se denominan subestaciones de reparto.

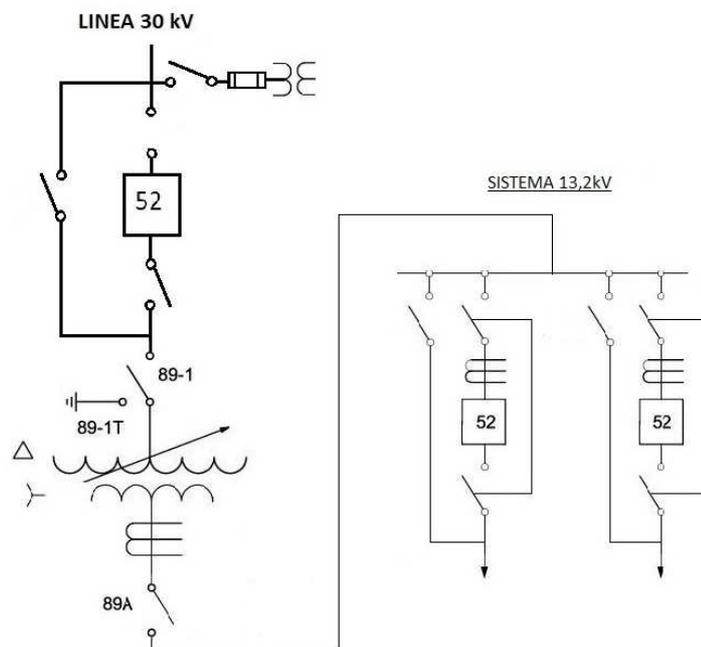


Figura 1.2. Subestación de distribución

Como se puede ver en la *figura 1.2*, las subestaciones de segunda y tercera categoría eran, en su gran mayoría, subestaciones transformadoras AT/MT, formadas por una única línea de alimentación en el sistema AT, un transformador y un sistema de MT de donde se alimentaban líneas de distribución.

Estas instalaciones han ido evolucionando a lo largo de los años gracias a la mejora de la red de transporte, puesto que se han ampliado con una segunda línea de energización en el sistema de AT con el fin de garantizar la disponibilidad de servicio en caso de avería o mantenimiento en una de las líneas. Para conseguir esto, las líneas de energización se conectaron a la red mediante una doble derivación en “T” de dos líneas pertenecientes a un doble circuito principal que une dos subestaciones y con la instalación de un automatismo de transferencia que garantizaba el mantenimiento de la tensión de la barra de MT a partir de las medidas de tensión en las dos líneas de AT. Esto supuso un aumento en la complejidad de las instalaciones con la implementación de transformadores de tensión monofásicos en cada una de las líneas y la sustitución de los seccionadores por ruptores con mayor poder de corte.

Posteriormente, se ha ido mejorando el sistema de protección que se utiliza en las subestaciones y las características eléctricas de la aparamenta, aumentando el poder de corte y mejorando la maniobrabilidad, para de esta manera mejorar las condiciones de seguridad de las personas y la integridad y funcionalidad de los bienes.

Finalmente se hizo necesario implementar de un segundo transformador a la subestación, de tal forma que se pueda satisfacer la demanda en MT con uno de los dos transformadores ante la indisponibilidad del otro. Esto obliga a dotar de un partidor de barras tanto en el sistema de AT como en el de MT y permitir así el aislamiento de una de las semibarras manteniendo la otra en servicio. Por lo tanto, la configuración de las subestaciones cambia pasando a ser una instalación de doble línea de energización y doble posición transformadora, y con ello aumenta la complejidad en la maniobrabilidad de la subestación.

Además, para disminuir el impacto visual se tomaron soluciones constructivas diferentes, en función del terreno o de la inversión disponible, pudiendo existir subestaciones de intemperie en las que la paramenta eléctrica, transformadores y juegos de barras se disponen en intemperie en combinación con elementos estructurales metálicos, subestaciones de interior en las que el conjunto de la instalación se dispone en el interior de una o varias edificaciones, y subestaciones mixtas en las que parte o la totalidad de la aparamenta eléctrica con su juego de barras, y/o los transformadores se pueden disponer en intemperie o en interior.

Por lo tanto, actualmente, dentro del sistema eléctrico, coexisten subestaciones con una línea en alta y un transformador de potencia, subestaciones con dos líneas en alta y un transformador de potencia o subestaciones con dos líneas y dos transformadores de potencia, que pueden ser de interior o de intemperie.

2. OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es definir un procedimiento para reformar cualquier subestación de transformación de reparto situada en zonas rurales, entornos industriales o zonas periurbanas, y de esta forma garantizar y mejorar la calidad del suministro eléctrico en su zona de influencia tras un aumento en el consumo o un previsible aumento en la demanda, aunque esto suponga la sustitución de la posición de transformación.

Garantizar y mejorar la calidad del suministro eléctrico supone que siempre esté disponible, o por lo menos, que los cortes de suministro eléctrico, de carácter imprevisto, sean los mínimos posible, en cuanto a tiempo y número, y que el suministro eléctrico esté dentro de las tolerancias de tensión y frecuencias exigibles, es decir, que no se produzcan ni oscilaciones, ni caídas ni picos de tensión, presentando un perfil de onda senoidal libre de perturbaciones.

Para conseguir la mejora en la calidad de suministro es conveniente:

- Sustituir del sistema de control y protección convencional por un sistema integrado de protección y control,
- Sustituir o mejorar de los sistemas auxiliares, tales como el sistema contra incendios, sistemas de ventilación y climatización, y el sistema de alumbrado y fuerza existente,
- La instalación de una nueva resistencia monofásica de puesta a tierra que sustituya a la reactancia existente.
- Sustituir los servicios esenciales que cuelgan de cada una de las líneas de AT por nuevos transformadores de servicios auxiliares que se alimentarán de cada una de las barras del sistema de MT.

3. BENEFICIOS

Las reformas que se tienen que realizar en las subestaciones de reparto para conseguir los objetivos mencionados en el apartado anterior, aportan una serie de beneficios sociales, técnicos y económicos que se describirán a continuación.

3.1 Beneficios sociales

Como objetivo principal está la mejora de la calidad de la energía eléctrica, entendiéndose como tal, la continuidad del suministro y el mantenimiento de las características, dentro de los valores permitidos, tanto de la tensión como de la frecuencia. Esta mejora se consigue con la instalación de un sistema integrado de control y protección, que reduce los disparos intempestivos, impide las maniobras incorrectas que pueden provocar cortes imprevistos de energía y mantiene la tensión y la frecuencia en valores tolerables, reduciendo las oscilaciones, las caídas y los picos de tensión.

La instalación de sistemas control y protección digitales aumenta la seguridad tanto del personal que trabaja dentro de la instalación, como el de las personas que puedan tener contacto desde el exterior de la instalación, puesto que ante actuaciones involuntarias o erróneas la rápida actuación de las protecciones puede impedir graves accidentes.

Esta mejora en la seguridad del personal que trabaja dentro en la subestación aumenta con la compactación en celdas de SF6 y la instalación de una resistencia de puesta a tierra de 17Ω , puesto que supone:

- Garantizar que las emisiones magnéticas que se generan, por razón de la actividad de la subestación, estén por debajo de los límites establecidos en la normativa y que son de riesgo para la salud de las personas.
- Demostrar que las tensiones de paso y contacto no superan los valores de riesgo en cualquier punto accesible desde el interior o el exterior.
- Cumplir la normativa vigente, en cuanto a distancias mínimas de seguridad para los diferentes niveles de tensión.

La compactación de los sistemas de 30kV y de 13,2kV también tiene el beneficio social de disminuir el impacto ambiental que supone la existencia de una subestación en un entorno rural o urbano, puesto que reduce el espacio.

La sustitución o mejora de los sistemas contraincendios:

- Disminuye la posibilidad de propagación del fuego.
- Disminuye los riesgos de inhalación de gases tóxicos, e impide la corrosión de los elementos próximos a la instalación.
- Permite disponer, en caso de incendio, del tiempo y la visibilidad suficiente para una correcta evacuación y actuación correctiva.

La instalación del sistema de ventilación y climatización aumenta los beneficios del sistema contraincendios puesto que mantiene una constante renovación del aire, y el extractor situado junto al rectificador de batería expulsa los gases producidos durante el mantenimiento del mismo.

3.2 Beneficios técnicos

La sustitución de los sistemas de protección por equipos electrónicos digitalizados hace mejorar la fiabilidad y seguridad de actuación ante faltas en el sistema, mejora la flexibilidad en la aplicación pudiéndose variar más fácilmente las características de funcionamiento por lo que se mejora la precisión en la coordinación entre las diferentes posiciones, y de esta manera una respuesta más rápida.

La instalación de un sistema integrado de protección y control de tipo digital y de configuración distribuida, formado por una unidad central y una unidad de control por cada una de las posiciones, permite:

- Una mayor maniobrabilidad de los distintos elementos imposibilitando falsas maniobras mediante lógicas de funcionamiento y gracias a una visión general de la subestación y particular de cada posición al mostrar, de forma directa y en tiempo real, todas las alarmas activas y todos los sucesos ocurridos en la subestación.
- Simplifica el diseño, reduciendo el conexionado necesario entre los equipos al reducir el cableado de interconexión, puesto que la información entre equipos se realiza mediante fibra óptica.
- Facilita la verificación y pruebas de los equipos, y la existencia de funciones de autodiagnóstico dentro de cada uno de los equipos y la modularidad hace que aparezca la alarma ante un fallo interno antes de que se produzca una actuación indebida.

La sustitución de los servicios esenciales por transformadores auxiliares alimentados de las barras de MT, se garantiza más servicio para la reposición ante una ausencia de tensión de las líneas de alimentación de la subestación, ya que los circuitos de control y de fuerza se alimentan de ellos a través de un armario de distribución de servicios auxiliares de c.a., y los equipos de protección y control de c.c. a través de equipos compactos rectificador-batería de 125 Vcc.

También se busca la normalización de criterios, puesto que los transformadores auxiliares son aplicables a cualquier instalación de MT.

La implantación de celdas en interior de edificios de una sola planta facilita que la instalación pueda tener futuro crecimiento secuencial, permitiendo que se pueda añadir nuevas posiciones por el carácter modular que tiene las celdas, aunque es necesario partir de dos posiciones de línea, un transformador y un enlace de barras, para reducir la afección de los descargos en ampliaciones futuras.

3.3 Beneficios económicos

La instalación de una resistencia de puesta a tierra de mayor resistividad, que limita la intensidad de falta a tierra, siendo ésta la falta que con mayor frecuencia se da, y la mejora en la fiabilidad, precisión y rapidez de respuesta de los equipos de protección ante faltas eléctricas en el sistema, hace que la aparamenta sufra menos, y durante menos tiempo, la intensidad de cortocircuito, por lo que su vida útil aumenta al disminuir el desgaste que estas intensidades provoca, y hace reducir al mínimo el mantenimiento periódico, y por lo tanto su coste.

La instalación de un sistema integrado de control y protección elimina el coste del mantenimiento periódico, puesto que solo se interviene en ellas cuando, gracias al autodiagnóstico, nos indica un fallo interno, y reduce el coste de montaje y de ingeniería debido a la reducción de cableado.

La compactación de ambos sistemas de tensión en edificios independientes, y la normalización en la tipificación de la fabricación de material eléctrico reduce el gasto en el montaje actual y en las reformas futuras puesto que:

- Facilita el desarrollo de futuras modificaciones que se pueden generar en la subestación por motivo de aumento de cargas, ya que es mucho más fácil la implementación de más posiciones.
- Elimina el mantenimiento de la aparamenta puesto que son celdas compactas.
- Se elimina el sistema de tierras aéreas superiores de protección contra las sobretensiones de origen atmosférico.

La instalación de un sistema de control digital y de configuración distribuida mejora la recepción de la información de las incidencias que se producen en la red, recogiendo los registros cronológicos de aperturas y cierres de los elementos, indicando las causas que han producido estas aperturas y cierres, y facilitando el seguimiento de la evolución de una incidencia desde el inicio de la misma. Estos datos son importantes para la determinación y duración de las interrupciones del suministro eléctrico, y así evaluar la calidad del suministro y determinar los descuentos en la facturación de la energía.

4. METODOLOGÍA

Conseguir el objetivo marcado en la realización de una reforma en una subestación, requiere una metodología de trabajo en la que se tiene que tener en cuenta una serie de pasos, que en un primer apartado resumiremos de forma esquemática, y posteriormente desarrollaremos.

4.1. Introducción

En la *figura 4.1* está definido, de forma esquemática, el procedimiento para realizar la reforma de una subestación de reparto. En este flujograma se definen los pasos más importantes con las decisiones que se deben de realizar para saber qué se debe sustituir, instalar o modificar.

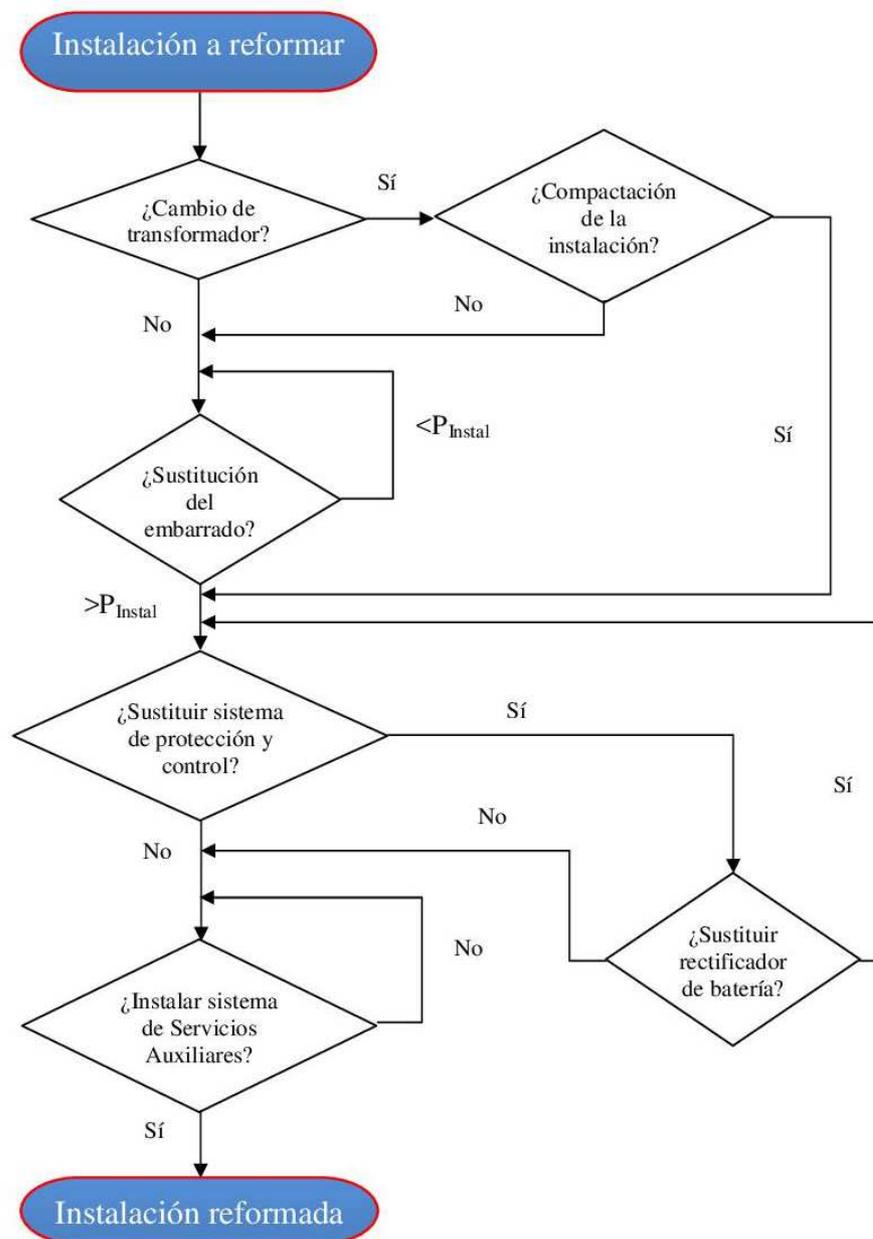


Figura 4.1. Resumen de Flujograma

4.2. Detalle del procedimiento

Se explicarán los detalles de la metodología de trabajo realizando la reforma de una subestación de reparto en el ámbito del País Vasco, cuya configuración eléctrica puede ser con uno o dos transformadores de potencia de 30/13.2 kV, y con el objetivo de conseguir los beneficios sociales, técnicos y económicos definido anteriormente.

El camino señalado con líneas rojas y gruesas es aquel con el que se consiguen los beneficios sociales, económicos y técnicos que se han presentado anteriormente, y por ende, se consigue la mejora de la calidad del suministro eléctrico.

El coste de la reforma se ha detallado al final del trabajo, presentando todas las opciones, y en el caso de dos instalaciones de transformación con diferente configuración eléctrica.

Partimos de una **instalación de intemperie a reformar** de 30/13,2 kV, con dos líneas de alimentación en el lado de AT, un sistema de transformación, y un sistema de MT de simple barra.

Existe un **aumento en el consumo** o se prevé un crecimiento en la demanda energética. Esto obliga a comprobar la potencia instalada en la subestación y la potencia nominal del embarrado para saber si con la potencia instalada se puede hacer frente al aumento del consumo o a la demanda exigida, y si el embarrado puede hacer frente a la potencia actual o a la futura prevista.

Se realiza un **cambio de transformador**, aumentando la potencia instalada con la limitación de la potencia nominal del embarrado. Las nuevas dimensiones del transformador pueden hacer que las distancias de seguridad se pierdan por lo que habría que redistribuir todas las posiciones en las que se incumplieran la distancia mínima de seguridad.

Esta redistribución podría derivar en **una compactación**, mediante celdas de SF6 instaladas en edificios prefabricados, en aquellos niveles de tensión en el que fuese necesario, de esta forma se consigue disminuir el impacto ambiental que produce la existencia de una subestación en un ambiente rural. Con la compactación también se consigue una reducción en las emisiones electromagnéticas y en la seguridad frente al riesgo eléctrico al existir una envolvente que rodea la aparamenta eléctrica.

Independientemente de si se realizara la compactación o no, se sustituyen los sistemas de puesta a tierra de los transformadores, **instalando resistencias homopolares de 17 Ω** en lado de MT, con lo que las tensiones de paso y contacto se reducirán al disminuir las intensidades de faltas a tierra.

Junto a las resistencias homopolares, sobre una estructura metálica, o si se realiza la compactación del sistema de MT en un habitáculo dispuesto para ello, se **instalarán un transformador de servicios auxiliares** de 50 kVA en cada una de las barras sustituyendo los servicios esenciales que se encuentran en las líneas de AT, para mayor garantía de servicio ante una ausencia de tensión en las dos líneas de

alimentación. En las líneas de alimentación se instalarán transformadores de tensión inductivos con doble secundario, para obtener la medida de tensión y con ella conseguimos el correcto funcionamiento del automatismo de transferencia, que garantiza el mantenimiento de la tensión en barras de MT.

Con el fin de que en todas las instalaciones se trabaje en las mismas condiciones, se establecen los criterios mínimos que se tiene que cumplir para la seguridad y mejora en el mantenimiento y maniobrabilidad de la aparamenta, por lo que se **sustituirán todas las protecciones electromecánicas** por protecciones digitales, el control también **se cambiará a un control integrado, se implementará un sistema de conrainedios** en aquellas instalaciones en las que no exista, o se modificará, si se va a realizar la compactación, sectorizándolo para cada uno de los edificios a implementar.

Se instalará en todas aquellas subestaciones en las que no existiera un **nuevo sistema de ventilación y climatización**. La ventilación de cada uno de los edificios será de forma natural, con tomas de aire en la puerta de acceso y en el lado opuesto. En la sala de control, que es donde se instalarán los rectificadores de batería, se instalará un extractor de arranque manual. La climatización consistirá en una unidad de aire acondicionado mural que se instalará en las salas de control y en la de comunicaciones de tal forma que se mantenga la temperatura constante durante todo el año.

La modernización de los diferentes sistemas auxiliares y la unificación de los criterios de explotación, obliga a **redefinir el sistema de alimentación de corriente continua**, puesto que aumenta el consumo debido al aumento del número de equipos de protección y la existencia de un nuevo sistema control que se alimentan a 125 Vcc y 48 Vcc.

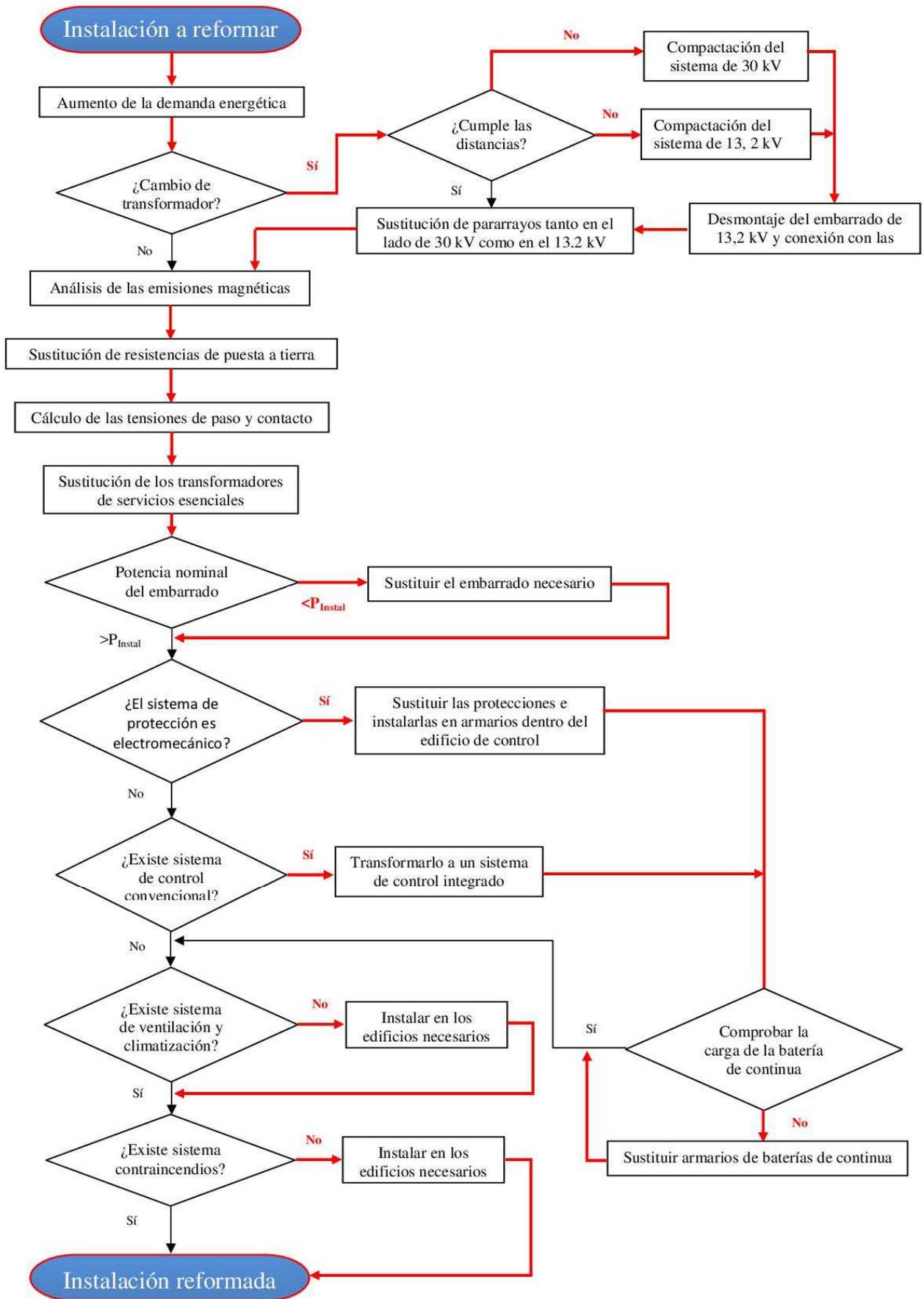


Figura 4.2. Flujograma de la reforma

5. MEMORIA

Durante la realización del proceso de reforma de una subestación de reparto se busca, entre todos los beneficios indicados anteriormente, garantizar y mejorar la calidad de suministro eléctrico en la zona de influencia de la instalación. Por lo tanto ahora se definirá la calidad de suministro, se detallará las características de las instalaciones sobre las que se quiere realizar la reforma, tanto en su configuración, como en la aparamenta que la forman, y posteriormente se detallará, de la misma manera, estas mismas instalaciones tras la reforma, y se realizará una breve descripción de la obra civil que se necesita para realizar la reforma.

5.1 Calidad de suministro

Lo que define que el suministro eléctrico sea de buena o mala calidad es su continuidad y los límites de variación de sus características de tensión y frecuencia. Por lo tanto, los defectos que hacen que la calidad del suministro sea bueno o malo son:

- Distorsión armónica.
- Cortes de suministro.
- Oscilaciones de la tensión.
- Caídas y picos de tensión.
- Fenómenos transitorios.

En España los criterios para determinar la continuidad del suministro eléctrico vienen dados por los índices de calidad zonal TIEPI, y NIEPI según [Real Decreto 1955/2000, 2002]. De tal forma, que si para un cliente se ha incumplido sus condiciones de calidad individual se le aplicará el consiguiente descuento en la factura, teniendo en cuenta que no dan derecho a descuento en facturación las interrupciones programadas, de terceros y las de fuerza mayor, debidamente justificadas. Estos indicadores de continuidad de suministro vienen definidos de la siguiente forma:

TIEPI: Tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada en media tensión.

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k (PI_i \times H_i)}{\sum PI} \quad (1)$$

NIEPI: Es el número de interrupciones equivalente de la potencia instalada en media tensión.

$$NIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k PI_i}{\sum PI} \quad (2)$$

Siendo:

$\sum PI$ = Suma de la potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT (en kVA).

P_{Li} = Potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT, afectada por la interrupción «i» de duración H_i (en kVA).

H_i = Tiempo de interrupción del suministro que afecta a la potencia P_{Li} (en horas). Las interrupciones que se consideran en el cálculo serán las de duración superior a 3 minutos.

K = Número total de interrupciones durante el período considerado.

Las interrupciones producidas en el suministro eléctrico pueden provenir de los centros de control donde se recogen las incidencias con impacto en AT y/o MT y sus afectaciones en centros de transformación y clientes de AT y MT, y las que provienen de los centros de atención al cliente y que recogen las interrupciones de suministro en instalaciones de MT y BT.

La incidencia es la unidad básica de cálculo para el índice NIEPI y agrupa, según la definición, a todas las interrupciones que sufran las instalaciones de la misma zona conectadas eléctricamente por causa del mismo motivo y a partir del mismo instante. La agrupación de las interrupciones en la misma incidencia, debiéndose cumplir en todo caso las relaciones temporal y eléctrica se extenderá hasta la reposición total del servicio, momento en el cual se procede al cierre de la incidencia por haberse informado completamente. Todas aquellas maniobras que se ejecuten orientadas a la reposición del servicio no deben ser computadas como NIEPI.

5.2 Descripción de la instalación a reformar

La disposición eléctrica de las instalaciones a reformar consta de una entrada en aéreo a través de un pórtico de dos líneas de 30 kV que alimentan a la subestación y de uno o dos transformadores, dependiendo del tipo de configuración, que se encuentran en paralelo a la edificación y apoyados sobre una bancada de hormigón y de un foso de recogida de posibles vertidos de aceite, y estos, a su vez, tensionarán las barras de media tensión de la que cuelgan las líneas de distribución.

Consideraremos siempre la sustitución de un transformador por otro de mayor potencia, sin necesidad de cambiar la configuración de la instalación, es decir, sin necesidad de la instalación de un nuevo transformador de potencia añadiéndolo al ya existente. De tal forma, que partiremos de dos tipos de instalaciones:

- Instalaciones con dos posiciones de línea de 30 kV y una posición de transformación, en la que se acometerá un aumento de potencia de 6,3 MVA a 12 MVA.
- Instalaciones con dos posiciones de línea de 30 kV y dos posiciones de transformación de 12,5 MVA. Se sustituirá uno de ellos por otro de 25 MVA.

En el interior de la subestación existirá un vial de 5 m de anchura para el acceso de vehículos y equipos necesarios para el mantenimiento de los elementos de la subestación.

Todos los transformadores, tanto los existentes como los nuevos a instalar, tendrán las mismas características constructivas. Todos serán transformadores trifásicos de potencia de instalación exterior y sumergidos en aceite mineral con refrigeración natural (ONAN), y con refrigeración forzada (ONAF), gracias a unos ventiladores externos adosados a la cuba que aumentan la capacidad de disipación del calor en las superficies de enfriamiento. El grupo de conexión será triángulo-estrella.

5.1.1. Sistema de 30 kV

Ambas configuraciones consistirán en dos líneas que entrarán en aéreo a un pórtico existente en un sistema de simple barra constituido por tubo de cobre de 40/30 mm de diámetro y conectado a bornas del transformador mediante cable desnudo C-150 de 15,75 mm de diámetro.

De cada una de las líneas del sistema de 30 kV cuelgan las posiciones de servicios esenciales, que alimentan a los transformadores esenciales de corriente alterna de la instalación, necesarios para la maniobrabilidad de los interruptores y ruptores de cada una de las líneas. Consta de:

- Un transformador de tensión monofásico de 10 kVA de potencia y relación de transformación $30.000/\sqrt{3}/220$ V.
- Un seccionador unipolar de aislamiento.
- Un fusible de 3 A como protección.

En una subestación con configuración en Y el sistema es de simple barra y alimenta a un transformador 30/13,2 kV. Consta de las siguientes posiciones:

- Dos posiciones de línea convencional de intemperie.
- Una posición de transformador de potencia
- Dos posiciones de servicios esenciales.

Cada línea dispone del siguiente aparellaje:

- Un interruptor trifásico de SF6 de 500 A de intensidad nominal y 9,5 kA de intensidad de ruptura.
- Un seccionador de aislamiento de barras, tripolar, de mando manual, de capacidad de maniobra en carga de 630 A.
- Tres transformadores de intensidad monofásico con dos devanados de intensidad, siendo el primer devanado de clase 0,5 para el circuito de medida, y el segundo de clase 5p20, para el circuito de protección

La posición de transformador dispone de:

- Un seccionador manual y capacidad de maniobra en carga de 630 A.

La disposición eléctrica de este tipo de instalaciones puede ser tal y como se ve en la *Figura 5.1.*:

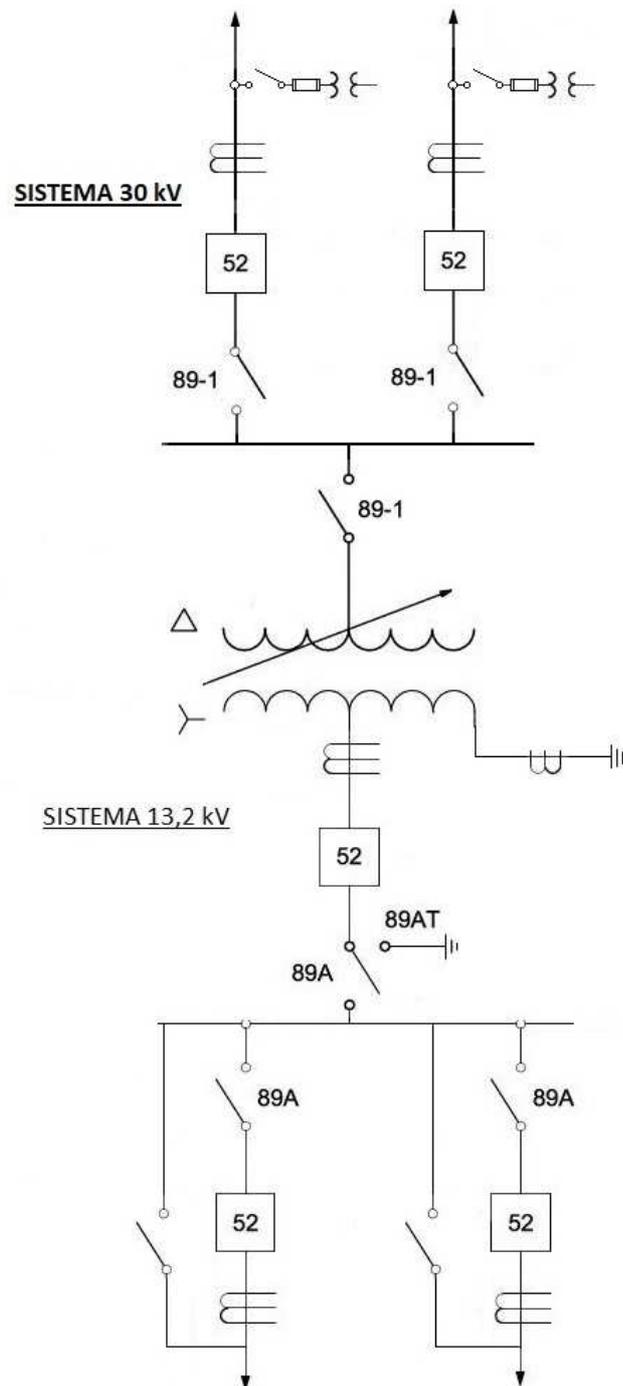


Figura 5.1. Configuración en Y con ruptores en línea

Mientras que, en una subestación con configuración en H, el sistema de 30 kV consiste en un sistema en intemperie de simple barra partida alimentando a dos transformadores de potencia de 30/13,2 kV, y está formada por las siguientes posiciones y aparellaje:

- Dos posiciones de línea convencional con interruptor.
- Una posición de enlace convencional con interruptor.
- Dos posiciones de transformador convencional, T-1 y T-2, sin interruptor.

La disposición eléctrica de este tipo de instalaciones está definida en el esquema de la *Figura 5.2*:

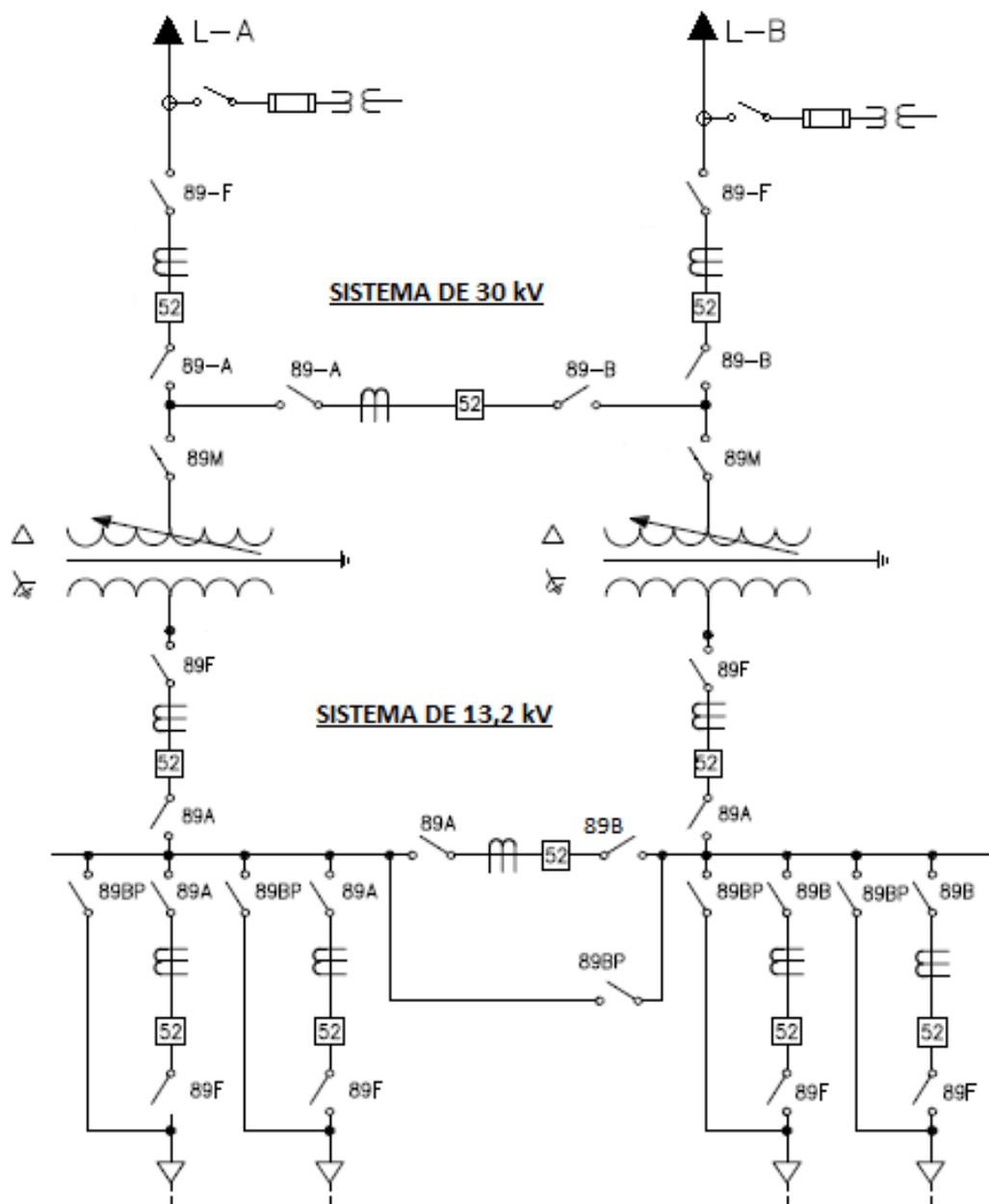


Figura 5.2. Configuración en H

Cada línea está compuesta por:

- Un interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
- Un seccionador de aislamiento de línea, tripolar, de mando manual, de capacidad de maniobra en carga de 630 A
- Un seccionador de aislamiento de barras, tripolar, de mando manual, de capacidad de maniobra en carga de 630 A.
- Dos posiciones de servicios esenciales que alimentan a los transformadores esenciales de corriente alterna de la instalación, que permitirán la maniobrabilidad de los interruptores.
- Tres transformadores de intensidad monofásico con dos devanados de intensidad, siendo el primer devanado de clase 0,5 para el circuito de medida, y el segundo de clase 5p20, para el circuito de protección.

La posición de enlace está constituida por:

- Un interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
- Dos seccionadores de aislamiento de barras, tripolar, de mando manual, de capacidad de maniobra en carga de 630 A
- Tres transformadores de intensidad monofásicos con dos devanados, siendo los dos devanados de clase 5p20, para los circuitos de protección.

Cada una de las posiciones de transformación está formada por:

- Un seccionador de aislamiento de barras, tripolar, de mando manual, de capacidad de maniobra en carga de 630 A.

5.1.2. Posición de transformación

Se disponen de transformadores de potencia de 30/13,2 kV con conexión Dyn11 y regulación en carga. En las instalaciones con configuración en Y el transformador será de 6,3 MVA con refrigeración ONAN, mientras que las instalaciones con configuración en H, cada uno de los dos transformadores serán de 10 MVA de potencia si la refrigeración es ONAN, y de 12,5 MVA si la refrigeración pasa a ser ONAF.

Todos los transformadores disponen, próximo al pasatapas del neutro del arrollamiento de baja tensión en estrella, de dos transformadores de intensidad, de tipo toroidal, servicio exterior, con potencia de 20 VA y clase de protección 5P10. Uno se utiliza para la protección de neutro, y se encuentra en la tapa de la cuba para facilitar el paso del cable de conexión a tierra de neutro a través del transformador de intensidad. El otro, situado junto al anterior, se utilizará para la protección de cuba.

Los transformadores cuentan con pararrayos situados en bornas de 30 y 13,2 kV respectivamente.

Existe un sistema preventivo de contención en previsión de una hipotética pérdida o escape del aceite dieléctrico del transformador, compuesto por un cubeto perimetral al transformador adosado a la losa existente y un receptor de emergencia enterrado de hormigón armado. Los dos elementos (cubeta y receptor de emergencia) están unidos mediante un tubo de fundición de Ø 200 mm y una arqueta intermedia para el cambio de dirección del tubo.

5.1.3. Sistema de 13,2 kV

Sistema constituido por un embarrado rígido y formado por tubo de cobre de 40/30 mm de diámetro y conectado al transformador mediante cable desnudo de cobre tipo C-500 de 28,80 mm de diámetro. Independientemente de la configuración que exista, en los sistemas de media tensión existirán posiciones de línea, y de medida.

- Cada posición de línea consta de:
 - Un interruptor automático tripolar, de corte en SF₆, intensidad nominal de 800 A e intensidad de corte 16 kA.
 - Un seccionador tripolar de aislamiento con capacidad de maniobra en carga de 630 A y mando manual.
 - Tres transformadores de intensidad monofásicos de dos devanados, uno de protección y otro de medida.
 - Un seccionador tripolar de by-pass y mando manual.

- Medida y embarrado principal:
 - Tres transformadores de tensión inductivos, en el extremo del embarrado principal.

En subestaciones con configuración en Y, el sistema de MT presenta una configuración en simple barra que se alimenta del transformador 30/13,2 kV y está compuesta por las siguientes posiciones:

- Dos posiciones de línea convencional de intemperie con interruptor.
- Una posición de transformador de potencia convencional de intemperie.
- Una posición de medida convencional de intemperie sin interruptor, instalada en el extremo de la barra.

Aparamenta:

- Posición de transformador:
 - Un seccionador tripolar de conexión a barras con capacidad de maniobra en carga de 630 A y mando manual.
 - Un interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Tres transformadores de intensidad monofásicos con un devanado de protección y otro de medida.

Sin embargo, en instalaciones con configuración en H, las barras de MT serían un sistema de simple barra partida en intemperie compuesta de:

- Posiciones de línea convencionales con interruptor.
- Dos posiciones de transformador de potencia convencional.
- Una posición de medida convencional sin interruptor, instalada en el extremo de la barra.
- Una posición de enlace de barras con interruptor.

Aparamenta:

- Posición de transformador:
 - Un interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Un seccionador tripolar de aislamiento espalda-espalda, de capacidad de maniobra en carga de 630 A y mando manual
 - Tres transformadores de intensidad monofásicos con dos devanados, uno de protección y otro de medida.

- Posición de Enlace de barras:
 - Un interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
 - Un seccionador tripolar de aislamiento espalda-espalda, de capacidad de maniobra en carga de 630 A y mando manual.
 - Tres transformadores de intensidad monofásicos con dos devanados, uno de protección y otro de medida.
 - Un seccionador tripolar de by-pass y mando manual.

5.1.4. Edificio

En la subestación existe un edificio de una sola planta, en el que se encuentran los paneles de control, medida y señalización, así como los equipos de protección electromecánicos de cada uno de los transformadores existentes.

Los equipos de protección electromecánicos de las líneas de media tensión, pueden estar en cajas de intemperie instaladas en cada línea, o bien, pueden estar en el edificio en armarios dedicados, o en el mismo panel de control en el que se encuentran las protecciones del transformador.

Además del panel de control, mando y protección, en el edificio se encuentra el armario de comunicaciones, los servicios auxiliares de corriente continua, formado por un equipo compacto rectificador-batería alimentado a 220 V–50 Hz y salida a 125 V de corriente continua y una capacidad de 30 Ah, y los armarios de servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua.

5.1.5. Análisis de las emisiones magnéticas

En las instalaciones sobre las que se va a actuar, se tienen realizados los cálculos necesarios para la comprobación de los niveles máximos del campo magnético que, por razón de la actividad de la subestación, puedan alcanzarse en dicho entorno, y su comparación con los límites establecidos en la normativa vigente en términos de límites técnicos en relación a las condiciones de protección de las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria establecidas en dicha normativa.

Los niveles de referencia para campos eléctricos y magnéticos vienen definidos en la tabla adjunta:

*Tabla 5.1. Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos
[Real Decreto 1066/2001, 2001]*

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E	Intensidad de campo H	Campo β	Densidad de potencia equivalente de onda plana
	(V/m)	(A/m)	(μ T)	(W/m ²)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	
8-25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$	
0,025-0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,8-3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15-1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1-10 MHz	$87 // f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10-400 MHz	28	$0,73 / f$	0,092	2
400-2.000MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 / f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
3-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Niveles de referencia:

- Rango de frecuencia: 0,025-0,8 kHz
- Campo β : $5 / f$ (μ T)

Por lo tanto:

$$\frac{5}{f} = \frac{5}{0,05 \text{ kHz}} = 100 \mu T$$

Para el campo magnético generado a la frecuencia industrial de 50 Hz, el nivel de referencia establecido es de 100 microteslas (100 μ T).

Los análisis y el estudio de la emisión magnética producida en cada una de las instalaciones rurales se han realizado a través de un programa de simulación de campos magnéticos.

Los resultados obtenidos a través de la simulación informática son corroborados por las mediciones y muestras de campo magnético realizadas en otras instalaciones de características similares en funcionamiento.

El estudio se realiza para los requerimientos de campos fuera de los límites de la subestación, por lo que no se darán valores de campo interiores, ya que son zonas privadas e inaccesibles al público.

Únicamente se consideran como fuentes de campo magnético los equipos y cables eléctricos existentes en el interior del cerramiento, no así los tramos de cable que pudiera haber en el exterior del cerramiento y otros equipos eléctricos ajenos a la subestación que pudiera haber en el exterior.

Para realizar el estudio, se considera un grado de carga del 100% en cada uno de los principales equipos (transformadores, líneas,..), para considerar una situación en la que se presentaría el mayor grado de emisión de campos electromagnéticos.

Una vez conocidos los valores genéricos del campo magnético de cada uno de los elementos potencialmente generadores del mismo, mediante estudios realizados a tal fin, se estipulan los valores reales teniendo en cuenta la superposición de los mismos, es decir, aplicar el concepto de que el campo magnético existente en un punto es la suma del campo magnético generado por cada una de las fuentes de campo magnético en ese preciso punto. Hay que considerar que el campo magnético es una magnitud vectorial, por lo que la suma a realizar en dichos puntos es vectorial.

Los resultados del campo magnético generado por las principales fuentes de campo magnético deben manifestar un máximo nivel de campo magnético por debajo del nivel de referencia, tanto junto al cerramiento próximo al pórtico de entrada de las líneas de 30 kV, como junto al cerramiento próximo al apoyo de las entradas de las líneas de 13,2 kV. Estos niveles de campo disminuyen a medida que nos alejamos de la subestación.

El resto de fuentes de campo magnético, como el aparellaje, no es simulado dado que los valores de emisión en el exterior son despreciables. En cuanto al edificio de control, que alberga equipos de baja tensión, las intensidades existentes por estos equipos son bajas, luego igualmente son bajos los campos magnéticos generados y se consideran despreciables.

Por lo tanto, partimos de límites de radiación emitidos muy por debajo de los límites técnicos establecidos en la normativa vigente.

5.1.6. Disposición eléctrica

Los materiales empleados en las instalaciones tienen las características de aislamiento más apropiadas para su función.

Los niveles de aislamiento, tanto para aparatos como para las distancias en el aire, vienen especificados en el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión [ITC-RAT 12, 2014], y se calculan en función de los niveles de tensión más elevados.

En función de estas tensiones, dicho Reglamento especifica las normas a seguir para la fijación de las distancias mínimas a puntos en tensión, aunque serán siempre superiores a las especificadas en dicha norma.

Por otra parte, según la instrucción [ITC-RAT 15 punto 3.1.2, 2014], los elementos en tensión no protegidos que se encuentran sobre los pasillos están a una altura mínima H sobre el suelo, medida en centímetros, que será función de la distancia mínima a puntos en tensión determinada por los niveles de tensión.

Según la instrucción [ITC-RAT 14 punto 6.1.1, 2014], tanto en instalaciones de interior como de exterior, la anchura de los pasillos de servicio tiene que ser suficiente para permitir la fácil maniobra e inspección de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos en las operaciones de montaje o revisión de los mismos.

Todas las instalaciones se encuentran protegidas por una valla, enrejado, u obra de fábrica de una altura de 2.20 metros como mínimo, medida desde el exterior, provista de señales de advertencia de peligro por alta tensión, con objeto de advertir sobre el peligro de acceso al recinto a las personas ajenas al servicio.

5.1.7. Tierras inferiores

Todas las subestaciones eléctricas disponen de una instalación de tierra diseñada de tal forma que toda persona quede protegida en cualquier punto accesible desde el interior o el exterior de la instalación, o por donde puedan circular o permanecer y exista el riesgo de exponerse a una tensión peligrosa durante cualquier defecto en la instalación eléctrica o en la red unida a ella.

Los datos en los que se basan los cálculos de la malla de tierra son:

- Datos del sistema eléctrico
 - Frecuencia de la red 50 Hz
 - Relación impedancias (X/R) 20
 - Tiempo despeje falta (tf) 0,5 s
 - Relación de tensiones 30/13,2 kV
- 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
 - Resistividad media del terreno (ρ) ρ Ohm·m¹
 - Cable de tierra del conductor Redondo de acero de diámetro 16 mm
- Datos de la malla de acero:
 - Coeficiente térmico resistividad (20°C) $\alpha_r = 0,005$ °C⁻¹
 - Coeficiente ($1/\alpha_0$ a 0°C) $K_0 = 300$ °C
 - Resistividad 20°C $\rho_r = 13$ $\mu\Omega/cm$
 - Temperatura máxima admisible $T_m = 300$ °C

La instalación de tierra está diseñada de forma que no produzcan calentamientos que puedan deteriorar sus características o aflojar los elementos desmontables, y está calculada en función de la intensidad de falta a tierra que puede circular a través de la parte afectada en cada uno de los niveles de tensión y del tiempo de duración de la falta.

Puesto que la puesta a tierra de los transformadores se realiza a través de una reactancia de 4 Ω , para el cálculo de la tensión de paso y contacto se ha utilizado directamente la intensidad de cortocircuito, sin aplicarle ningún coeficiente de corrección.

Todas las partes metálicas de la instalación que no se encuentran en tensión están conectadas a la malla de puesta a tierra de protección, así como los chasis y bastidores de aparatos de maniobra, los

¹ Dato calculado en un informe realizado por empresa especializada.

envolventes de los conjuntos de armarios metálicos, las puertas metálicas de los locales, los blindajes metálicos de los cables, o las carcasas de los transformadores.

La malla de tierra está constituida por una retícula, espaciada según cálculos que garantiza que no se supera en ningún punto de la instalación las tensiones de paso y contacto, y se realizada con conductor de cobre desnudo de 95mm^2 . Existen además picas metálicas de 2,00 m de longitud de puesta a tierra, conectadas todas ellas a la malla, en todos los puntos donde es necesario mejorar la efectividad de la puesta a tierra, como por ejemplo en cada conjunto de pararrayos, y en borde y esquinas de la malla. Los viales no hormigonado y franjas de servicio junto al vallado perimetral está recubierto por una capa de grava de 10 cm de espesor.

Se tiene en consideración el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión (Real Decreto 337/2014, de 9 de Mayo) [ITC-RAT 13, 2014], tanto para el cálculo de la malla de tierra como para el mantenimiento de las mismas, de tal forma que las instalaciones han sido revisadas, al menos, una vez cada tres años a fin de comprobar el estado de las mismas.

5.1.8. Estructuras metálicas

Todas las estructuras metálicas empleadas en las instalaciones corresponden a diseños normalizados, formados por perfiles tubulares de acero laminado y posteriormente galvanizado, y en los pilares coronados en su parte superior por perfiles metálicos para sujeción de la aparatada. Este tratamiento del material le confiere protección frente a las agresiones externas.

Se complementan con herrajes y tornillería auxiliares para la fijación de las cajas de centralización, la sujeción de cables y otros elementos accesorios.

Sus características se detallan a continuación:

• Tipo acero	Acero laminado S 275 JR
• Límite elástico	2.804 kg/cm ²
• Tensión de rotura	4.027 kg/cm ²
• Peso específico	7,85 kg/dm ³
• Coeficiente de Poisson ν s	0,3
• Coeficiente de dilatación	1,2·10 ⁻⁵ m/m°C
• Coeficiente de minoración	1,10; 1,10; 1,25

Para determinar el tipo de material y sus características, se consideraron:

- Los datos permanentes, como son el peso propio de la estructura, el de los cables y cadenas, así como el del tiro de dichos conductores
- Las acciones variables, es decir, las debidas al uso o carga operacional de mantenimiento, las debidas a la climatología, o las debidas a la acción del viento (considerando una velocidad $v=140$ km/h, según el Reglamento de líneas eléctricas aéreas de alta tensión de categoría especial)
- Las acciones accidentales, es decir, aquellas, que aún teniendo pocas probabilidades de que ocurran, tienen efectos importantes, como sismos, cortocircuitos, o rupturas de cable.

5.1.9. Embarrado

El embarrado rígido está formado por las barras principales que están constituidas por tubo de cobre de 40/30 mm de diámetro, que admite un paso de corriente permanente de 1.210 A, que para el sistema de 30 kV equivale a una potencia nominal en el embarrado de 62,87 MVA, y para el sistema de 13,2 kV equivale a una potencia nominal en el embarrado de 27,66 MVA.

Mientras que el embarrado flexible está formado por el conjunto de interconexiones que existen entre el transformador de potencia y la salida de bornas del devanado primario hasta su conexión con el embarrado principal de 30 kV. Este embarrado está constituido por cable de cobre desnudo C-150 de 15,75 mm de diámetro, equivalente a 147,10 mm², que admite un paso de corriente permanente de 512. A, que equivale a una potencia nominal en el embarrado de 26,60 MVA.

También forma parte de este embarrado flexible las interconexiones existentes entre el transformador de potencia y la salida de bornas del devanado secundario hasta su conexión con el embarrado rígido existente. En este caso se utiliza cable desnudo de cobre, tipo C-500 de 28,80 mm de diámetro, equivalente a 490,6 mm², que equivale a una potencia nominal en el embarrado de 25,79MVA.

5.1.10. Servicios auxiliares

Se conoce como servicios auxiliares al sistema de alumbrado, fuerza, ventilación, climatización y sistema contra incendios, que existe en estas instalaciones.

Sistema alumbrado y fuerza

La subestación dispondrá de un sistema de alumbrado exterior y otro en el interior del edificio de control con un nivel lumínico suficiente como para poder efectuar las maniobras con el máximo de seguridad.

El alumbrado exterior se compone de proyectores colocados sobre columnas de 3-4 m de altura, farolas para el alumbrado del vial de acceso y cerramiento, plafón de aplique sobre la puerta de acceso del edificio de control, y el alumbrado de emergencia compuesto por luminarias adicionales que se instalarán en el mismo báculo o soporte del alumbrado general, y con una autonomía mínima de dos horas de funcionamiento y un nivel de iluminación del 50% del normal.

El alumbrado interior se compone de pantallas y luminarias de emergencia que identificarán la puerta de salida.

En el edificio de control y protección se encuentra el cuadro de servicios auxiliares de corriente alterna, desde donde se distribuirán las conexiones eléctricas para el edificio, y para el alumbrado exterior.

Este sistema se protegerá por medio de interruptores magnetotérmicos y relé diferencial, y está realizado mediante cableado, conexionado, cajas de derivación incluyendo bornas, molduras o canalizaciones con tabiques separadores y molduras simples de derivación.

El cableado responde a las siguientes características:

- Tensión máxima de servicio 750 V
- Sección mínima 2,5 mm²

Garantizando una caída de tensión inferior al 3% en los circuitos de alumbrado y del 5 % en los circuitos de fuerza, según establece el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [Real Decreto 842/2002, 2002].

Sistema de ventilación y climatización

En el edificio de control y protección la renovación del aire se realiza mediante ventilación natural, a través de ventanas situadas frente al panel de control, o a través de rejillas situadas en lados opuestos del edificio y en la parte inferior de la puerta de acceso.

La climatización es inexistente en los edificios.

Sistema contraincendios

El edificio de control y protección consiste en un edificio de una única planta y con una única sala, por lo que no ha sido necesario realizar una sectorización del espacio. En cuanto al edificio en sí, los materiales empleados para su construcción (pétreos, cerámicos y metálicos, así como los morteros, hormigones o yesos), tienen una estabilidad frente al fuego muy superior a la exigida por la norma. La puerta peatonal de acceso al edificio también tiene una resistencia al fuego muy superior a la exigida por la norma.

Los huecos de paso de cables al edificio se encuentran sellados adecuadamente. Los cables de control son no propagadores de llama, sin emisión de halógenos y con emisión de humo y opacidad reducida. Se ha aplicado a modo de cortafuegos una longitud de 1 m de pintura intumescente, aproximadamente cada 3 m y en los cruces de las bandejas de cables.

En las canalizaciones de alta tensión se ha tenido en cuenta el peligro de incendio, su propagación y consecuencias, por lo que las canalizaciones son amplias con una ligera inclinación hacia los pozos

de recogida de aguas, o bien provistas de tubos de drenaje, y se mantienen separados de los cables auxiliares de medida, mando, etc.

En todas las instalaciones existen extintores de incendios portátiles en el interior de los edificios de control, cuyo emplazamiento permite la fácil visibilidad y accesibilidad.

Los extintores y su agente extintor serán seleccionados e instalados de acuerdo con lo indicado en el apéndice I del Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios [Real Decreto 512/2017, 2017] y en el anexo III, punto 8, del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales [Real Decreto 2267/2004, 2004].

El número de extintores vendrá determinado por las dimensiones de la instalación, siendo lo más frecuente:

- Sala de Control y comunicaciones: 1 extintor de CO₂ de 5 kgs (Eficacia 89B).
- Parque Intemperie: Un extintor móvil sobre ruedas de polvo seco ABC 50 kg (eficacia 233B), situado a una distancia máxima de 15 m del transformador.

No existe, y no es necesario, un sistema de evacuación de humos.

Todas las salidas de uso habitual o de emergencia y los medios manuales de protección contra incendios están perfectamente señalizados con carteles de poliestireno con anagrama, texto y borde fotoluminiscente.

Sistema de control y protección

Las instalaciones poseen un sistema de control con la capacidad suficiente para poder cumplir con las exigencias de explotación de la misma, y con la capacidad de maniobra suficiente para adaptar su topología a cada situación, de tal modo que siempre se garantice el suministro.

Este control de la subestación se realiza de forma convencional, es decir, desde un bastidor de control, en el que se encuentran los mandos y la disposición eléctrica de la instalación. Mediante un mímico, el operador tiene la indicación y la posibilidad de maniobrar todos aquellos elementos de corte, como son los interruptores (aunque, todos los interruptores automáticos están equipados con un dispositivo de apertura local) para conectar, desconectar, o aislar una línea o transformador para su mantenimiento, mientras que los seccionadores sólo tendrán la capacidad de señalización, puesto que son de mando manual..

Debido a las altas tensiones con las que trabajan los elementos de corte y aislamiento, es necesario tomar precauciones en el momento de realizar maniobras. Estas precauciones deben ser tales que aseguren al operador la imposibilidad de realizar maniobras peligrosas para las personas y los equipos.

Para ello se utilizan las lógicas de enclavamientos que pueden ser de forma eléctrica, y/o de forma mecánica, mediante llaves de enclavamiento. Esto sucede siempre que los interruptores o seccionadores están asociados a seccionadores de puesta a tierra, o seccionadores de by-pass.

Para una mejor calidad del servicio en el suministro de energía es necesario un adecuado valor de la tensión en barras de la instalación. Esto se consigue dotando de regulación de tensión a los transformadores, que actuarán tanto de forma automática, como de forma manual (ya sea local o remotamente). Para que la regulación se realice correctamente de forma automática es necesario definir previamente la tensión deseada, la sensibilidad y el tiempo de actuación.

En todas las subestaciones con doble línea de energización existen automatismos electromecánicos instalados a modo de enclavamientos que no permiten el cierre simultáneo de los interruptores de AT durante un tiempo definido. Este automatismo realiza la conmutación entre las líneas de alimentación de forma voluntaria, o de forma automática ante una falta de tensión en alguna de las líneas debido a una falta eléctrica. Si la tensión se recupera, el automatismo es capaz de volver al sistema a la situación inicial de explotación tras el tiempo de normalización de forma automática.

Todos los interruptores de potencia son de intemperie con aislamiento en SF6, por lo que se dotarán de dos niveles de detección de posibles fugas. El primero genera una alarma y el segundo bloquea la maniobra del interruptor, tanto el cierre como a apertura. Nunca provocará la apertura.

Tanto las líneas, el transformador de potencia o el enlace, si existiese, del sistema de MT están dotados de protecciones de sobreintensidad no direccionales, que pueden ser electromecánicas o digitales. Independientemente de su naturaleza, estas protecciones deben actuar ante sobrecargas, y faltas entre fases y monofásicas a tierra, para lo que disponen una unidad de fase y otra de tierra con dos características de tiempo ajustable y regulable de forma independiente:

- Unidad temporizada: definida por el arranque y la curva de disparo.
- Unidad instantánea: definida por el arranque y el tiempo fijo de disparo ajustable.

En función de la intensidad de cortocircuito en barras de MT se ha calculado el ajuste de las protecciones con la finalidad de conseguir una correcta coordinación entre los transformadores de potencia con los relés del enlace de barras, si existiese, y las líneas de cabecera.

Además de estas protecciones, cada posición está dotada de la posibilidad de un cierre automático, o reenganchador, tras disparo por falta en el sistema. También existen equipos para la vigilancia tanto de las bobinas de cierre y como las de disparo de los interruptores, y en caso de fallo de algunas de las bobinas se generará una señal de alarma tanto en el panel de control como por telemando.

Los circuitos de disparo son limpios desde el contacto de la protección a la bobina del interruptor, eludiendo la utilización de relés auxiliares. La protección de sobreintensidad de la posición de transformador está conectada a los transformadores de intensidad de Bushing.

El transformador de potencia está dotado de una protección de cuba que se conectará al transformador de intensidad toroidal instalado para tal función.

En los transformadores existe la protección de Buchholz, para la protección ante cualquier anomalía magnética o eléctrica que se presente en el interior del transformador, y la protección de Jansen, para la protección ante las anomalías que se presenten en el interior del regulador de tensión. Cualquiera de estas protecciones de máquina actuará sobre relés basculantes que provocarán la apertura de todos los interruptores conectados a ella, y su posterior bloqueo en el cierre. Los disparos a los interruptores son directos desde los relés basculantes y el bloqueo de cierre tendrá un rearme tanto local como por telemando. La señalización de la actuación de cada una de las protecciones de máquina también se hará a través de estos relés basculantes.

Toda esta información es recogida y enviada vía módem por R.T.C., o radio mediante onda portadora, a un puesto central de análisis de incidencias y maniobras. Se envía el estado de los interruptores y seccionadores, la actuación de las protecciones de las líneas y las propias individualizadas del transformador, la actuación de los automatismos, y las señales propias de los interruptores (SF6, Muelles destensados...).

5.2. Alcance del proyecto

La necesidad de garantizar la cobertura adecuada a la demanda exigida en el ámbito de influencia de la instalación a reformar y la imposibilidad de conseguirlo con la potencia instalada, nos obliga a realizar una ampliación de potencia en la subestación por lo que se debe sustituir un transformador de potencia existente por otro de mayor potencia. Las mayores dimensiones del nuevo transformador nos obligan a comprobar que se mantienen las distancias mínimas de seguridad determinadas para los niveles de tensión en los que estamos trabajando y, dependiendo de la disposición de la aparamenta dentro de la instalación tras la sustitución del transformador, podemos llegar a la conclusión de que el aumento de potencia en una subestación rural, no tiene por qué implicar un cambio en la forma de explotación de la instalación, pudiéndose mantener la instalación tipo exterior, aunque por razones ambientales y de seguridad puede decidirse a realizar la compactación mediante celdas de SF₆ de los sistemas de AT y/o de MT.

Aunque se mantenga la configuración y la disposición eléctrica de la subestación, la sustitución del transformador implicará la sustitución de los pararrayos de 30 V y de 13,2 kV que se encuentran en el transformador, y del sistema de recogidas del aceite dieléctrico, puesto que el depósito auxiliar tiene que ser capaz de almacenar el volumen del transformador de mayor potencia, el cual es el que se va a cambiar. También se aprovechará para la sustitución de las protecciones existentes de todas las posiciones y del sistema de control y comunicaciones, pasando todo el sistema de control y señalización convencional a un sistema de control y señalización integrado, con el fin de facilitar el manteniendo de la instalación y garantizar la seguridad del personal y de la aparamenta. También se realizaría la sustitución de la resistencia de puesta a tierra pasando a montar, a la altura del suelo, una resistencia monofásica de 17Ω. Con la sustitución de las protecciones y con el fin de unificar los criterios de explotación de las instalaciones se dotarán de mayores protecciones en la posición de transformador.

Independientemente de la sustitución del transformador, se realizará una sustitución de los cuadros de servicios auxiliares tanto de corriente alterna como de corriente continua, y se implementarán, en las instalaciones que no hubiese, las medidas protecciones pasivas, protección contra incendios y de sistema anti-intrusismo. También se realizará la sustitución de los transformadores de servicios esenciales instalados en las líneas de AT.

Se comprobaría que las emisiones magnéticas están dentro de los límites establecidos en la normativa, y que tanto el embarrado como las tierras inferiores mantienen las condiciones técnicas de seguridad para la nueva potencia instalada.

Si el aumento de potencia hace que las distancias mínimas de seguridad no se cumplan, por lo que no se garantiza la seguridad del personal, se pasará a realizar una compactación de la instalación con el objetivo de normalizar la tipificación en la fabricación de material eléctrico, facilitar el desarrollo de futuras modificaciones que se puedan generar en las subestaciones por motivos de aumento de cargas, y mejorar la seguridad del personal e integridad de los bienes que se ha perdido tras el aumento de potencia de la instalación.

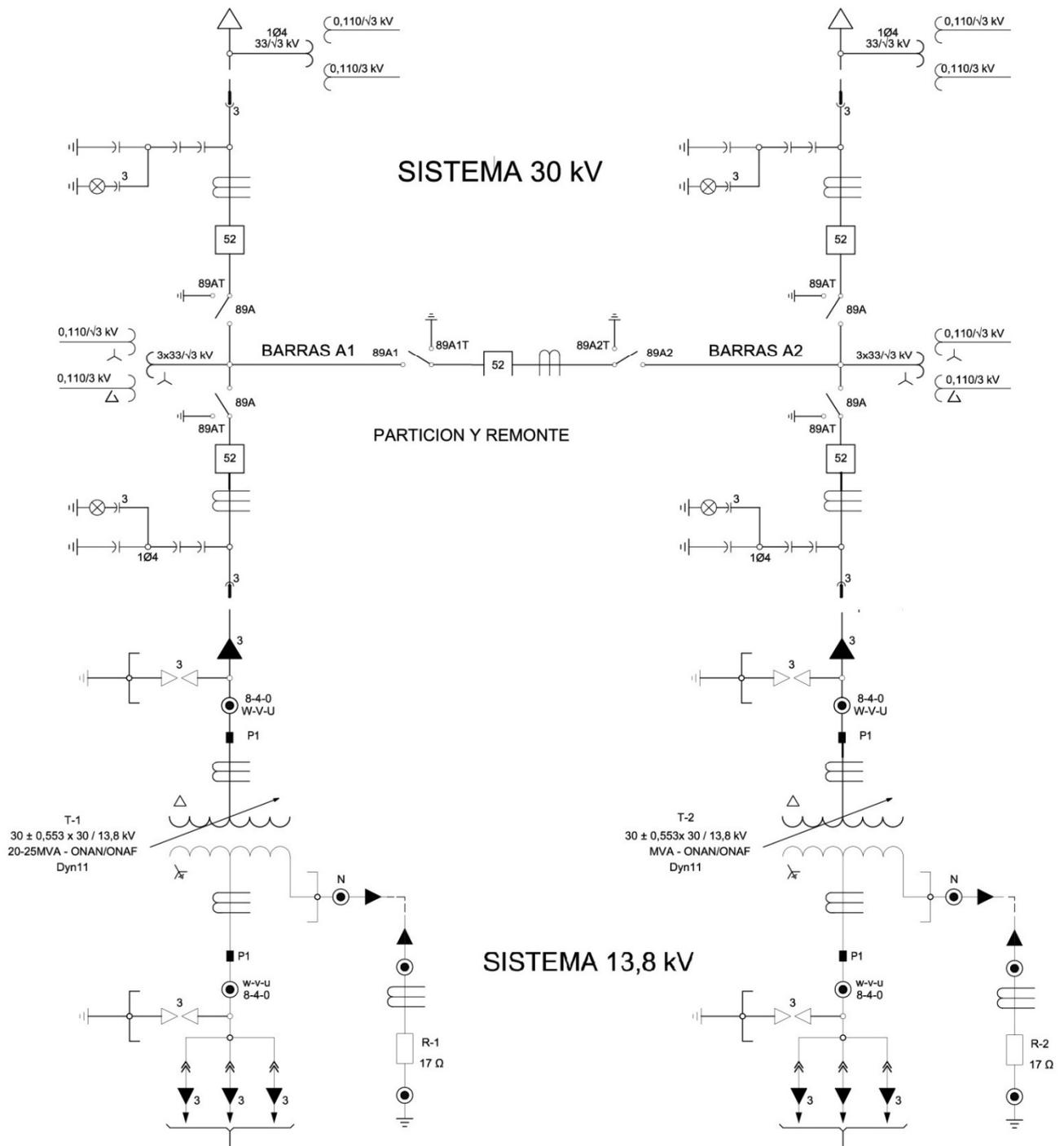


Figura 5.3. Esquema simplificado del sistema de 30 kV compactado y configuración en H

Bajo esta premisa, el alcance del proyecto será la realización tanto de la compactación del sistema de 30 kV y como la de 13,2 kV, además de la sustitución del transformador, y la realización de todos los trabajos definidos anteriormente.

La compactación de la subestación no implica la modificación de las configuraciones eléctricas de las que partimos, es decir, tanto las subestaciones con la configuración en Y como las subestaciones con la configuración en H mantendrán sus respectivas configuraciones, aunque en el caso de las instalaciones con doble posición de transformación se dotará a la posición de AT de interruptor, seccionador y transformadores de intensidad, como se puede observar en la *Figura 5.3*.

La compactación sí implica la realización una fuerte obra civil, puesto que el conjunto de celdas se instalarán en edificios prefabricados para cada nivel de tensión, un módulo para el sistema de 30 kV y uno o dos para el sistema de 13,2 kV, dependiendo de si se trata de una semibarra partida o no, puesto que se instalarán en edificios independientes. El edificio de control se reformará para dar cabida a los armarios de comunicación, control y protección.

En el caso de tener que eliminar el pórtico de entrada de las líneas de 30 kV, éste se sustituirá por un soporte en el que se dispondrán pararrayos, aisladores y embarrados auxiliares para permitir la fijación y conexión del cable aislado y sus terminaciones. Este conjunto se situará entre el seccionador de aislamiento de línea y el transformador de tensión de línea.

No se indicará ni valorará el modo de realizar esta reforma, se supone que para realizar los trabajos requeridos se tendrá la instalación sin tensión, ayudándose para ello de subestaciones móviles. Por lo tanto, constituye un proyecto tipo que puede ser adaptado a las circunstancias especiales de cada caso.

5.2.1. Sistema de 30 kV

Consistirá en dos líneas que entrarán en aéreo al pórtico existente y se conectarán a un sistema de celdas con protección blindada metálica mediante cable tipo HEPRZ1-18/30 kV 1x240 mm² Al, uno por fase y cada una de ellas estará equipada con un juego de tres autoválvulas-pararrayos, en el tránsito a cable seco.

La unión de esta celda con el transformador de potencia se realizará con cable tipo HEPRZ1-18/30 kV 1x240 mm² Al, conectado a un embarrado tubular de Cu \varnothing 30/20 mm y soportado por dos aisladores tipo C4-250. La derivación del embarrado tubular a las bornas del transformador de potencia estará realizada con cable desnudo de cobre de 150 mm² de sección y 15,75 mm de diámetro.

Las características eléctricas más esenciales de los interruptores [UNE-EN62271-100, 2011] que incorporan las celdas son las siguientes:

- Tensión de aislamiento asignada 36 kV
- Tensión de servicio nominal 30 kV
- Tensión soportada 1 minuto frecuencia industrial 70 kV
- Tensión soportada a impulso (1,2/50 microsegundos) 170 kV
- Intensidad asignada de servicio continuo 400 A
- Poder de corte simétrico 20 kA
- Aislamiento SF6

Las características eléctricas más esenciales de los seccionadores [UNE-EN62271-102, 2005] que incorporan las celdas son las siguientes:

- Tensión de aislamiento asignada 36 kV
- Tensión de servicio nominal 30 kV
- Tensión soportada 1 minuto frecuencia industrial 70 kV
- Tensión soportada a impulso (1,2/50 microsegundos) 170 kV
- Intensidad asignada de servicio continuo 400 A
- Intensidad admisible de corta duración 20 kA
- Corriente de fuga en posición de abierto $\leq 0,5$ mA
- Aislamiento SF6

Los seccionadores serán de accionamiento manual.

Las características eléctricas más esenciales de los transformadores de tensión que incorporan las celdas son las siguientes:

- Tensión de aislamiento asignada 36 kV
- Tensión de servicio nominal 30 kV
- Frecuencia 50 Hz
- Relación de transformación $33:\sqrt{3}/0,110:\sqrt{3}$ kV
- Potencias y clase de precisión 20 VA, CL 0,5

Se desmontan las dos posiciones de servicios esenciales y se sustituirán por transformadores de servicios auxiliares trifásicos de características principales:

- Tensión primaria 13,2+2,5+5+7,5+10% kV
- Tensión secundaria 0,420 – 0,242 kV
- Potencia nominal 50 kVA
- Grupo de conexión Yzn11
- Refrigeración ONAN
- Aislamiento Baño aceite mineral
- Tipo de servicio Continuo

Su ubicación dependerá del espacio disponible dentro de la instalación, pudiendo estar montado en el parque de intemperie sobre soporte metálico, o en un cubículo independiente dentro del edificio.

El transformador se conecta a su correspondiente celda de MT a través de una terna de cable de aislamiento seco HEPRZ1 12 / 20 kV 400 mm² Al. En la conexión de los cables aislados con la salida de bornas del transformador y con la celda se emplearán terminaciones enchufables. Se conectará en baja tensión al cuadro de servicios básicos de c.a. instalado en el interior del edificio.

En una subestación de configuración en Y se mantendrá la configuración de simple barra.

En este caso las dos posiciones de servicios esenciales se sustituirán por un único transformador de servicios auxiliares.

Se sustituirá el sistema de intemperie constituido por ruptores motorizados por celdas compactas con aislamiento en SF6 con interruptores automáticos de corte en vacío [UNE-EN62271-200, 2005]. En la posición de transformador se sustituirá el interruptor trifásico de SF6 por otra celda con interruptor-seccionador (ruptor) motorizado de tres posiciones: abierto, cerrado y puesto a tierra que permitirá comunicar el embarrado con los cables de acometida del transformador, seccionar esta unión y poner a tierra las tres bornas de los cables de A.T. simultáneamente. También se anulará el seccionador de by-pass. De tal forma que el sistema queda conformado por un módulo de tres celdas bajo protección blindada metálica, dotadas con las siguiente aparamenta:

- Dos posiciones de línea:
 - Un interruptor automático de corte en vacío.
 - Un interruptor-seccionador (ruptor) de tres posiciones: abierto, cerrado y puesto a tierra.
- Una posición de transformador:
 - Un interruptor-seccionador (ruptor) motorizado de tres posiciones: abierto, cerrado y puesto a tierra.

Las características eléctricas esenciales de interruptores, seccionadores y transformadores de tensión ya están definidas. Los transformadores de intensidad que incorporan las celdas serán de tipo toroidal, con dos devanados, uno de protección utilizado para el relé diferencial y otro de medida. Sus características eléctricas son:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| • Tensión de aislamiento asignada | 36 kV |
| • Tensión de servicio nominal | 30 kV |
| • Potencias y clases de precisión | 0,2 VA, 5P20
15 VA, 5P20 |

En una subestación con configuración en H se mantendrá la configuración simple barra partida.

En este caso las dos posiciones de servicios esenciales se sustituirán por dos transformadores de servicios auxiliares.

Se sustituirán las posiciones de intemperie con interruptor automático, seccionador de aislamiento y transformadores de intensidad por celdas compactas con aislamiento en SF6, montándose dos celdas de línea, dos celdas de transformador de potencia, una celda de partición de barras y una última de celda de unión de barras

Las celdas de estos módulos son de ejecución metálica para instalación en interior y van dotadas con la siguiente aparamenta:

- Posición de línea
 - Un interruptor automático.
 - Un seccionador manual de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres terminales enchufables para cables
 - Un transformador de tensión conectado a la fase central.
 - Tres transformadores de intensidad tipo toroidal.
- Posición del transformador de potencia:
 - Un interruptor automático.
 - Un seccionador de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres terminales enchufables.
 - Tres transformadores de intensidad tipo toroidal.
- Posición de partición:
 - Un interruptor automático.
 - Un seccionador de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres transformadores de intensidad.
 - Tres terminales enchufables.
- Posición de unión:
 - Un seccionador de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres terminales enchufables.

Las características eléctricas esenciales de interruptores, seccionadores y transformadores de tensión ya están definidas. Los transformadores de intensidad que incorporan las celdas serán de tipo toroidal, con dos devanados, uno de protección utilizado para el relé diferencial y otro de medida. Sus características eléctricas son:

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| • Tensión de aislamiento asignada | 36 kV |
| • Tensión de servicio nominal | 30 kV |
| • Relación de transformación | 600/5-5 |
| • Potencias y clases de precisión | 15 VA, 5P20
20 VA C1 0,5 |

5.2.2. Posición de transformación

Se equipará con tres nuevos pararrayos tanto en 30 kV como en 13,2 kV.

Las características principales de los pararrayos instalados en 30 kV son:

- Tensión asignada 33 kV
- Tensión máxima de servicio continuo 27 kV
- Intensidad nominal de descarga (onda 8/20 μ s) 10 kA
- Clase de descarga 1
- Tensión residual a impulsos tipo rayo (10 kA 8/20 μ s) ≤ 100 kV
- Tensión residual a impulsos tipo maniobra ≤ 80 kV

Y las de los pararrayos instalados en 13,2 kV son:

- Tensión asignada 15 kV
- Tensión máxima de servicio continuo 12 kV
- Intensidad nominal de descarga (onda 8/20 μ s) 10 kA
- Clase de descarga 1
- Tensión residual a impulsos tipo rayo (10 kA 8/20 μ s) ≤ 50 kV
- Tensión residual a impulsos tipo maniobra ≤ 40 kV

Los pararrayos a utilizar serán de óxidos metálicos sin explosores con envolvente polimérica.

Se montarán en el suelo, sobre una cimentación individual propia próxima al transformador, con una envolvente metálica que evita contactos accidentales contra puntos en tensión, una nueva resistencia monofásica de P.a.T de 17Ω , que se conectará con el neutro del lado 13,2 kV, en ambos transformadores, mediante cable de aislamiento seco 12 / 20 kV 150 mm² Al y terminaciones flexibles de exterior, sustituyendo a la reactancia de 4Ω , esto limitará la intensidad de cortocircuito monofásico, con lo que dotará de mayor sensibilidad a las protecciones de tierra. Se sustituirá el transformador de intensidad exterior, de tipo toroidal, puesto que en la envolvente en la que se encuentra la resistencia monofásica, existe su propio transformador monofásico de 20VA de potencia y relación 600/5 A. Se anulará, si existiese, el otro transformador toroidal utilizado para el relé de cuba.

Las características de esta resistencia son:

• Tensión de aislamiento asignada	12 kV
• Tensión de servicio nominal	13,2 kV
• Frecuencia	50 Hz
• Intensidad nominal asignada	500 A
• Duración del defecto a tierra	15 s
• Valor óhmico	17 Ω
• Tensión de ensayo a 50 Hz 1 minuto	28 kV

El sistema preventivo de contención de escape del dieléctrico del transformador se sustituirá el receptor de emergencia, y con él el sistema de recogida que está compuesto por la cubeta solidaria con la bancada del transformador, y por tuberías de fundición dúctil y arquetas, que direccionan las posibles fugas hacia el receptor de emergencia.

Asimismo, el cubeto perimetral del transformador se ampliará según las necesidades del nuevo transformador.

En las subestaciones con la configuración en Y se sustituye el transformador existente por un transformador 30/13,2 kV de 10 MVA de potencia con Refrigeración ONAN, y de 12,5 MVA con Refrigeración ONAF, y del 8% de impedancia de cortocircuito. Seguirá siendo un transformador de instalación en exterior con conexión Dyn11, aislamiento en aceite mineral, y regulación directa en carga con 12 tomas en el arrollamiento de alta tensión.

La refrigeración forzada (ONAF) se realizará mediante radiadores adosados a la cuba y motoventiladores accionados por termostato.

Incluirán transformadores de intensidad tipo Bushing (toroidales), instalados sobre pasatapas y funcionamiento en baño en aceite cuyas características vienen definidas en la tabla siguiente:

Tabla 5.2. Características de los transformadores bushing de transformador de 12,5MVA

Baja Tensión (13,2 kV)		Alta Tensión (30 kV)	
Cantidad	Características	Cantidad	Características
Uno por fase	600/5, 15 VA,	Uno por fase	300/5, 20 VA,
Uno en la fase	600/5, 15 VA, CL		

En las subestaciones con la configuración en H se sustituirá uno de los dos transformadores de 10 MVA existentes por un transformador 30/13,2 kV de 20 MVA de potencia con Refrigeración ONAN, y de 25 MVA con Refrigeración ONAF, y del 8,5% de impedancia de cortocircuito. Seguirá siendo un transformador de instalación en exterior con conexión Dyn11, aislamiento en aceite mineral y regulación directa en carga en el arrollamiento de alta tensión.

La refrigeración forzada (ONAF) se realizará mediante radiadores adosados a la cuba, con independización mediante válvulas y motoventiladores accionados por termostato.

Incluirán transformadores de intensidad tipo Bushing (toroidales), instalados sobre pasatapas y funcionamiento en baño en aceite cuyas características vienen definidas en la tabla siguiente:

Tabla 5.3. Características de los transformadores bushing de transformador de 25MVA

Baja Tensión (13,2 kV)		Alta Tensión (30 kV)	
Cantidad	Características	Cantidad	Características
Uno por fase	1200/5, 15 VA,	Uno por fase	600/5, 20 VA,
Uno en la fase 2V	1200/5, 15 VA, CL		

5.2.3. Sistema 13,2 kV

Se compactará en celdas con protección blindada metálica con aislamiento en SF6 manteniendo la configuración de simple barra, si el sistema es de un transformador de potencia, o simple barra partida, si el sistema es de dos transformadores.

Las celdas son del tipo “fases agrupadas” y baja presión de trabajo (0,4 bar de presión relativa). Están dotadas de interruptores automáticos y las diferentes funciones de cada circuito están compartimentadas para minimizar la extensión ante cualquier incidente interno, aparte de permitir realizar de forma segura trabajos de mantenimiento sin perturbar el servicio.

Las características eléctricas principales de estas celdas son las siguientes:

• Tipo de celda	Blindada, SF6
• Servicio	Continuo, interior
• Temperatura ambiente	-5 °C a + 40 °C
• Tensión de aislamiento asignada	24 kV
• Tensión de servicio nominal	13,2 kV
• Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz	50 kV
• Tensión de ensayo a impulso tipo rayo onda 1,2/50 µs	125 kV
• Frecuencia	50 Hz
• Intensidad asignada de servicio continuo:	
- Derivación celdas de línea y transformador	630 A
- Derivación celdas de medida y SS.AA.	200 A
- Barras	630 A
• Intensidad de cortocircuito asignada (1s)	20 kA
• Intensidad de cortocircuito (valor de cresta)	50 kA

Estará constituido por las siguientes posiciones para una configuración en Y:

- Una posición de transformador.
- Posiciones de línea.
- Una posición de medida de tensión en barras.
- Una posición de alimentación a transformador servicios auxiliares.

Estará constituido por las siguientes posiciones para una configuración en H:

- Dos posiciones de transformador.
- Posiciones de línea.
- Una posición de enlace de barras.
- Una posición de medida de tensión en barras.
- Una posición de alimentación a transformador servicios auxiliares.

La aparamenta con la que va dotada cada tipo de celda es el siguiente:

- Celda de transformador de potencia:
 - Un interruptor automático.
 - Un seccionador tripolar de aislamiento barras de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres transformadores de intensidad.
 - Terminales unipolares para conexión cables.
- Celda de línea:
 - Un interruptor automático.
 - Un seccionador tripolar de aislamiento barras de tres posiciones, abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres transformadores de intensidad.
 - Un transformador toroidal de intensidad homopolar.
 - Terminales unipolares para conexión cables.
- Celda de enlace de barras:
 - Un interruptor automático.
 - Un seccionador tripolar de aislamiento barras de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra.
 - Tres transformadores de intensidad.
 - Terminales unipolares para conexión cables.
- Celda de servicios auxiliares:
 - Un interruptor-seccionador en carga, mando manual de tres posiciones abierto – cerrado - puesto a tierra.
 - Tres fusibles.
 - Tres terminales unipolares para conexión cables.
- Medida:
 - Tres transformadores de tensión de barras.

Las características eléctricas más esenciales de los interruptores que incorporan las celdas son:

• Tensión de aislamiento asignada	24 kV
• Tensión de servicio nominal	13,2 kV
• Frecuencia	50 Hz
• Intensidad asignada de servicio continuo:	
- Celdas de línea y transformador	630 A
• Intensidad de cortocircuito asignada	20 kA
• Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz	50 kV
• Tensión de ensayo a impulso tipo rayo onda 1,2/50 μ s	125 kV
• Duración nominal de la corriente de cortocircuito	3 s
• Medio de aislamiento	SF6 de la propia celda
• Medio de extinción del arco	SF6
• Ciclo nominal de maniobra asignado	O-0,3s-CO-15s-CO
• Tipo de reenganche	Trifásico

Las características eléctricas más esenciales de los seccionadores que incorporan las celdas son:

• Tensión de aislamiento asignada	24 kV
• Tensión de servicio nominal	13,2 kV
• Nivel de aislamiento a tierra y entre polos:	
- Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz	50 V
- Tensión de ensayo a impulso tipo rayo onda 1,2/50 μ s	125 kV
• Nivel de aislamiento sobre la distancia de seccionamiento:	
- Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz	60V
- Tensión de ensayo a impulso tipo rayo onda 1,2/50 μ s	145 kV
• Intensidad asignada de servicio continuo:	
- Celdas de línea y transformador	630 A
• Intensidad admisible de corta duración (1 s)	20 kA
• Intensidad admisible	50 kA
• Los seccionadores son de accionamiento manual.	

Los transformadores de intensidad que incorporan las celdas serán tales que garanticen su funcionamiento para faltas dentro y fuera de la zona de protección, comprobándose que la saturación que se produce ante elevadas corrientes de cortocircuito, no hace variar su relación de transformación y ángulo de fase.

Sus características eléctricas son:

- Tensión de aislamiento asignada 24 kV
- Tensión de servicio nominal 13,2 kV
- Potencias y clases de precisión (celda transformador):
 - Arrollamiento de protección 1000/1 A 0,2 VA 5P20
 - Arrollamiento de protección 600/1 A 15 VA 5P20
- Potencias y clases de precisión (celdas línea):
 - Arrollamiento de protección 0,2 VA 5P20

Las celdas de línea llevarán un transformador de intensidad toroidal 30/1 A clase 1, 0,2 VA y carga $0,1 \Omega$ para la protección homopolar.

Las características eléctricas más esenciales de los transformadores de tensión que incorporan las celdas son:

- Frecuencia 50 Hz
- Tensión de aislamiento asignada 24 kV
- Tensión de servicio nominal 13,2 kV
- Relación de transformación:
 - Primer arrollamiento $13,2/\sqrt{3} : 0,110/\sqrt{3}$ kV
 - Segundo arrollamiento $13,2/\sqrt{3} : 0,110/3$ kV
- Potencias y clase de precisión (de potencias simultáneas):
 - Primer arrollamiento 40 A, C1.0,5 - 3 P
 - Segundo arrollamiento 50 VA, 3 P

5.2.4. Edificio

Por seguridad ante un accidente eléctrico, se comprobará la posibilidad de instalar cada uno de los sistemas en casetas independientes, habiendo de esta manera una caseta para las celdas de 30 kV, una caseta para el sistema de 13,2 kV, para una instalación con configuración en Y, y dos casetas para cada una de las semibarras de 13,2 kV, si la instalación tiene una configuración en H.

Se mantendrá la caseta de control existente y en ella se instalará:

- El nuevo sistema de control de la subestación.
- Los armarios de servicios auxiliares c.a. y c.c.
- Un armario de protección control y medida para cada uno de los transformadores.
- Dependiendo de la carga existente en la subestación se instalará uno o dos equipos compactos rectificador-batería que alimentará el armario de distribución de 125 V c.c. Por regla general según el número de posiciones existentes y el número de equipos a alimentar, en una subestación con configuración en Y se instalará un único equipo, y en subestaciones con configuración en H se instalarán dos equipos.

Si no fuera posible la distribución descrita, se comprobará la posibilidad de compartimentar el edificio existente con la finalidad de independizar mediante tabiques intermedios, el conjunto de celdas del sistema de 30 kV del conjunto de celdas del sistema de 13,2 kV, y del sistema de control, protección y telecontrol de la subestación.

Independientemente de la solución que las dimensiones del edificio y el terreno nos obliguen a adoptar, en la parte del edificio en la que se encuentra el sistema de control, protección y telecontrol se instalará un sistema digital de control y protección (SIPCO) que recoja el control local de toda la subestación y la recepción y registro de alarmas y datos que se envían, vía telecomunicaciones, al departamento de control y maniobra.

5.2.5. Análisis de las emisiones magnéticas

Las instalaciones sobre las que se va a realizar la reforma tienen realizados y comprobados los niveles máximos del campo magnético que pueden alcanzarse en el entorno, y posteriormente comparados con los límites establecidos en la normativa vigente, viendo que estos niveles están por debajo de los establecidos por la normativa, disminuyendo a medida que se aleja de la subestación según normativa [UNE-EN215001, 2004][UNE-EN20833, 1997].

Las intensidades existentes debidas a los nuevos equipos de control y protecciones son bajas, luego igualmente son bajos los campos magnéticos generados y se consideran despreciables frente al que se genera junto al cerramiento próximo al pórtico de entrada de líneas 30 kV y al cerramiento próximo al apoyo de las entradas de líneas de 13,2 kV

Los equipos de control y protección que se van a instalar serán digitales, basados en microprocesadores (μ P), cuyas características se enuncian a continuación:

- La rigidez dieléctrica de los equipos será de 2 kV, 50 Hz, 1 minuto, según norma CEI 255-5 y el nivel de impulso de 5 kV, 1,2/50 microseg., 0,5 J, según norma CEI 255-5.
- El nivel de protección frente a interferencias de A.F. será el correspondiente a clase III, según norma CEI 255-22-1, (2,5 kV en modo común y 1 kV en modo diferencial).
- Frente a descargas electrostáticas los equipos serán de clase III, según la norma CEI-255-22-2, (8 kV).
- El nivel de inmunidad de los equipos frente a radiointerferencias será el correspondiente a clase III, según norma CEI 255-22-3.
- Los equipos serán de clase III, según la norma CEI-255-22-4, frente a transitorios rápidos, (4 kV en la fuente de alimentación y 2 kV en el resto de circuitos).

5.2.6. Disposición eléctrica

Los materiales empleados en la reforma tienen los niveles de aislamiento especificados en el “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión”, en función de los niveles de tensión más elevados.

Las distancias mínimas a los puntos de tensión para el parque en intemperie vendrán especificadas en función de los niveles de tensión y definidas en los cálculos realizados. Las distancias requeridas en los edificios en los que están las compactaciones y el sistema de control tienen que ser tales que permita la fácil maniobra e inspección de los elementos en ellos instalados, y vienen definidas por las diferentes anchuras de los pasillos en función de si existen elementos en tensión en uno o en ambos lados.

5.2.7. Distancia mínima para la protección y seguridad frente al riesgo eléctrico

“Todo trabajo que se realice en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que suponga un riesgo eléctrico, se deberá realizar sin tensión, salvo que sean maniobras eléctricas, mediciones, ensayos o verificaciones” [Real Decreto 614/2001, 2014]. Sin embargo, existen trabajos de mantenimiento en los que durante su realización pudiera invadirse accidentalmente las zonas con tensión. Por lo tanto, estos trabajos se llevarán a cabo considerándolos como trabajos en tensión, por su proximidad a la zona de peligro, y deberán ser realizados por trabajadores cualificados siguiendo un procedimiento definido y empleando los equipos necesarios para garantizar la seguridad del trabajador ante contactos accidentales con cualquier otro elemento a potencial distinto al suyo.

En todo trabajo en proximidad de elementos en tensión, el trabajador deberá permanecer fuera de la zona de peligro o zona de trabajo en tensión, teniendo en cuenta que las herramientas u objetos se consideran una prolongación de su cuerpo. La delimitación de la zona de trabajo con respecto de la zona de peligro requiere conocer la tensión nominal de la instalación, los trabajos que se van a realizar, si se pueden delimitar con precisión y la distancia máxima que se puede conseguir con respecto al elemento en tensión existentes.

En función de estos datos y teniendo en cuenta que estamos trabajando en instalaciones de tensión nominal 30/13,2 kV, la delimitación de las distancias viene definidas en la siguiente tabla:

Tabla 5.4. Distancias mínimas de seguridad frente al riesgo eléctrico

Tensión Nominal (U_n)	D_{PEL-1}	D_{PEL-2}	$D_{APROX-1}$	$D_{APROX-2}$
15	66	57	116	300
30	82	66	132	300

Donde:

D_{PEL-1} = distancia hasta el límite exterior de la zona de peligro cuando exista riesgo de arco eléctrico (cm).

D_{PEL-2} = distancia hasta el límite exterior de la zona de peligro cuando no exista riesgo de arco eléctrico (cm).

$D_{APROX-1}$ = distancia hasta el límite exterior de la zona de proximidad cuando resulte posible delimitar con precisión la zona de trabajo y controlar que ésta no se sobrepasa durante la realización del mismo (cm). Es la distancia mínima que se debe mantener en los viales de montaje y mantenimiento.

$D_{APROX-2}$ = distancia hasta el límite exterior de la zona de proximidad cuando no resulte posible delimitar con precisión la zona de trabajo y controlar que ésta no se sobrepasa durante la realización del mismo (cm). Esta será la distancia mínima que se deberá mantener en el vial principal de la subestación.

Todos los trabajos en proximidad se deberán realizar a una distancia mayor que los valores de D_{PEL-1} (distancia en cm hasta el límite exterior de la zona de peligro cuando exista riesgo de arco eléctrico) para niveles de tensión de 30 kV y 13,2 kV. Es decir, los armarios de mando de la aparatación nunca deben quedar a una distancia inferior 82 cm de los elementos desprotegidos.

5.2.8. Tierras inferiores

Independientemente del tipo de instalación sobre la que se vaya a realizar el aumento de potencia, no será necesario ampliar la malla de tierra existente en la instalación y solo se realizarán las conexiones necesarias de la nueva aparatación con dicha malla. A pesar de esto, se realizarán las comprobaciones pertinentes para determinar que los valores de las tensiones de paso y contacto, y de resistencia de puesta a tierra no superan a las calculadas anteriormente, en las condiciones más desfavorables, en ninguna zona afectada por la instalación de tierra.

El procedimiento efectuado para la comprobación está avalado por la práctica en diferentes instalaciones con las mismas características como las instalaciones en las que se está trabajando.

La malla de tierra subterránea, formada por redondo de acero de \varnothing 16 mm y 200 mm² de sección, enterrada a una profundidad de 0,60 m, formando cuadrículas, y recubierta de grava para ayudar a conservar la humedad del suelo, no sufre modificaciones con estas reformas.

Todos los elementos metálicos que se instalarán, así como el nuevo aparellaje, irán conectados a la malla de tierra, al objeto de dar una mayor seguridad al personal que transite por la subestación al reducir las tensiones de paso y contacto a niveles admisibles, y garantizar un buen funcionamiento de las protecciones.

Los bornes de tierra de los pararrayos se unirán a la malla de tierra, al igual que todos los chasis, bastidores, y las envolventes de los armarios metálicos. Para dar tierra a estos elementos, se efectuarán derivaciones desde la malla de tierra hasta estos a base de cable de cobre de C-95. Las uniones a las estructuras se efectuarán con piezas especiales accesibles y vistas para una fácil revisión, mientras que para las uniones entre cables de la malla de tierra se ha previsto el empleo de soldaduras aluminotérmicas.

Se conectará a tierra directamente en las bornas secundarias en un único punto, en todos y cada uno de los circuitos secundarios de intensidad de medida y protección, mediante cable de panel de 2,5mm².

Se tiene en cuenta que en las instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito menor o igual a 1.500 A no es necesario investigar la resistividad del terreno, pudiéndose estimar la resistividad mediante la siguiente tabla:

Tabla 5.5. Resistividad de los diferentes tipos de terreno

Naturaleza del Terreno	Resistividad en Ohmios*m
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Caliza blanda	100 a 300
Caliza compacta	1000 a 5000
Caliza agrietada	500 a 1000
Pizarra	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Basalto o grava	3000 a 5000

La malla metálica del cable de aislamiento seco que une el neutro del transformador de potencia con la resistencia de monofásica de P.a.T., y de los demás cables de potencia se conectarán a la malla de tierra en los dos extremos. En las líneas de media tensión se hará pasar de nuevo esta malla metálica por el toroidal de neutro sensible para un correcto funcionamiento de esta unidad.

5.2.9. Estructuras metálicas

Si se realiza la compactación de toda subestación se desmontarán todas las estructuras metálicas del sistema de 13 kV, manteniéndose el pórtico de llegada del sistema de 30 kV. La estructura metálica necesaria consta de:

- Un soporte de embarrado para el sistema de 30 kV y de 13 kV en la salida de los transformadores y terminales de cable de potencia.
- Un soporte para montaje de transformador de servicios auxiliares, para su instalación en intemperie.

Las estructuras metálicas soportarán los esfuerzos electrodinámicos y térmicos de las corrientes de cortocircuito previstas, sin que se produzcan deformaciones permanentes. Tanto la estructura metálica que soporta la aparatada como la que soporta el embarrado serán estructuras tubulares de acero galvanizado para asegurar una eficaz protección contra la corrosión.

El tipo de acero empleado para la construcción de estructuras metálicas se establece en función de su característica mecánica y se identifica mediante un número que indica el valor mínimo garantizado del límite elástico expresado en N/mm^2 . En nuestro caso la estructura metálica empleada estará constituida por perfiles tubulares y en alma llena del tipo S-275-JR.

En la tabla siguiente se recogen las designaciones aplicables a los aceros laminados en caliente utilizados para la fabricación de los perfiles estructurales de uso general, y su correspondencia con normas anteriores, ya fuera de uso, [UNE-EN 10025, 1993].

Tabla 5.6. Límite elástico mínimo para perfiles tubulares del tipo S-275-JR

Designación		Estado de desoxidación	Sub-grupo ²⁾	Límite elástico mínimo, R_{eH} , en N/mm^2 ¹⁾							
Según EN 10027-1 y ECISIC-10	Según EN 10027-2			Espesor nominal, en milímetros							
				≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250
S275JR	1.0044	FN	BS	275	265	255	245	235	225	215	205

1) Los valores dados en la tabla se aplican a probetas longitudinales, "l", del ensayo de tracción. Para chapas bandas, planos ancho y bandas de anchura \square 600mm, se utiliza probeta transversal, "t". 2) BS = Aceros de base; QS = Aceros de calidad. 3) Sólo se fabrica en espesores normales \square 25mm. 4) No se aplica a: los perfiles U, los angulares y los perfiles comerciales. * A elección del fabricante

5.2.10. Embarrados

El embarrado, al igual que las estructuras metálicas, se desmontará si se realiza la compactación de toda la subestación, y tendrá que soportar los esfuerzos electrodinámicos y térmicos de las corrientes de cortocircuito previstas, sin que se produzcan deformaciones permanentes.

El embarrado en el sistema de 30 kV está constituido por tubo de cobre de 30/20 mm de diámetro y cable de cobre desnudo de sección 150 mm^2 que hará la conexión desde las bornas de salida de 30kV del transformador de potencia hasta el embarrado. La conexión entre dicho embarrado y la celda correspondiente se hará con una terna de cable de potencia, tipo HEPRZ1 (AS) Al 240 mm^2 , 18/30 kV y terminales flexibles.

El embarrado se sustentará sobre la estructura metálica mediante seis aisladores tipo columna de las siguientes características:

- Tipo C4-250
- Tensión de aislamiento asignada 52 kV
- Tensión de servicio nominal 30 kV
- Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz 95 kV
- Tensión de ensayo a impulso tipo rayo onda 1,2/50 μs 250 kV cresta
- Carga de rotura a flexión 4.000 N
- Carga de rotura a torsión 1.800 Nm

El embarrado en el sistema de 13,2 kV está constituido por tubo de cobre de 40/30mm de diámetro, y cable de cobre desnudo de sección 500 mm^2 para la conexión desde las bornas de salida de 13,2 kV del transformador de potencia hasta el embarrado. La conexión entre dicho embarrado y la celda correspondiente se hará con una terna de cable de potencia, tipo HEPRZ1 (AS) Al 400 mm^2 , 12/20kV.

El embarrado se sustentará sobre la estructura metálica mediante seis aisladores tipo columna de las siguientes características:

- Tipo C4-125
- Tensión de aislamiento asignada 24 kV
- Tensión de servicio nominal 13,2 kV
- Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz 50 kV
- Tensión de ensayo a impulso tipo rayo onda 1,2/50 μs 125 kV cresta
- Carga de rotura a flexión 4.000 N
- Carga de rotura a torsión 800 Nm

Las uniones entre bornas de la aparamenta y conductores, así como las derivaciones de los embarrados, se realizarán mediante piezas de aleación de aluminio, diseñadas para soportar la intensidad nominal permanente y de cortocircuito 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.

Con el fin de absorber las variaciones de longitud que se produzcan en los embarrados por efecto del cambio de temperatura se instalarán piezas de conexión elásticas en los puntos más convenientes, de tal forma que permitan la dilatación de los tubos sin producir esfuerzos perjudiciales en las bornas de la aparamenta.

También se instalarán en las barras y salidas de líneas, donde el conductor esté en vertical, puntos (estribos) para la conexión de tierras portátiles.

En el sistema de baja tensión de los transformadores de potencia, en las zonas en las que se utilice un conductor desnudo, se utilizarán uniones de aleación de cobre con tornillería de acero inoxidable sin embutir que cumplan las características indicadas anteriormente.

Las intensidades nominales y de diseño, tanto en régimen permanente como en condiciones de cortocircuito, son:

- Sistema de 13 kV:
 - Intensidad nominal de la instalación: 546 A en la conexión del transformador al sistema de celdas.
 - Intensidad nominal de diseño: 630 A para el sistema de celdas.
 - Intensidad de cortocircuito existente (I_{cc}): 5,5 kA.
 - Intensidad de cortocircuito de diseño: 20 kA.

5.2.11. Servicios auxiliares

Estará formado por:

- Servicios Auxiliares de Corriente Alterna.

Los servicios auxiliares estarán formados por un nuevo transformador de servicios auxiliares trifásico de 50 kVA 13,2/0,420-242 kV, por cada una de las barras de media tensión existentes en la subestación. Estarán montados en el parque de intemperie sobre soporte metálico, y las bornas de intemperie en el lado de baja tensión estarán aisladas por cubrebornas de servicio exterior para evitar averías por contactos de animales.

Alimentarán en baja tensión al armario de distribución de servicios auxiliares combinado de c.a. y c.c., situado en la sala de control del edificio. En este armario de distribución se alojan los interruptores automáticos de las diversas salidas para los servicios de corriente alterna de la subestación y se dispondrá de un contador-registrador de energía activa para la medida de los consumos propios de la instalación.

La protección de estos transformadores de servicios auxiliares queda garantizada en el lado de AT mediante un fusible de alto poder de ruptura y en BT por un interruptor automático.

- Servicios auxiliares de corriente continua

Consta de dos equipos compactos de rectificador-batería de 125 Vcc que funciona ininterrumpidamente y suministra la totalidad de los consumos de la instalación de forma separada, aunque en el caso de que uno de ellos esté fuera de servicio, el otro será capaz de suministrar todos los consumos de la instalación. Durante el proceso de carga y flotación su funcionamiento responde a un sistema prefijado que actúa automáticamente sin necesidad de ningún tipo de vigilancia o control, lo cual da mayor seguridad en el mantenimiento de un servicio permanente.

Este equipo alimentará las barras del armario de distribución de servicios auxiliares de c.c. situado en la sala de control del edificio, donde se alojan los interruptores automáticos de los diversos circuitos de servicios auxiliares de c.c. Estos armarios dispondrán de un interruptor-seccionador de acoplamiento de barras de c.c. que se cerrará manualmente cuando uno de los equipos este fuera de servicio de forma voluntaria.

Las barras de c.c. incorporarán la vigilancia de mínima y máxima tensión con el fin de comprobar en todo momento la disponibilidad de c.c. para la alimentación de los equipos de control y protección. En caso de que la tensión esté por debajo de 117 V o bien sobrepase un valor máximo de 144 V, se señalará el defecto de equipos de control.

Con el fin de conseguir una alimentación continua asegurada, también se instalará un armario mural con la fuente de alimentación conmutada para los equipos de comunicaciones, que se alimentará a 125 Vcc. y tendrá una tensión de salida de 48 Vcc. Se instalará igualmente un equipo rectificador-batería de 48 Vcc y 95 Ah con el fin de tener doble alimentación al sistema de comunicaciones.

- Cuadros de distribución de servicios auxiliares.

Para el control y operatividad de los servicios auxiliares de c.a. y c.c. se montarán dos cuadros principales de distribución de servicios auxiliares en los que se tendrá en cuenta la carga y sección del conductor utilizado en cada circuito para adecuar las protecciones de este. Se construirán con criterios de compartimentación con zonas diferenciadas e independientes, de acceso frontal a los distintos servicios y con esquema sinóptico [UNE-EN 61439-1, 2012].

En el cuadro de corriente alterna se dotará un equipo de reposición automática de servicios auxiliares por ausencia de tensión, con sus correspondientes enclavamientos, y normalización del sistema al reanudarse el servicio principal. El equipo estará diseñado de tal forma que ante el fallo de la tensión de alimentación principal se realice la transferencia automática a la alimentación de reserva.

Se dispondrán de otros cuadros menores de tipo mural para el alumbrado en el edificio y en el exterior, para la fuerza en el edificio, y que para la alimentación de los extractores que se instalarán en el edificio de control, y en los edificios de celdas si se realiza la compactación.

Sistema de ventilación y climatización

En las salas de celdas la renovación del aire se realizará mediante ventilación natural, con una toma de aire en la puerta de acceso a la sala incorporando esta una rejilla, y la otra rejilla de ventilación en el lado opuesto y diagonal a la toma de aire.

En la sala de control y comunicaciones se instalará una unidad de aire acondicionado mural, sistema Split, tipo partido, con bomba de calor aire-aire, puesto que en esta sala existen equipos electrónicos y en ella el personal realizará el trabajo normal de operación local y mantenimiento. Las unidades compensarán las pérdidas térmicas de los equipos de la sala de control y sala de telecomunicaciones enfriando en verano y calentando en invierno, con funcionamiento regulado por termostato.

Así mismo se incorporará en la sala de control, próximo a la ubicación de los equipos cargador – batería, una ventilación forzada mediante un extractor de arranque manual para la extracción de los gases producidos durante operaciones de carga excepcional de estos equipos en fase de mantenimiento. Durante el funcionamiento normal de los equipos cargador – batería en régimen de flotación se considera la ventilación natural mediante los dos orificios antes mencionados.

Sistema contraincendios

En cumplimiento de la Instrucción Técnica Complementaria del “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión” [ITC-RAT 14, 2014] se realizará una sectorización que aisle cada sala de forma independiente, evitando la propagación de la llama entre sectores.

En función de la posibilidad de sectorización del edificio, se obtienen sectores de incendio diferentes: sala de control y comunicaciones y salas de celdas de AT y MT, sectores que se caracterizan por un riesgo de incendio bajo dado el tipo de materiales que contienen y su ocupación.

Todos los productos de construcción pétreos, cerámicos y metálicos, así como los morteros, hormigones o yesos empleados están considerados de clase A1. La estructura de los edificios tienen una estabilidad ante fuego R 120 (EF-120) y las puertas peatonales de paso entre sectores tendrán una resistencia al fuego EI2 90 (RF-90), muy superiores a la exigida por la norma.

Todos los cables de potencia y de control utilizados son sin emisión de halógenos, no propagadores de incendio, y con emisión de humo y opacidad reducida. Se aplicará una longitud de 1 m de pintura intumescente a modo de cortafuegos, aproximadamente cada 3 m y en los cruces de las bandejas de cables logrando un grado de resistencia al fuego de 90 minutos.

A ambos lados de los pasamuros o pasos de cables entre salas (sectores de incendio), incluidos los pasos verticales de los cables de potencia entre las celdas de partición y unión que conectan distintos módulos, se aplicará una longitud de 1 m de pintura intumescente. Los huecos de paso de cables entre salas quedarán sellados adecuadamente mediante una barrera para mantener la misma resistencia al fuego en cada sector y poder alcanzar un grado de resistencia de 120 minutos.

Como los transformadores son de instalación intemperie no son necesarios sistemas automáticos de extinción, únicamente son necesarios los extintores portátiles.

El sistema de detección y alarma de incendios deberá cubrir todas las dependencias en el que estuviera dividido el edificio, incluido el falso suelo y teniendo en cuenta la configuración de los mismos por existencia de vigas que formen alveolos, y controlará los elementos de control y actuación del sistema de extinción previsto para la subestación.

Los cálculos, la definición de los equipos y el diseño definitivo del sistema serán desarrollados por la empresa instaladora mediante el correspondiente proyecto visado para la instalación.

El sistema de protección contra incendios a instalar estará constituido por los siguientes elementos:

- Sistema de detección y alarma de incendios.
 - Centralita de Incendio (Central Maestra)

El sistema contará con una central maestra para el mando y señalización del sistema. Se instalará en la sala control del edificio.

La central llevará incorporada una batería de corriente continua a 24 Vcc con cargador automático que permitirá la continuidad de la alimentación de forma automática, en caso de fallo de la red, durante 72 horas en reposo y 30 minutos en alarma.

Desde esta central se transmitirán las señales de alarma de fuego, la activación del sistema de detección y alarma de incendios, y el defecto del sistema de protección contra incendios.

- Detectores

Se instalarán detectores ópticos en el edificio de control, y detectores óptico-térmicos en las salas de celdas, siendo la señal de los detectores de la misma sala la que activará la alarma de incendios en la central de señalización y mando.

- Sistema manual de alarmas de incendios

En los distintos edificios, se instalarán pulsadores de alarma, situados en lugares fácilmente accesibles y señalizados con carteles indicadores con anagrama, texto y borde fotoluminiscente. Esta alarma es telemandada al centro regional de operaciones.

- Medios de alarma acústicos

Se dispondrá de un sistema de alarmas acústicas en las zonas vigiladas por el sistema de detección que se activarán automáticamente al detectarse un incendio.

- Armario de Señales

Armario de interconexión del sistema de protección contraincendios con el resto de sistemas de la subestación: antiintrusos, telecontrol etc.

- Red eléctrica de interconexión.

El cableado de interconexión entre la central de señalización y mando y los diferentes elementos externos (detectores, pulsadores de alarma, etc.) se realizará bajo canaleta y con conductores resistentes al fuego que superen los requisitos exigidos por la normativa [IEC 331, n.d.;UNE 20432, n.d.].

En el armario de señales se instalarán módulos de control y monitores para las interconexiones con los demás sistemas de la subestación: control, sistema ventilación y sistema vigilancia.

- Medios complementarios de extinción.

Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio de la subestación, en lugares en los que sean fácilmente visibles.

El número de extintores en cada una de las salas del edificio vendrá determinado por las dimensiones de las mismas, aunque la dotación mínima prevista será de 1 extintor de CO₂ de 5 kg, en la sala de control y comunicaciones, y otro en cada una de las salas de celdas. En el parque de intemperie se dispondrá de un extintor móvil de polvo seco ABC 50 kg próximo al transformador.

- Sistema de emergencia

Se instalará un nuevo sistema de alumbrado de emergencia en todos los sectores de incendio de la subestación, que se encargará de proporcionar la visibilidad necesaria para una correcta evacuación del personal en situación de emergencia.

Todas las salidas de uso habitual o de emergencia y los medios manuales de protección contra incendios se señalarán con carteles de poliestireno con anagrama, texto y borde fotoluminiscente.

Telecomunicaciones

Los equipos de telecomunicación se instalarán con la fibra óptica como opción preferente para el enlace comunicación, puesto que es la que ofrece mayor garantía y calidad de servicio, aunque por imposibilidad se podrá realizar vía radio previo estudio técnico para definir la antena y soporte a emplear. Independientemente de la solución final, las líneas de alta tensión dispondrán siempre de fibra óptica hasta el pórtico de entrada a la subestación, en el que se instalará una caja de empalme metálica, desde donde se realizará la bajada del cable y se llevará hasta la sala de control al repartidor óptico, a través de canalizaciones independientes de las canalizaciones de los cables de control.

El sistema de telecomunicaciones estará formado por un armario en el que se instalarán los repartidores de fibra óptica o el equipo de radio, equipo SDH, switch, repartidores digitales, etc.

Sistema de control y protección

Se sustituirá sistema de control convencional existente por un Sistema Integrado de Protección y Control (SIPCO) que será de tipo digital y de configuración distribuida, estando formado por los siguientes elementos:

- Unidad de Control de Subestación (UCS)

Su misión es centralizar toda la información referente a la subestación e interconectar los diferentes equipos. Está compuesta por una fuente de alimentación (redundante), un módulo de CPU maestro y tres módulos esclavos, encargados de comunicar con las diferentes UCP y con el despacho de telemando.

- Unidad de Control de Posición (UCP)

Dispuesta por cada posición de 30 kV y 13 kV, de línea, transformador y acoplamiento si existiese. Estas UCP tendrán funciones de protección, control y medida, y recogen la información de campo correspondiente a señales digitales y medidas, y activa las salidas correspondientes de abrir/cerrar interruptores, rearmar relés, conectar ventiladores de transformadores, etc. En este equipo se configuran las lógicas de bloqueo de mandos y se agrupan las alarmas en defectos y defectos urgentes. No incorporan ningún display desde el que maniobrar de forma local la posición.

- Unidad de control de servicios generales (UCP)

Con el fin de no interferir en el correcto funcionamiento de la subestación forma parte de un chasis independiente de la UCS. En ella se centralizan y recogen las señales de tipo general de la subestación y las asociadas a los cuadros de servicios auxiliares y equipos rectificador-batería.

- Concentrador de fibra óptica

Las comunicaciones entre las diferentes UCP y la UCS correspondiente se realizarán a través de una estrella óptica con fibra de cristal multimodo de 62,5/125 μm . Tiene una boca maestra para comunicar con la UCS, y 12 bocas secundarias para comunicar con las diferentes UCP. Se pueden colocar en cascada de manera que la boca maestra de uno de los difusores vaya a una de las bocas esclavas de otro.

- GPS

Es el equipo encargado de la sincronización horaria. Va comunicado con la UCS por medio de un cable de RS-232-C.

- Consola

Es el PC desde donde el operador podrá ver en todo momento y en tiempo real el estado de la subestación. Aquí se define la base de datos de la subestación, las señales, órdenes, fondos de escala de las medidas, etc. Estará formada por las siguientes pantallas:

- Unifilar de la subestación.
- Unifilar particular de cada posición.
- Panel de estados/alarmas de cada posición.
- Índice para acceder a las diferentes pantallas.
- Índice para acceder a cada uno de los paneles de alarmas.
- Pantalla en la que indica cómo está la subestación a nivel de comunicaciones internas.
- Panel con las alarmas activas.
- Panel con todos los sucesos ocurridos en la subestación.

Dispuesta en un armario de chapa de acero, se ubicarán, además de la unidad de control, la consola con un teclado en el frente, la unidad de control para la recepción de las señales de los servicios auxiliares, el GPS y una bandeja para la instalación de los módem de comunicación tanto con el telemando como con las consolas remotas y el puesto de recepción de protecciones a través de RTC (Red Telefónica Conmutada).

Todos armarios de control y protección instalados en el edificio estarán compuestos por chasis contruidos con perfiles metálicos, cerrados por paneles laterales fijos, acceso interior con chasis pivotante y puerta frontal de cristal o policarbonato ignífugo, lo cual permite una gran visibilidad, protección contra polvo y suciedad, y fácil manejo y acceso a los aparatos instalados. Las bornas a emplear serán de 6, 8 y 13 mm de paso, siendo las primeras seccionables por cuchilla y las demás seccionables por corredera, cortocircuitables y con alveolos de prueba.

Las interconexiones entre la aparamenta y los armarios de protección, control y medida que componen la instalación se realizarán con cables aislados de control sin halógenos. Los terminales de conexionado serán aislados de ojal cerrado para las tensiones, intensidades y alimentaciones, de horquilla para las conexiones de tornillo en las bases de los relés auxiliares, de pala para las conexiones por mordaza en protecciones y de puntera maciza para aquellos aparatos en los que la superficie de apriete no sea plana.

El armario de control y protección de cada uno de los transformadores recogerá las alarmas y las protecciones propias como son:

- Relé Buchholz (63B) de dos flotadores con contactos de alarma y disparo.
- Relé Buchholz Jansen (63J) con contacto de disparo.
- Liberador de presión en el transformador (63L) con contactos de alarma.
- Nivel de aceite del transformador (63NT) con dos contactos de alarma, máximo y mínimo.
- Nivel de aceite del regulador (63NR) con dos contactos de alarma, máximo y mínimo.
- Termostato con contacto de alarma de temperatura 1º nivel.
- Termómetro de contacto (26) indicador de temperatura del aceite del transformador con cuatro contactos ajustables, dos destinados al control de la refrigeración y otro a la alarma de temperatura 2º nivel.
- Sonda indicadora de temperatura del transformador tipo PT-100.

Y a las que se añadirán las siguientes protecciones digitales, que actuarán provocando la apertura y posterior bloqueo de todos los interruptores que estén conectados al transformador:

- Una protección diferencial de transformador (87) con frenado porcentual por armónicos, filtrado para corriente de neutro que sustituirá a la protección de cuba.
- Protección de mínima frecuencia (81).
- Relé para la regulación automática de la tensión (90/70) en carga del transformador con supervisión de las tomas del conmutador de tomas del transformador.
- Protección de sobreintensidad neutro (51G) para faltas a tierra en el cable de potencia desde las bornas de baja del transformador hasta la posición de entrada de celdas.

La protección diferencial será de tres devanados para los transformadores de las instalaciones de configuración en Y, y de 2 devanados para los de las instalaciones de configuración en H. En el primer caso la actuación de las protecciones de máquina abrirán los interruptores de las dos líneas de AT y el interruptor del transformador en MT, y en el segundo caso abrirán los interruptores de AT y MT del transformador.

Todas las posiciones tendrán la unidad integrada de protección y control (UCP) como un conjunto único. En el equipo de protección existirá la función de sobreintensidad no direccional de las unidades de fase y neutro con características temporizadas e instantáneas, una unidad de vigilancia de las bobinas del interruptor, y la posibilidad de cierres automáticos tras actuación de la protección por una falta eléctrica.

Las unidades temporizadas tanto de fase como de neutro serán unidades de sobreintensidad de tiempo inverso, siendo la curva característica para todas estas unidades temporizadas IEC Normal Inversa, y el índice de cada una de las curvas será tal que coordine correctamente cada una de las posiciones, siendo el orden de actuación; primero la línea de media tensión, después el enlace si existiese y finalmente la posición de transformación de MT.

La unidad instantánea tendrá tiempo fijo de actuación, con tiempos de actuación que permita la coordinación anteriormente indicada ante faltas cercanas a la instalación. Para conseguirlos, en la posición de transformación se temporizará en 0,1 segundos, pero quedará deshabilitada siempre que arranque la unidad instantánea de las demás posiciones.

En las líneas de media tensión se habilitará, con tiempo fijo, la llamada unidad de neutro sensible, que actuará para faltas a tierra muy resistivas, en las que la corriente de falta es muy baja.

En el sistema de 30 kV se implementará una protección de sobreintensidad por cada una de las posiciones de transformación que formarán parte de la unidad de control de posición. Tendrán deshabilitada las unidades instantáneas de fase y neutro puesto que la zona de protección está controlada por la protección diferencial y las unidades temporizadas, tanto de fase como de neutro, serán unidades de sobreintensidad de tiempo inverso y la curva característica será IEC Normal Inversa. La unidad temporizada de fase coordinará con la protección de fase del lado de media tensión del transformador, mientras que la unidad de neutro será una unidad de apoyo a la protección diferencial para faltas a tierra dentro del transformador. La actuación de esta protección provocará la apertura de todos los interruptores que tensionen el transformador.

Cuando la subestación en su sistema de AT se conecte a un doble circuito principal, se implementará un automatismo de transferencia, cuya misión será la de mantener la tensión en barras de MT de la subestación por medio de aperturas y cierres de los interruptores de AT, de acuerdo con unas preferencias prefijadas y ante la detección de la presencia o ausencia de tensión en las líneas de alimentación, que se determinará según la medida analógica del transformador de tensión monofásico instalado en la fase central de cada una de ellas. Para que ante la actuación de la protección de sobreintensidad el automatismo no esté cerrando permanentemente el interruptor, puesto que la tensión no desaparecerá, se generará una señal de disparo definitivo que bloqueará el automatismo.

En las líneas y en el enlace, si existiese, se instalarán unidades de control donde se recogerá la información de campo correspondiente a las señales digitales y medidas, para activar las salidas correspondientes de abrir/cerrar interruptores, actuaciones de automatismos y generar los bloqueos necesarios.

5.3. Obra Civil

La realización de la reforma electromecánica y de control, supone unos trabajos de obra civil para la adecuación de la aparamenta y edificios a instalar.

5.3.1. Explanación y acondicionamiento del terreno

La ampliación de potencia de la instalación implica la sustitución de un transformador ya existente por otro dentro de los terrenos de la instalación. Si tras esta sustitución se mantienen las distancias de seguridad, no serán necesarios ni los trabajos de explanación y acondicionamiento del terreno, ni de adecuación del acceso a la subestación ni de los viales interiores, puesto que se mantendrán los existentes en la instalación. Pero si la sustitución de los transformadores implica una compactación de los sistemas de 30 kV y 13 kV puesto que las distancias de seguridad dejan de cumplirse, esto también implicará la demolición del parque de intemperie, y una posterior explanación y acondicionamiento del terreno manteniendo las lindes del terreno, el acceso a la instalación y los viales interiores.

5.3.2. Cerramiento perimetral y puerta de acceso

El cerramiento actual que delimita el terreno que aloja la subestación no se verá modificada. Los cerramientos instalados en las instalaciones están formados por una malla metálica fijada sobre postes metálicos sujetos al suelo mediante dados de hormigón, y el espacio entre dados se encuentra rematado con un bordillo. Los cerramientos así constituidos tienen la altura mínima reglamentaria establecida de 2,20 m.

Se sustituirá la puerta principal de acceso a la subestación por una nueva puerta metálica abatible de dos hojas con un ancho total de 6,00 m, y una puerta de acceso de personal, también metálica, de 1,00 m de ancho libre.

5.3.3. Edificio

Si no se realizara la compactación, el edificio de control y protección existente, se reformará y adecuará para la instalación de los nuevos armarios de protección y control, el nuevo sistema de comunicación, los armarios de servicios auxiliares y de corriente continua. Para ello se realizará:

- Un acabado con suelo técnico de 40 cm de altura con los huecos necesarios por debajo del mismo para el tendido de los cables de control y telecomunicaciones. Se realizarán los trabajos necesarios para evitar que se inunde el semisótano.
- Se sustituirán las ventanas existentes por rejillas que ayudarán junto con la propia puerta a la ventilación del edificio.
- Se pintará de nuevo el edificio.

- Se sustituirá la puerta de acceso por otra de chapa de acero con aislamiento interior y tendrá un tratamiento de galvanizado por inmersión en caliente. Será de apertura hacia el exterior con dos hojas abatibles y tendrá unas dimensiones de 2,50 x 2,00 m (alto x ancho). Esta puerta llevará a su vez otra puerta integrada de 2,10 x 1,00 m para el paso de personal.

Al tratarse de un edificio existente no se realizarán acciones sobre la cimentación, estructura, cerramiento, ni sobre la cubierta de este.

Si finalmente se compacta la subestación, en el edificio de control existente se realizarán los trabajos descritos anteriormente, y se implementarán tantas casetas prefabricadas como sistemas se vayan a compactar con el fin de prevenir que incidentes en un módulo afecten al otro, definiendo estas casetas por volúmenes de formas rectas que reflejan el sistema constructivo industrializado adecuado para este tipo de instalaciones. Los edificios incorporarán los sistemas complementarios de iluminación, fuerza, ventilación y puesta a tierra de equipos, y los distintos elementos que los conforman deben alcanzar una resistencia al fuego de 120 minutos.

De esta forma en la subestación existirán:

- Una caseta prefabricada ocupado por las celdas del sistema de 30 kV, teniendo unas dimensiones aproximadas para una instalación con configuración en H de 8,00m de longitud; 2,50 m de ancho y 2,55 m de altura libre, ocupando una superficie de 20,00 m². Si la configuración es en Y el dimensionamiento será de 6,00m de longitud; 2,50m de ancho y 2,55 m de altura libre, ocupando una superficie de 15,00 m².
- Una o dos casetas prefabricadas para el sistema de 13,2 kV, dependiendo de si el sistema consta de una simple barra o de una simple barra partida. Cada edificio estará ocupado por un sistema de celdas de media tensión y uno de los transformadores de Servicios Auxiliares, siendo sus dimensiones aproximadas de 8,00 m de longitud; 2,50 m de ancho y 2,55 m de altura libre, ocupando una superficie de 20,00 m².

5.3.4. Malla de tierra

Todas las subestaciones están dotadas de un sistema de tierras inferiores formado por una retícula extendida por todas las zonas ocupadas por las instalaciones actuales. Para la realización este tipo de trabajos se mantiene la actual malla de tierra aunque se recalculará para verificar su validez tras la reforma. Donde se rompa por el montaje de los edificios o por la realización de nuevas cimentaciones, se soltará y una vez realizada la losa de apoyo de los edificios o la nueva cimentación, se volverá a soldar las partes rotas con suplementos de acero.

Todos los nuevos elementos metálicos que se instalen y que no estén sometidas normalmente a tensión, pero que pudieran estarlo como consecuencia de averías, sobretensiones por descargas atmosféricas o tensiones inductivas irán conectados a la malla de tierra, al objeto de dar una mayor seguridad al personal que transite por la subestación al reducir las tensiones de paso y contacto a nivel admisible, y garantizar un buen funcionamiento de las protecciones.

Estas conexiones se realizarán con cable de cobre de 95 mm² y 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 de alto poder de fusión, para las uniones bajo tierra, ya que sus propiedades son altamente resistentes a la corrosión galvánica.

5.3.5. Bancada de transformador

Para el nuevo transformador de potencia a instalar se reformará la bancada existente de hormigón armado rellenándose de grava de aproximadamente 40/60 mm de diámetro para posibilitar el drenaje del aceite a la cubeta que forma parte de la bancada y evitar así su pérdida y eliminar el peligro de incendio por combustión y la consiguiente propagación de las llamas.

También será necesario sustituir el receptor de emergencia, cuya función radica en recoger el volumen total de dieléctrico del transformador más grande previsto en la instalación en caso de una hipotética fuga del material dieléctrico de los transformadores. Este sistema de recogida está compuesto por la cubeta solidaria con la bancada de cada transformador, y por tuberías de fundición dúctil y arquetas, que direccionan las posibles fugas hacia el receptor de emergencia que es de doble pared de fibra de vidrio.

El receptor de emergencia se encuentra enterrado y dispone un tubo interior sifonado, calibrado y fijado a una determinada distancia del fondo, que permanece constantemente sumergido en el fluido separador constituido por agua. La separación de fases agua – aceite se efectúa automáticamente por efecto de la diferencia de densidades entre ambos fluidos, y el vaciado del agua del receptor una vez se

va llenando éste de aceite dieléctrico, también se efectúa automáticamente por efecto de la diferencia de presión hidrostática provocada por el sifón.

5.3.6. Canalizaciones eléctricas

Dependiendo de la amplitud del trabajo a realizar el número de canalizaciones a fabricar será diferente, pero independientemente de si se realiza la compactación, el sistema de control y protección se modificará, al igual que el sistema de servicios auxiliares y comunicaciones, por lo que esto obligará a realizar alguna canalización para los cables de control y telecomunicaciones.

El trazado de las canalizaciones seguirá criterios de independencia en lo referente a los recorridos de los cables de potencia, control y telecomunicaciones con el objetivo de reducir los efectos que al resto de la instalación puedan producir incidentes en los cables de potencia, de tal forma que los criterios generales serán:

- Separación del trazado de los cables de potencia de MT del transformador y a su vez entre los de ambas máquinas.
- Separación entre los trazados de cables de potencia que acometen a cada uno de los módulos de celdas de MT (si fuera necesario) a efectos de mantener la sectorización.
- Los cables de control se llevarán por canalizaciones independientes de las de los cables de potencia.
- Los cables de telecomunicaciones se llevarán por canalizaciones independientes de los cables de potencia y control.

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.

Las zanjas de cables situadas tanto en zona de acceso de vehículo como en los cruzamientos con viales, serán reforzadas con hormigón armado y cubiertas con tapa metálica reforzada con espesor suficiente para soportar el paso de vehículos pesados, chapa estriada de 6 mm de espesor mínimo reforzada con pletinas. Para el resto de canalizaciones se empleará tubo corrugado de 110, 160 o 200 mm de diámetro, rígido para comunicar las atajeas con arquetas, y flexible para unir las arquetas y zanjas con las cimentaciones.

Así mismo tanto los huecos de entrada de cables al edificio en su conexión con las canalizaciones exteriores como las bocas de salida de los cables, deben quedar sellados para evitar la entrada de roedores, suciedad, etc.

5.3.7. Sistema de drenaje

En todas las instalaciones ya existe el sistema de drenaje y se conecta a la red municipal de drenajes situada en las inmediaciones, por lo que no se modificará dicha red. Pero en caso de que durante la realización de los trabajos se viera afectada alguna línea de evacuación de pluviales, ésta será respuesta y ajustada para el perfecto funcionamiento del sistema general existente.

5.3.8. Cimentaciones

Si la reforma no conlleva ningún tipo de compactación, se realizarán cimentaciones in situ mediante hormigón armado:

- Cimentaciones para los soportes de la estructura metálica necesaria para la salida del transformador de potencia en 30 kV y 13,2 kV.
- Se construirán todas las canalizaciones eléctricas necesarias o tubos necesarios para el tendido de los correspondientes cables de potencia y control.
- Cimentaciones para los soportes de sujeción de los nuevos transformadores de servicios auxiliares.
- Construcción de diversas soleras de hormigón necesarias para el apoyo de las nuevas resistencias de P.a.T. que se conectarán con los transformadores de potencia existentes.
- Se ejecutarán cimentaciones para sustentación de las nuevas pantallas acústicas a instalar alrededor de los transformadores.

Si la reforma conlleva una compactación de la subestación se realizarán cimentaciones in situ mediante hormigón armado:

- Cimentaciones para los soportes de la estructura metálica necesaria para la salida del transformador de potencia en 30 kV y 13,2 kV.
- Se construirán todas las canalizaciones eléctricas necesarias o tubos necesarios 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.
- Construcción de diversas soleras de hormigón necesarias para el apoyo de los nuevos edificios prefabricados de celdas y las nuevas resistencias de P.a.T. que se conectarán con los transformadores de potencia existentes.
- Se ejecutarán cimentaciones para sustentación de las nuevas pantallas acústicas a instalar alrededor de los transformadores.

6. CÁLCULO

Se realizarán los cálculos necesarios para poder determinar la validez de las tierras inferiores y de los embarrados, tanto rígidos como flexibles, así como de los transformadores de intensidad en función de la curva de saturación.

También se determinarán las distancias mínimas de seguridad, según normativa, y se darán las pautas para poder ajustar los equipos de protección y conseguir una correcta coordinación entre las diferentes posiciones, y los pasos necesarios para calcular el rectificador de batería necesaria para el nuevo sistema de control y protección.

6.1. Intensidad de cortocircuito

A la hora de calcular la intensidad de cortocircuito se ha supuesto una red de potencia infinita y una falta a la salida de una línea de media tensión, que es la condición más desfavorable a la hora de calcular la intensidad de cortocircuito, así se un margen de seguridad a la hora de seleccionar los diferentes elementos que formarán parte de la subestación [Montaner, 1988].

Si la potencia de la red es infinita, la impedancia de la red es nula, que como se puede observar es una condición ideal:

$$Z_q = \frac{c \cdot U^2}{S_q} = 0 \Omega \quad (3)$$

6.1.1. Cortocircuito trifásico

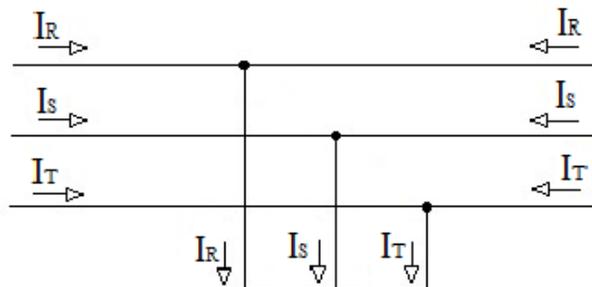


Figura 6.1. Cortocircuito trifásico

En el punto de falta se cumple que:

$$V_R = V_S = V_T = 0 \quad (4)$$

Las componentes simétricas, para la fase R, serán:

$$\text{Componente Homopolar: } V_0 = \frac{V_R + V_S + V_T}{3} = 0 = 0 - I_0 Z_0 \quad (5)$$

$$\text{Componente Directa: } V_{RD} = \frac{V_R + aV_S + a^2V_T}{3} = 0 = V_{RN} - I_{RD}Z_D \quad (6)$$

$$\text{Componente Inversa: } V_{RI} = \frac{V_R + a^2V_S + aV_T}{3} = 0 = 0 - I_{RI}Z_I \quad (7)$$

Por lo que la corriente de secuencia inversa y la de secuencia homopolar son nulas.

La intensidad de falta para un cortocircuito trifásico será la intensidad de secuencia directa:

$$I_{RD} = \frac{V_{RN}}{Z_D} \quad (8)$$

Donde:

V_{RN} es la tensión simple que corresponde a $\frac{U_n}{\sqrt{3}}$

Z_D es la impedancia del transformador, de la que despreciamos la componente resistiva frente a la componente reactiva dada por la tensión de cortocircuito μ_{cc} , y será:

$$Z_D = X_t = \frac{U_n^2}{P} * \mu_{cc} \quad (9)$$

La intensidad de cortocircuito será:

$$I_{cc} = \frac{U_n * 10^3}{\sqrt{3} * Z_D} \quad (10)$$

6.1.2. Cortocircuito monofásico

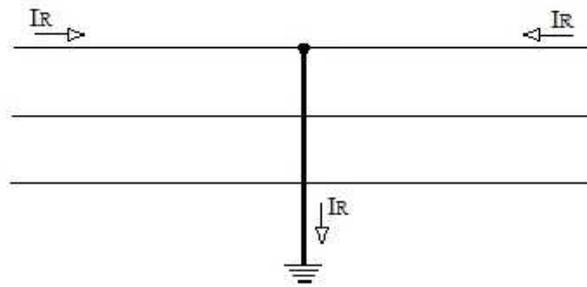


Figura 6.2. Cortocircuito monofásico

En el punto de la falta se cumple:

$$I_T = I_S = 0 \quad (11)$$

$$I_R = I_{RD} + I_{RI} + I_0 \rightarrow I_R = 3I_{RI} \quad (12)$$

$$I_S = a^2 I_{RD} + a I_{RI} + I_0 \quad (13)$$

$$I_T = a I_{RD} + a^2 I_{RI} + I_0 \quad (14)$$

$$I_R + I_S + I_T = (1 + a + a^2)(I_{RD} + I_{RI}) + 3I_0 \rightarrow I_R = 3I_0 \quad (15)$$

$$I_R + a I_S + a^2 I_T = I_{RD}(1 + 2a^3) + I_{RI}(1 + a^2 + a^4) + I_0(1 + a + a^2) \rightarrow I_R = 3I_{RD} \quad (16)$$

$$V_R = 0 = V_{RD} + V_{RI} + V_0 \quad (17)$$

$$V_{RN} = I_{RD}Z_{TD} + I_{RI}Z_{TI} + I_0(Z_{T0} + Z_0) \quad (18)$$

$$I_0 = \frac{V_{RN}}{Z_{TD} + Z_{TI} + Z_{T0} + Z_0} \quad (19)$$

La única secuencia para una falta monofásica en la que sólo consideramos la impedancia del transformador es la de secuencia directa, Z_D , y la homopolar correspondiente a la resistencia de puesta a tierra, $Z_0 = R_0 = 17 \Omega$.

La intensidad de falta para un cortocircuito a tierra será:

$$I_{cc} = \frac{U_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (X_t + R_0)} \quad (20)$$

6.1.3. Configuración en Y

Datos de partida:

- | | |
|---|--------------------------|
| • Potencia red | Red de potencia infinita |
| • Potencia en régimen ONAN | 10 MVA |
| • Potencia en régimen ONAF | 12,5 MVA |
| • Tensión de Cortocircuito (μ_{cc}) | 8 % |
| • Tensión de referencia (U_n) | 13,2 kV |

Impedancia del transformador: $Z_D = 1,115 \Omega$

Intensidad de cortocircuito trifásica: $I_{cc} = 6834 \text{ A}$

Intensidad de cortocircuito monofásica: $I_{cc} = 421 \text{ A}$

6.1.4. Configuración en H

Para el cálculo de las intensidades de cortocircuito se tendrán en cuenta únicamente los datos del nuevo transformador instalado, puesto que es el de mayor potencia y por lo tanto las intensidades de cortocircuito serán mayores. No se tiene en cuenta la suma de los transformadores en paralelo puesto que la explotación normal de la instalación es con el enlace de media tensión abierto, sin acoplar los transformadores, para evitar a recirculación de reactiva que aparece entre ellos.

Datos de partida:

- | | |
|---|--------------------------|
| • Potencia red | Red de potencia infinita |
| • Potencia en régimen ONAN | 20 MVA |
| • Potencia en régimen ONAF | 25 MVA |
| • Tensión de Cortocircuito (μ_{cc}) | 8,5 % |
| • Tensión de referencia (U_n) | 13,2 kV |

Impedancia del transformador: $Z_D = 0,592 \Omega$

Intensidad de cortocircuito trifásica: $I_{cc} = 12864 \text{ A}$

Intensidad de cortocircuito monofásica: $I_{cc} = 433 \text{ A}$

6.2. Cálculo de tierras inferiores

Se verificará la malla de tierra teniendo en consideración el ITC-RAT 13 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión (Real Decreto 337/2014, de 9 de Mayo). Para ello se seguirá el procedimiento siguiente:

- a) Investigación de las características del suelo y posterior cálculo de la resistividad de la tierra

Los datos de resistividad del terreno para el cálculo de las tensiones de paso y contacto son:

- Espesor de la capa superficial 0,1 m
- Resistividad de la capa superficial 3000 $\Omega \cdot m$
- Resistividad media del terreno De 5 a 100 $\Omega \cdot m$

- b) Diseño preliminar de la instalación de tierra

El diseño de la malla de tierra consiste en cuadrados o rectángulos con 4 y 8 picas. En cualquier caso, durante la obra se supervisará el estado de la actual malla de tierra y se valorará su reemplazamiento en los puntos que sea viable.

La profundidad a la que se encuentra enterrada y las características físicas se definen en la siguiente tabla:

- Profundidad a la que está enterrada la tierra Entre 0,5 y 0,6 m
- Cable de tierra del conductor Acero de 16 mm de diámetro

Datos de la malla de acero

- Coeficiente térmico resistividad (20°C) 0,005°C⁻¹
- Coeficiente (1/ α 0 a 0°C) 300°C
- Resistividad (20°) 13 $\mu\Omega/cm$
- Temperatura máxima admisible 300°C

- c) Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo de eliminación del defecto.

La intensidad de cortocircuito monofásica en el sistema de 30 kV en las subestaciones rurales, viene determinada por la subestación de generación o transporte de la que cuelga.

La intensidad de cortocircuito monofásica en el sistema de 13,2 kV, calculada en el apartado 1, depende de la potencia del transformador y de la resistencia de puesta a tierra.

Las demás características eléctricas son:

- Frecuencia de la red 50 Hz
- Relación de impedancias (X/R) 20
- Tiempo de despeje de la falta (t_F) 0,5 s
- Relación de tensiones 30/13,2 kV

Se calcula la intensidad de falta máxima que pueden soportar las líneas de puesta a tierra en función de la siguiente expresión:

$$3I_{0\text{Total}} = 1,2 * \text{Sección de la línea} * \rho \quad (21)$$

A efectos de dimensionamiento, las densidades de corriente para un tiempo mínimo de un segundo de defecto a la frecuencia de red serán:

- Cobre (ρ_{Cu}) 160 A/mm²
- Acero (ρ_{Ac}) 60 A/mm²

La sección de cada una de las líneas de puesta a tierra es:

- Cobre 95 mm²
- Acero $\pi * r^2 = 201 \text{ mm}^2$

Luego la intensidad de máxima que pueden soportar cada uno de las líneas de puesta a tierra es:

- Cobre 18240 A
- Acero 14469 A

Se comprobará que la intensidad de falta máxima es inferior a la máxima intensidad que pueden soportar

d) Cálculo de las tensiones de paso y contacto

La tensión de contacto admisible, U_{ca} , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta I_F viene definida por:

$$U_{ca} = \frac{K}{t^n} \quad (22)$$

Siendo K y n constantes cuyo valor en función del tiempo son los que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Valores de las constantes en función del tiempo

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

Las máximas tensiones de paso y contacto vienen determinadas por las siguientes expresiones:

$$U_c = U_{ca} * \left(1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 * Z_B}\right) = U_{ca} * \left(1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 * \rho_s}{1000}\right) \quad (23)$$

$$U_p = U_{pa} * \left(1 + \frac{2 * R_{a1} + 2 * R_{a2}}{Z_B}\right) = 10 * U_{ca} * \left(1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho_s}{1000}\right) \quad (24)$$

Donde:

U_{ca} es la tensión de contacto aplicada admisible, que es función de la duración de la corriente de falta. Para un tiempo de despeje de 0,5 s, la tensión U_{ca} será de 204 V

U_{pa} es la tensión de paso aplicada admisible, que considerando únicamente la propia impedancia del cuerpo humano sin resistencias adicionales, se define como 10 veces el valor de U_{ca} .

Z_B Impedancia del cuerpo humano. Se considera un valor de 1000.

R_{a1} es la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000. Será nula cuando las personas están descalzas en instalaciones situadas en jardines, piscinas y áreas recreativas.

R_{a2} es la resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. Se define como 3 veces ρ_s , la resistividad del terreno cerca de la superficie.

Para calcular la resistividad del terreno cerca de la superficie en los casos en que el terreno se recubre con una capa de elevada resistividad, como grava u hormigón, se multiplicará por un coeficiente reductor que se obtendrá de la siguiente expresión:

$$C_S = 1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_c}}{2h_s + 0,106} \right) \quad (25)$$

Donde:

C_S es el coeficiente reductor

h_s es el espesor de la capa superficial, 0,1 metros

ρ es la resistividad del terreno natural, en el caso más desfavorable de $5 \Omega \cdot m$

ρ_c es la resistividad de la capa superficial, $3000 \Omega \cdot m$

Datos obtenidos:

- C_S (coeficiente corrector) 0,65
- U_c (tensión de contacto) 1008,53 V
- U_p (tensión de paso) 34221,40 V

e) Cálculo de las tensiones de paso y contacto reales en el interior de la instalación

Se determina mediante un software y realizando las mediciones sobre el terreno, los valores reales de las tensiones de paso y contacto y de la resistencia de puesta a tierra.

f) Comprobar que las tensiones de paso y contacto calculadas en el apartado anterior son inferiores a los calculados en el apartado d).

6.3. Ajustes de las protecciones de transformador

6.3.1. Protecciones de sobreintensidad

El cálculo de los ajustes de los equipos de protección de sobreintensidad del transformador está condicionado a los siguientes requerimientos: La selectividad está condicionada por los siguientes requerimientos:

- Los tiempos de coordinación entre cada una de las posiciones será de al menos 0,4 seg.
- Limitar los tiempos de despeje de las faltas para no superar las tensiones de paso y contacto admisibles.
- Los tiempos de apertura de los interruptores del sistema de alta tensión por faltas trifásicas y monofásicas en barras de MT deberán coordinarse sin superar el límite de 1,5 segundos.

Se utilizará los índices de curvas normal inversa de la Norma IEC para determinar los tiempos de apertura, que se calculará:

$$\text{Índice} = t * \frac{\left(\frac{I_{cc}}{I_{arr}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (26)$$

Donde:

t es el tiempo de disparo.

I_{arr} es la intensidad de arranque.

I_{cc} es la intensidad de cortocircuito.

La intensidad de arranque dependerá de la intensidad nominal, I_n , de los transformadores, la cual se viene definida por:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} * U_n} \quad (27)$$

6.3.2. Lado de AT

Se dispondrá de una unidad temporizada y otra unidad instantánea, para faltas entre fases y para faltas a tierra.

La unidad de fase se ajustará:

Con el objetivo de evitar el envejecimiento prematuro del aislamiento provocado por un calentamiento excesivo generado por una sobrecarga prolongada del transformador el arranque se ajustará al 140% de la intensidad nominal, I_n .

La curva de disparo será tal que el tiempo de disparo no será superior a 1,5 segundos.

La unidad instantánea de fase dará respaldo a la protección diferencial, por lo que actuará únicamente para faltas internas en el transformador y se ajustará al doble de la intensidad de cortocircuito trifásico en barras de MT.

La unidad de tierra se ajustará:

Para transformadores cuyo devanado en AT tiene conexión en triángulo la unidad de tierra actuará únicamente ante faltas internas al transformador como apoyo a la protección diferencial, por lo que se ajustará a valores bajos tanto de arranque como de índice de tiempos, deshabilitándose la unidad instantánea.

El arranque será el 20% de la intensidad nominal, I_n .

La curva de disparo tendrá el índice más bajo 0,1 IEC Normal Inversa.

Configuración en Y

Datos de partida:

- Potencia en régimen ONAF 12,5 MVA
- Tensión de referencia (U_n) 30 kV
- Intensidad de cortocircuito trifásica 3007 A
- Intensidad nominal 241 A

Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas entre fases	336 A
Curva	0,45 Normal Inversa IEC
Intensidad Instantánea, I_{inst} , para faltas entre fases	6014 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas a tierra	50 A

Configuración en H

Datos de partida:

• Potencia en régimen ONAF	25 MVA
• Tensión de referencia (U_n)	30 kV
• Intensidad de cortocircuito trifásica	5660 A
• Intensidad nominal	481 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas entre fases	673 A
Curva	0,45 Normal Inversa IEC
Intensidad Instantánea, I_{inst} , para faltas entre fases	11320 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas a tierra	100 A

6.3.3. Lado de MT

Se dispondrá de una unidad temporizada y otra unidad instantánea, para faltas entre fases y para faltas a tierra.

- La unidad de fase se ajustará:

Por el mismo objetivo con el que se ha ajustado la protección de sobreintensidad de AT el arranque se ajustará 140% de la intensidad nominal, I_n :

La curva de disparo se ajustará con un margen de coordinación de al menos 0,4 segundos con respecto a la protección de AT.

La unidad instantánea actuará únicamente ante faltas en barras de MT, pero con la precaución de no adelantarse al disparo de las líneas de MT para una falta en los transformadores de intensidad de éstas, por lo que se ajustará al 80% de la intensidad de cortocircuito trifásico en barras de MT y se temporizará a 100 ms.

- La unidad de neutro

Para las faltas a tierra se tiene dos protecciones diferentes, una conectada al sistema de puesta a tierra del transformador (51G) en la que se utilizará solamente la unidad temporizada y se ajustará en 120 A, y la otra protección se conectará al circuito de intensidades de la celda de MT del transformador (51N) y se ajustará 100 A.

La curva de disparo será tal que el tiempo de disparo de la protección de puesta a tierra no será superior a 1,5 segundos, y la de la protección 51N se coordinará en 0,4 segundos. Resultado las siguientes curvas:

Al igual que la unidad instantánea de fase, la de neutro actuará únicamente ante faltas en barras de MT, pero con la precaución de no adelantarse al disparo de las líneas de MT para una falta en los transformadores de intensidad de éstas, por lo que se ajustará al 80% de la intensidad de cortocircuito trifásico en barras de MT y se temporizará a 100 ms.

Configuración en Y

Datos de partida:

• Potencia en régimen ONAF	12,5 MVA
• Tensión de referencia (U_n)	13,2 kV
• Intensidad de cortocircuito trifásica	6834 A
• Intensidad de cortocircuito a tierra	421 A
• Intensidad nominal	547 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas entre fases	765 A
Curva	0,35 Normal Inversa IEC
Intensidad Instantánea, I_{inst} , para faltas entre fases	5467 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas a tierra del 51G	120 A
Curva del 51G	0,27 Normal Inversa IEC
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas a tierra del 51N	100 A
Curva del 51N	0,23 Normal Inversa IEC
Intensidad Instantánea, I_{inst} , para faltas a tierra	337 A

Configuración en H

Datos de partida:

• Potencia en régimen ONAF	25 MVA
• Tensión de referencia (U_n)	13,2 kV
• Intensidad de cortocircuito trifásica	12864 A
• Intensidad de cortocircuito a tierra	433 A
• Intensidad nominal	1093 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas entre fases	1530 A
Curva	0,35 Normal Inversa IEC
Intensidad Instantánea, I_{inst} , para faltas entre fases	10291 A
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas a tierra del 51G	120 A
Curva del 51G	0.27 Normal Inversa IEC
Intensidad de arranque, I_{arr} , para faltas a tierra del 51N	100 A

Curva del 51N

0,23 Normal Inversa IEC

Intensidad Instantánea, I_{inst} , para faltas a tierra

346 A

6.3.4. Protección diferencial

Para faltas internas en el transformador, además de las protecciones propias de la máquina, como la protección de Buchholz, la protección de Jansen o las protecciones por temperatura, se dotará de una protección diferencial basada en la primera ley de Kirchhoff.

Se calculará las corrientes nominales en ambos lados del transformador. Tanto la diferencia de magnitudes como las diferentes relaciones de transformación existentes, así como el desfase producido por el grupo de conexión, se compensan internamente con los ajustes introducidos en la protección diferencial.

Al estar uno de los arrollamientos conectado en estrella y el otro en triángulo las corrientes homopolares que se pueden generar con una falta a tierra en el devanado en estrella no aparecen en el devanado en triángulo. Esto implica la necesidad de filtrar las componentes homopolares, lo cual se realiza internamente en la protección mediante un ajuste que del grupo de conexión.

Con faltas externas al transformador las corrientes de cortocircuito pueden ser muy superiores a las nominales, por lo que los errores de lectura debidas a la posible saturación de los transformadores de intensidad se incrementan. Para mejorar la seguridad y estabilidad del relé diferencial, se ajustará la sensibilidad con la que definimos la intensidad diferencial mínima que debe aparecer para que actúe la protección, y la pendiente de frenado, con la que se establece una relación entre la intensidad de paso y la intensidad diferencial, de tal forma que a mayor intensidad de paso se necesita mayor intensidad diferencial para que la protección diferencial actúe.

De tal forma que los ajustes a introducir en la protección diferencial serán:

Grupo de conexión: Triángulo/Estrella

Desfase Horario: 11

Filtro homopolar: Sí

Sensibilidad: 30% I_n

Pendiente de frenado es del 20%:

$$I_{dif} = 0,2 * I_p \quad (28)$$

Para el transformador instalado en una instalación con configuración en Y:

Intensidad nominal en el devanado AT: $I_n = 240,56 \text{ A}$

Intensidad nominal en el devanado MT: $I_n = 546,73 \text{ A}$

Para el transformador instalado en una instalación con configuración en H:

Intensidad nominal en el devanado AT: $I_n = 481,13 \text{ A}$

Intensidad nominal en el devanado MT: $I_n = 1093,47 \text{ A}$

Por lo que la curva de disparo de la protección diferencial será tal y como se ve en la *figura 6.3*.

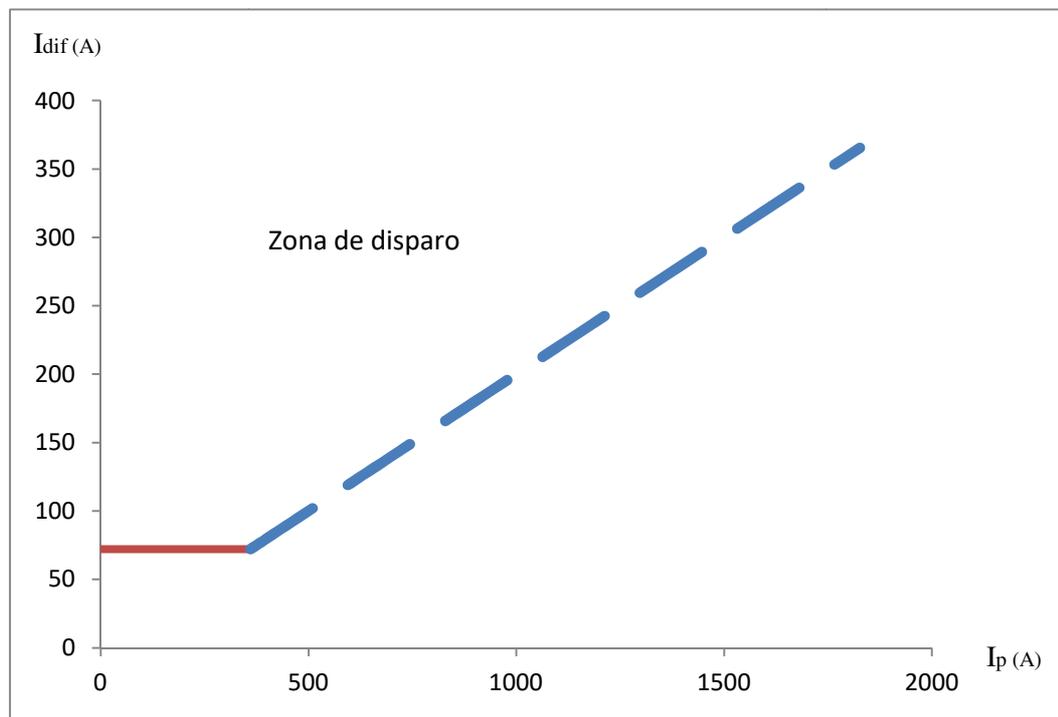


Figura 6.3. Curva de disparo de la protección diferencial

En las conexiones en vacío se obtiene una elevada corriente de magnetización en el devanado en el que ha sido conectado. Como por el otro devanado no circula ninguna corriente, toda la corriente de magnetización será corriente diferencial, y puede llegar a valores de 5 a 10 veces la intensidad nominal al conectarse el lado de A.T., o de 10 a 20 veces si se conecta el lado de M.T. Para compensar esta corriente magnetizante la protección diferencial cuenta con otro elemento de frenado basado en las altas componentes de segundo y quinto armónico que aparecen en este tipo de corrientes.

6.4. Cálculo de los embarrados

6.4.1. Embarrado rígido

Las barras principales del sistema de 30 kV están formadas por tubo de cobre de 30/20 mm que admite una intensidad de paso de forma permanente de 1.100 A.

Las barras principales del sistema de 13,2 kV están formadas por tubo de cobre de 40/30 mm que admite una intensidad de paso de forma permanente de 1.340 A

Esto equivale a una potencia nominal en cada embarrado de:

$$P_n = \sqrt{3} * U_n * I_p \quad (29)$$

- En el sistema de 30 kV 57,16 MVA
- En el sistema de 13,2 kV 30,64 MVA

Como se puede observar, los valores obtenidos son superiores a la potencia instalada actual y prevista futura.

6.4.2. Embarrado flexible

La conexión desde las bornas de salida de 30 kV del transformador de potencia hasta el embarrado se realiza mediante cable de cobre desnudo de sección 150 mm² que admite una corriente de paso permanente de 512 A.

La conexión desde el embarrado de 30 kV hasta la celda correspondiente se realiza mediante una terna de cable de potencia tipo HEPRZ (AS) Al 240 mm² que admite una corriente de paso permanente de 365 A por fase.

La conexión desde las bornas de salida de 13,2 kV del transformador de potencia hasta el embarrado se realiza mediante cable de cobre desnudo de 500 mm² de sección que admite una corriente de paso permanente de 1128 A.

La conexión desde el embarrado de 13,2 kV hasta la celda correspondiente se realiza mediante una terna de cable de potencia tipo HEPRZ (AS) Al 400 mm² que admite una corriente de paso permanente de 470 A por fase.

Esto equivale a una potencia nominal en cada conexión de:

$$P_n = \sqrt{3} * U_n * I_p \quad (30)$$

- De Bornas de 30 kV hasta el embarrado 26,60 MVA
- Del embarrado de 30 kV hasta la celda 56,90 MVA
- De Bornas de 13,2 kV hasta el embarrado 25,79 MVA
- Del Embarrado de 13,2 kV hasta la celda 32,24 MVA

Como se puede observar, los valores obtenidos son superiores a la potencia instalada actual y prevista futura.

6.5. Distancias mínimas

La distancia mínima en el aire entre elementos en tensión y entre estos elementos y las estructuras metálicas puestas a tierra, dentro de una instalación de transformación 30/13,2 kV, viene definida por la tensión más elevada que existe para estos nivel de tensión.

El “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión” en su ITC - RAT 12, en la tabla 6.2., define la distancia mínima de aislamiento tanto en instalaciones de interior como de exterior, buscando un alto grado de seguridad:

Tabla 6.2. Distancia mínima de aislamiento

Tensión nominal de la red (U_n) (kV eficaces)	Tensión más elevada del material (U_m) (kV eficaces)	Tensión soportada nominal 50 Hz (kV eficaces)	Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo (kV eficaces)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases	
				Instalación interior (cm)	Instalación exterior (cm)
15	17,5	38	95	16	16
30	36	70	170	32	32

En dicho reglamento no contempla una tensión nominal de 13,2 kV, por lo que para el cálculo tomaremos la tensión inmediatamente superior, para tener mayor grado de seguridad.

Consideraremos que la altitud de las instalaciones será siempre inferior a 1.000 m, por lo tanto las distancias mínimas no tendrán ningún factor de corrección por altura.

6.5.1. Distancias fase – tierra y entre - fases

- Sistema de 30 kV
 - En el sistema de 30 kV se utilizan cables aislados apantallados y aparamenta bajo envolvente metálica aislada en SF6 de acuerdo con las Normas CEI aplicables, 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 entre fases superiores a las mínimas exigidas.
- Sistema de 13,2 kV
 - En el sistema de 13,2 kV se utilizan cables aislados apantallados y aparamenta bajo envolvente metálica aislada en SF6 de acuerdo con las Normas CEI aplicables, 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 entre fases superiores a las mínimas exigidas.

La resistencia de puesta a tierra estará protegida por una envolvente metálica exterior puesta a tierra de forma que sea imposible un contacto directo en tensión.

6.5.2. Distancias en pasillos de servicios y zonas de protección

Según la instrucción ITC – RAT 15, punto 4.1.2., 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:

$$H = 250 + d + 10 \text{ cm (margen)} \quad (31)$$

Siendo “d” la distancia expresada en centímetros de la tabla anterior y la cota adicional de 10 cm se considera como margen de seguridad para asegurar el cumplimiento del criterio definido aún en las zonas de la instalación que se encuentran elevadas sobre el parque, como las canalizaciones, viales de acceso o cimentaciones.

- Para el parque de 30 kV, de la tabla 2, d = 32 cm. Por lo tanto:

$$H = 250 + 32 + 10 = 292 \text{ cm}$$

- Para el parque de 13,2 kV, de la tabla 1, d = 22 cm. Por lo tanto:

$$H = 250 + 16 + 10 = 276 \text{ cm}$$

Todos los elementos en tensión en las zonas accesibles, como los embarrados de salida del transformador, estarán situados a una altura sobre el suelo superior a 292 cm, en el lado de 30 kV, y de 276 cm en el lado de 13,2 kV, considerando en tensión la línea de contacto del aislador con su zócalo o soporte, si éste se encuentra puesto a tierra.

Según la instrucción ITC – RAT 14 punto 6.1.1, tanto en instalaciones de interior como de exterior, la anchura de los pasillos de servicio tiene que ser suficiente para permitir la fácil maniobra e inspección de las instalaciones, así como el libre movimiento por los mismos de las personas y el transporte de los aparatos en las operaciones de montaje o revisión de los mismos.

Esta anchura no será inferior a la que a continuación se indica:

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

6.5.3. Distancias de protección contra contactos accidentales desde el exterior

Todas las instalaciones se encuentran protegidas por una valla, enrejado, u obra de fábrica de una altura de 2.20 metros como mínimo, medida desde el exterior. Para evitar los contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión, las distancias mínimas de seguridad, medidas en horizontal y en centímetros serán, según la instrucción ITC – RAT 15 punto 4.3.1, para cierres de enrejado de altura $K \geq 220$ cm:

- Para el sistema de 30 kV:

$$G = d + 150 = 32 + 150 = 182 \text{ cm} \quad (32)$$

- Para el sistema de 13,2 kV:

$$G = d + 150 = 16 + 150 = 166 \text{ cm} \quad (33)$$

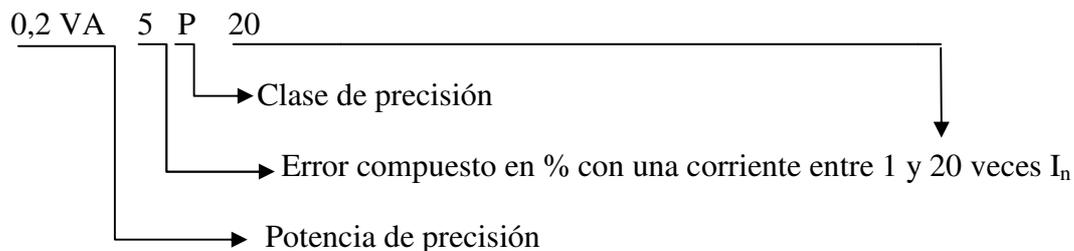
6.6. Transformadores de intensidad de medida y protección

Se comprobará que el punto de saturación no se alcanza con las intensidades de cortocircuito, de tal forma que no se hace variar la relación de transformación y ángulo de fase y por lo tanto el correcto funcionamiento de los relés de protección.

Los factores a considerar a la hora de comprobar la eficiencia de un transformador de intensidad son la corriente máxima de cortocircuito, la carga a que está sometido, la relación de transformación y la clase y potencia de precisión.

Las características eléctricas de los transformadores de intensidad en las posiciones de línea son:

- Tensión de aislamiento asignada 24 kV
- Tensión de servicio nominal 13,2 kV
- Relación de transformación: 1000/1 A
- Potencias y clases de precisión (celdas línea):



Impedancia máxima externa conectada:

$$P = I_l^2 * Z_b \rightarrow Z_b = 0,2 \Omega \quad (36)$$

Donde:

P es la potencia de precisión

I_l^2 es la corriente simétrica secundaria máxima. En este caso 1 A.

Z_b es la impedancia externa conectada (carga que presenta el relé).

Tensión máxima:

$$V_{\max} = I_s * Z_b \rightarrow V_{\max} = (1 * 20) * 0,2 = 4 \text{ V} \quad (37)$$

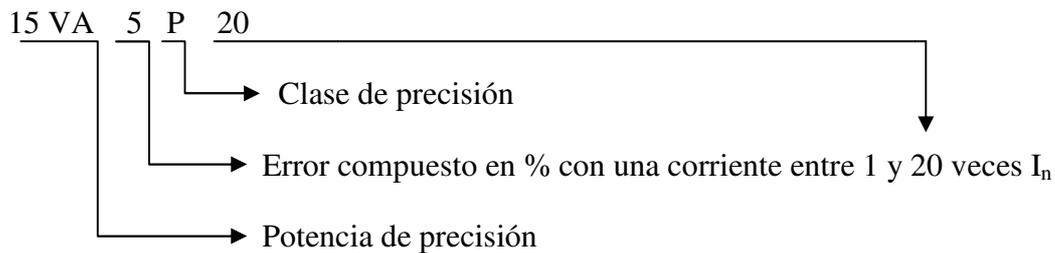
Intensidad límite de precisión:

$$I_p = I_s * R_{t.i.} * N^\circ \text{ de veces} \rightarrow I_p = 1 * 1000 * 20 = 20000 \text{ A} \quad (38)$$

Por lo tanto para un circuito de intensidad con una carga conectada de 0,2 Ω , mantiene las características de precisión por encima de la intensidad de cortocircuito.

La posición de transformación tiene dos transformadores de intensidad diferentes, uno con las mismas características que los transformadores de intensidad montados en las posiciones de línea, y un segundo transformador toroidal de intensidad para la protección diferencial cuyas características eléctricas son:

- Tensión de aislamiento asignada 24 kV
- Tensión de servicio nominal 13,2 kV
- Relación de transformación: 600/1 A
- Potencias y clases de precisión (celdas línea):



Impedancia máxima externa conectada:

$$P = I_t^2 * Z_b \rightarrow Z_b = 15 \Omega \quad (36)$$

Tensión máxima:

$$V_{\max} = I_s * Z_b \rightarrow V_{\max} = (1 * 20) * 15 = 300 \text{ V} \quad (37)$$

Intensidad límite de precisión:

$$I_p = I_s * R_{t.i.} * N^{\circ} \text{ de veces} \rightarrow I_p = 1 * 600 * 20 = 12000 \text{ A} \quad (38)$$

Por lo tanto para un circuito de intensidad con una carga conectada de 15 Ω , mantiene las características de precisión por encima de la intensidad de cortocircuito.

6.7. Cálculo rectificador de batería

La sustitución de los equipos de protección y control de un sistema convencional a uno digital, implica redimensionar la capacidad del equipo rectificador-batería de 125 Vcc para garantizar la alimentación de los servicios auxiliares para una subestación en la que además de instalar un nuevo sistema integrado de control y protección, se ha realizado la compactación de los dos sistemas de tensión.

6.7.1. Datos de partida e hipótesis de cálculo

Se considera la necesidad de una batería con la capacidad suficiente como para garantizar la alimentación de los servicios auxiliares de la instalación con la tensión de 125 Vcc durante un periodo mínimo de 6 horas y soportar las maniobras mínimas necesarias de la aparamenta para recuperar la corriente alterna.

Se tienen que tener en cuenta los consumos de todos los equipos que se alimenten a 125 Vcc y que estén funcionando en permanencia en condiciones normales, y los consumos en la maniobra de los interruptores de las celdas de MT y AT.

Los datos iniciales para el diseño del rectificador-batería de 125 Vcc son:

- Tensión nominal: 125 Vcc
- Tensión máxima admisible en bornas de la batería: 137,5 Vcc
- Tensión mínima admisible en bornas de la batería: 106 Vcc.
- Margen de diseño: 1,2
- Factor de envejecimiento: 1,1
- Temperatura de diseño: 20°
- Temperatura mínima: 10°
- Temperatura máxima: 40°

6.7.2. Proceso de cálculo

Un primer cálculo será el de la suma de todos los consumos que se alimentan del rectificador en condiciones normales, y con ello conoceremos la intensidad permanente. Los elementos que se alimentan de la tensión que proporciona el rectificador serían los nuevos sistemas de control y protección, tal y como se puede observar en las siguientes tablas:

6.3. Consumo en equipos de control y protección en posición de transformador

	BASTIDORES DE PROTECCIONES TRAFOS.				TOTAL EQUIPOS	CONSUMO W	CONSUMO A
	T-1	T-2					
87	1	1			2	14	0,112
50-51G-TZ	1	1			2	14	0,112
81	1	1			2	15,6	0,1248
90/70	1	1			2	14	0,112
TCP	1	1			2	50	0,4
CDO	1	1			2	5	0,04

6.4. Consumo en equipos de control y protección en celdas de 30 kV

	CELDAS 30kV				TOTAL EQUIPOS	CONSUMO W	CONSUMO A
	LINEAS	TRAFOS	EB	MEDIDA			
TCP+PL 300	2	2	1	0	5	68,6	0,5488
CDO	0	0	1	0	1	2,5	0,02

6.5. Consumo en equipos de control y protección en celdas de 13,2 kV

	CELDAS 13kV					TOTAL EQUIPOS	CONSUMO W	CONSUMO A
	LINEAS	TRAFOS	EB	MEDIDA	PARTICIÓN			
TCP+PL300	4	2	0	0	1	7	93	0,744
CDO	0	0	0	2		2	5	0,04

6.6. Consumo en equipos de control de servicios auxiliares

	SERVICIOS AUXILIARES				TOTAL EQUIPOS	CONSUMO W	CONSUMO A
	C.A.	C.C.	EMERG.	COMUNIC			
27	2				2	5	0,04
V-A	2	2			4	24	0,192
27B	2				2	5	0,04
80		2			2	7	0,056
DC/DC 12			1		1	6	0,048
UCS	1					250	2

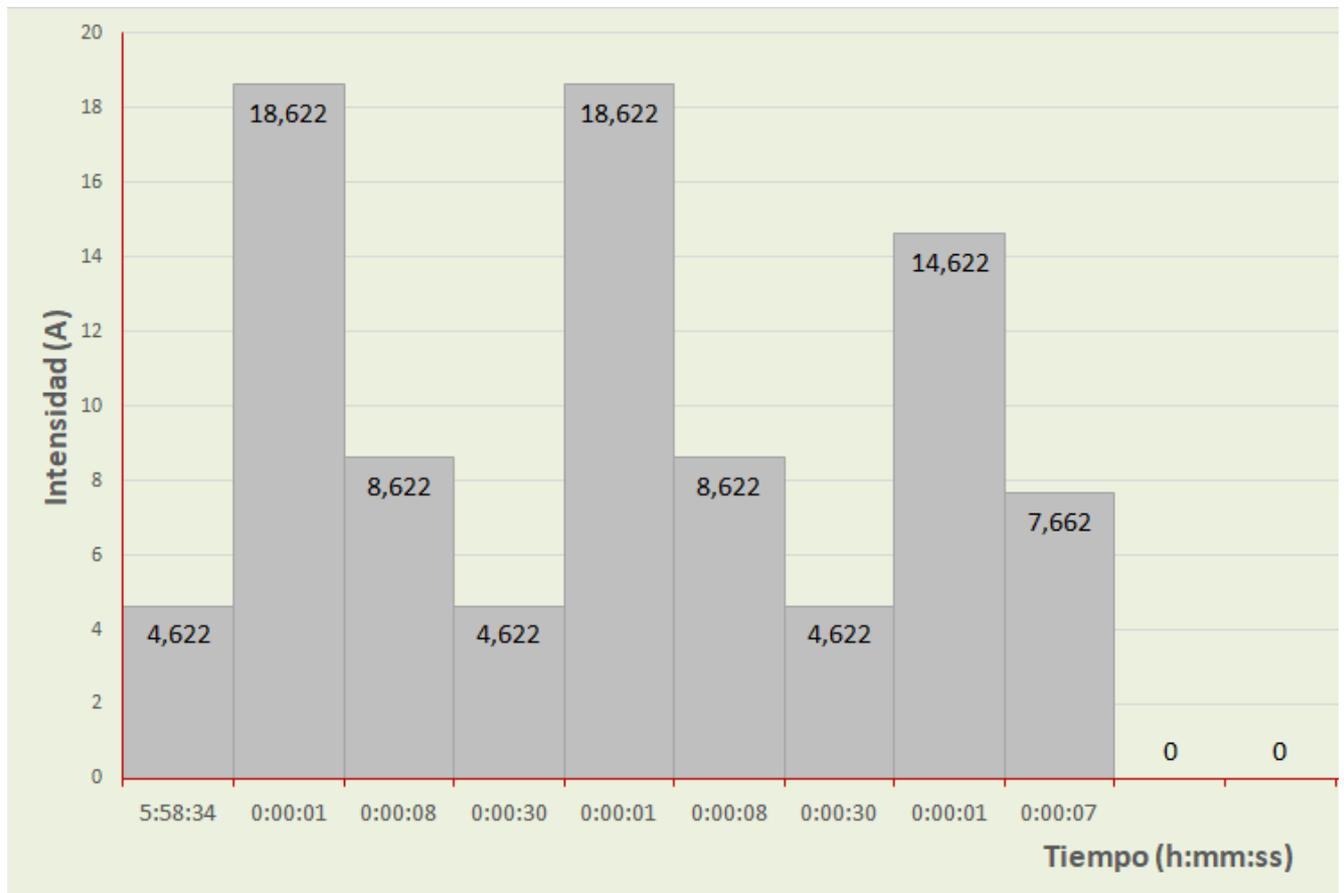
El consumo total será la suma las intensidades de los consumos anteriores, dando como resultado **4.63 A**, con una potencia de consumo total en régimen permanente de **578,7 W**.

Con el cálculo de la intensidad permanente y con los del consumo de las maniobras de la aparatenta, obtenemos la curva de descarga que tiene que atender la batería.

6.7. Consumo en las maniobras de energización.

	Celda de línea 30kV (SB)	Celda de transformador 30 kV (SB)	Celdas 20/15/13 kV (SB) 630/1250A
Consumo (A)	14	14	10
Tiempo (h:mm:ss)	0:00:08	0:00:08	0:00:07
Motor (A)	4	4	3,04

El diagrama de solicitaciones viene definido en la siguiente figura teniendo en cuenta la intensidad permanente en la instalación más los datos de consumos en las maniobras de la aparatenta.



6.4. Diagrama de consumos

En el diagrama se representa la intensidad que deberá aportar el rectificador-batería con respecto al tiempo, y con estos valores principales se realizará en cálculo de la capacidad mínima de la batería.

Se utilizará un programa de cálculo de capacidades de baterías de la marca SAFT teniendo en cuenta los datos iniciales para el diseño y la curva de descarga. Con el programa se calculará la potencia necesaria del rectificador para garantizar la demanda de la instalación y la carga de la batería en las condiciones más desfavorables.

En este caso, el cálculo del programa indica que se necesitará una batería con una curva de descarga tipo medio con una capacidad mínima de **56Ah**.

En subestaciones realizadas en la zona del País Vasco la batería se tendrá que elegir de acuerdo a la norma internas de la empresa distribuidora, escogiendo un equipo con capacidad y potencia del rectificador igual o superior al valor calculado, según los indicados en la tabla siguiente:

6.8. Equipos normalizados por la empresa distribuidora

Capacidad Batería (Ah)	30	100	160	200	260	320
Intensidad cargador (A)	10	35	50	70	100	100

Por lo tanto se escogerá una batería de 100 Ah y 35 A de intensidad.

Ahora se comprobará que tanto la capacidad como la intensidad del cargador del equipo elegido son adecuadas para la instalación.

6.7.3. Cálculo de la potencia del rectificador

El cargador debe ser capaz de suministrar la intensidad permanente necesaria para los servicios de la subestación, más la intensidad de carga rápida de la batería:

$$I_{n\text{cargador}} = I_{\text{carga}} + I_{\text{permanente}} \quad (39)$$

La intensidad de la carga de la batería, según recomienda los fabricantes, es:

$$I_{\text{carga}} = \frac{\text{Capacidad (Ah)}}{5} \quad (40)$$

Como la capacidad del rectificador elegido es de 100 Ah la intensidad de carga de la batería es de 20 A, y por lo tanto la intensidad nominal será:

$$I_{n\text{cargador}} = 20 + 4,63 = 24,63 \text{ A} \quad (39)$$

Como se puede comprobar, tanto la capacidad del rectificador, 100 Ah, es mayor que lo requerido, 56 Ah, como la intensidad nominal del cargador, 35 A, con respecto a lo calculado, 24,63 A.

7. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Se presentará el presupuesto para cada una de las alternativas del proyecto, y para cada una de las dos ampliaciones de potencia que se estudian realizar.

Hay que tener en cuenta que independientemente de si la ampliación de potencia implica la compactación de la instalación, con la sustitución del transformador también se va a realizar:

- Sustitución de la resistencia de puesta a tierra de 4Ω por una resistencia de 17Ω .
- Sustitución de pararrayos de protección en 30 kV y 13,2 kV.
- Sustitución del sistema de control de la subestación.
- Sustitución de equipos de protección y control de las posiciones de 30 kV, 13,2 kV y transformador, y su posterior instalación en armarios en el edificio de control existente.
- Instalación de armario de protección, control y medida en cada uno de los transformadores.
- Sustitución del cuadro principal de c.a. y c.c.
- Instalación del sistema contra incendios.
- Instalación del sistema antiintrusismo.
- Instalación del sistema de climatización y ventilación.

Por lo tanto se presentan cuatro resultados diferentes en función de si se realiza la compactación de los dos sistemas de tensión, y para cada una de las dos configuraciones.

Para la ejecución de los diferentes trabajos, dentro de cada una de las valoraciones económicas, se valorará la mano de obra y medios auxiliares necesarios para la realización correcta del trabajo, así como el traslado de los materiales y/o equipos desde el lugar donde se hubiera descargado hasta el punto de montaje definitivo. Separaremos los trabajos de montaje y desmontaje de los diferentes elementos que se debe instalar para dejar el trabajo totalmente acabado, y en cada caso se especificará lo que en cada una unidad se está valorando.

7.1. Obra eléctrica

En la valoración de desmontaje de cada uno de los elementos en que está formado la instalación de intemperie se incluye el desmontaje de las piezas de conexión al embarrado, de la estructura metálica sobre la que se apoya el aparato y la desconexión de la puesta tierra del conjunto, así como la desconexión del cable de control y fuerza desde el equipo a la caja de centralización.

En todos los trabajos de montaje están incluidos:

- El tendido del cable de control y fuerza necesario para su correcto funcionamiento desde los armarios de la sala de control o celda correspondientes hasta sus respectivos equipos.
- El amarrado de las mangueras al armario y el conexionado de todos los cables en ambos extremos.
- El suministro y montaje de los letreros de identificación, y del cable y grapas de puesta a tierra desde el latiguillo que sale de la red soterrada hasta cajas de centralización y equipos o de la sala donde se ubique el equipo para la puesta a tierra de las partes metálicas.

En el caso de los equipos situados en intemperie también se suministrarán y montarán:

- Las piezas de conexión al embarrado para los terminales de los equipos de intemperie.
- Las prensas de entrada de cables a armario de mando, cajas de bornas o de centralización, la conducción de cables desde equipos hasta el suelo.
- El sellado del extremo de los tubos soterrados de conducción de todos los cables.
- Las bandejas de cables hasta la zanja o arquetas de cables en caso de necesidad.

En el montaje del transformador de potencia y en el de las celdas de AT y MT, la empresa suministradora es la encargada del montaje en la instalación, y el trabajo de montaje está valorado de forma aparte, así como la ayuda por parte de terceros.

En los trabajos de montaje de transformador de potencia se incluye:

- El montaje de los tres pararrayos del lado de AT y los tres del lado de MT.
- El montaje de los soportes y estructura metálica asociada a los pararrayos.

Y el suministro y montaje de:

- Aisladores de aislamiento de cable de tierra de los pararrayos con la cuba del transformador.

En el montaje de la salida de cables de AT y MT del transformador de potencia se incluye el montaje de:

- Los aisladores, tubo de cobre de conexión entre el transformador y los terminales de los cables de potencia.
- La estructura metálica asociada al conjunto.
- Confección de los terminales en la llegada a las bornas de AT del transformador.

Suministro y montaje de:

- Grapas KOZ de amarrado de cables de potencia.

En el montaje de las celdas tanto de AT como de MT se incluye:

- Tendido del cable de F.O., desde la celda hasta los equipos dentro del edificio de control.

Suministro y montaje de:

- Conectores de los extremos y empalmes de los cables de F.O.

En el montaje de la resistencia monofásica de puesta a tierra se incluye:

- El montaje de la resistencia de puesta a tierra monofásica incluyendo los aisladores, soportes y estructura metálica.
- El tendido de cable de potencia desde el transformador de potencia hasta el equipo con confección y conexionado de los terminales en ambos extremos.

En el montaje de los transformadores de servicios auxiliares en intemperie se incluye:

- El montaje del transformador trifásico incluyendo aisladores, soportes y estructura metálica.
- El tendido de cable de potencia desde la celda de MT hasta el equipo con confección y conexionado de los terminales en ambos extremos.

Suministro y montaje de:

- Terminales de BT en ambos extremos para todos los cables.
- Grapas KOZ de amarrado de cables de potencia.

7.1.1. Con compactación

Sistema con configuración en H

Desmontaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	3	Conjunto de interruptor trifásico con su mando las líneas y enlace de AT	1.200	3.600
2	8	Seccionador trifásico de AT en transformadores, enlace y líneas con sus mandos	1.050	8.400
3	3	Conjunto de 3 T.i.'s unipolares de AT en transformadores y líneas	1.100	3.300
4	6	Cadena de aisladores del embarrado de AT	25	150
5	1	Seccionador unipolar de AT de aislamiento del transformador de servicios esenciales	100	100
6	1	Fusible y portafusible de protección de servicios esenciales	100	100
7	1	Conjunto de 3 aisladores unipolares de AT	250	250
8	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5 MVA empresa suministradora	6.500	6.500
9	1	Ayuda a desmontaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte de contratista	1.025	1.025
10	2	Conjunto de 3 aisladores unipolares de MT	200	400
11	6	Interruptor trifásico de MT en transformadores y líneas	900	5.400
12	18	Seccionador Trifásico de MT en transformadores y líneas con sus mandos	825	14.850
13	15	Pararrayos unipolar de MT en transformadores y líneas	50	750
14	6	Conjunto de 3 T.i.'s unipolares de MT en transformadores y líneas	950	5.700
15	2	Conjunto de 3 T.t.'s inductivos unipolares de barras de MT	275	550
16	2	Resistencia de 4 Ω de puesta a tierra monofásica	875	1750
17	18	Cadena de aisladores del embarrado de MT	25	450
18	5000	kg. Estructura de soportes y estructuras	0,50	2.500
DESMONTAJE APARELLAJE				55.755

Montaje Aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transporte y montaje electromecánico de celdas de 30 kV	2.850	2.850
2	6	Ayuda a montaje de celdas de AT por parte contratista	900	5.400
3	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 25 MVA empresa suministradora	6.800	6.800
4	1	Ayuda a montaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte contratista	4.100	4.100
5	2	Salida de cables de AT del transformador de potencia	2.950	5.900
6	2	Salida de cables de MT del transformador de potencia	4.650	9.300
7	2	Resistencia de puesta a tierra	1.600	3.200
8	12	Ayuda a montaje de celdas de MT	500	6.000
9	2	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.810	5.620
10	3	Transporte y descarga de edificios de celdas	8.400	25.200
MONTAJE APARELLAJE				74.370

Suministro de elementos principales

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 25 MVA	315.000	315.000
2	2	Resistencia de puesta a tierra RSM/13/y/TI	6.800	13.600
3	3	Pararrayos 36/33 kV de 10 kA	600	1.800
4	3	Pararrayos 17,5/15 kV de 10 kA	450	1.350
5	2	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.400	4.800
6	2	Celda simple barra para línea entrada	20.250	40.500
7	2	Celda simple barra para alimentación transformador	19.900	39.800
8	1	Celda simple barra para unión "H"	3.900	3.900
9	1	Celda simple barra para partición "H"	17.750	17.750
10	3	Edificio monobloque prefabricado para celdas de 30 y 13,2 kV	19.150	57.450
11	1	Celda simple barra para unión MT	3.650	3.650
12	1	Celda simple barra para partición MT	10.575	10.575
13	2	Celda simple barra para salida transformador	17.125	34.250
14	4	Celda simple barra para línea salida	15.100	60.400
15	2	Celda simple barra para servicios auxiliares	4.775	9.550
16	2	Celda simple barra para medida en 13,2 kV	8.225	16.450
SUMINISTRO DE ELEMENTOS PRINCIPALES				630.825

Suministro de elementos auxiliares

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1.000	kg Soporte para botellas y aisladores metálica galvanizada, con herraje y tornillería	2,50	2.500
2	12	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-250	200	2.400
3	12	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-125	75	900
4	600	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 18/30 kV 1x400 mm ² de aluminio	30	18.000
5	800	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x400 mm ² de aluminio	13,5	10.800
6	60	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x150 mm ² de aluminio	10	600
7	35	m. Tubo aluminio 30/20 mm para embarrado de salida de transformador	30	1.050
8	25	m. Tubo aluminio 40/30 mm para embarrado de salida de transformador	40	1.000
9	20	kg. Cable de cobre desnudo 500 mm ² para conexión de transformador al embarrada en MT	12	240
10	100	kg, Cable de cobre desnudo 95 mm ²	9,50	950
11	35	kg. Cable de cobre desnudo 150 mm ² para conexión de transformador al embarrada en AT	8	280
SUMINISTRO DE ELEMENTOS AUXILIARES				38.720

El presupuesto para la realización de la obra eléctrica de un aumento de potencia, con una compactación en ambos sistemas de tensión, en una subestación con configuración en H, viene resumida en el siguiente cuadro:

Sistema con configuración en H

Desmontaje de aparellaje	55.755 €
Montaje de aparellaje	74.370 €
Suministro de elementos principales	630.825 €
Suministro de elementos auxiliares	38.720 €
TOTAL OBRA ELÉCTRICA PARA COMPACTACIÓN CON CONFIGURACIÓN EN H	799.670 €

Sistema con configuración en Y

Desmontaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Conjunto de interruptor trifásico con su mando en transformador de AT	1.200	1.200
2	3	Seccionador trifásico de AT en transformadores, enlace y líneas con sus mandos	1.050	3.150
4	3	Cadena de aisladores del embarrado de AT	25	75
5	1	Seccionador unipolar de AT de aislamiento del transformador de servicios esenciales	100	100
6	1	Fusible y portafusible de protección de servicios esenciales	100	100
7	1	Conjunto de 3 aisladores unipolares de AT	250	250
8	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5MVA empresa suministradora	6.500	6.500
9	1	Ayuda a desmontaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte de contratista	1.025	1.025
10	2	Conjunto de 3 aisladores unipolares de MT	200	400
11	2	Interruptor trifásico de MT en transformadores y líneas	900	1.800
12	5	Seccionador trifásico de MT en transformadores y líneas con sus mandos	825	4.125
13	9	Pararrayos unipolar de MT en transformadores y líneas	50	450
14	3	Conjunto de 3 T.i.'s unipolares de MT en transformadores y líneas	950	2.850
15	1	Conjunto de 3 T.t.'s inductivos unipolares de barras de MT	275	275
16	1	Resistencia de 4 Ω de puesta a tierra monofásica	875	875
17	9	Cadena de aisladores del embarrado de MT	25	225
18	1.750	kg. Estructura de soportes y estructuras	0,50	875
DESMONTAJE APARELLAJE				24.275

Montaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transporte y montaje electromecánico de celdas de 30 kV	2.850	2.850
2	4	Ayuda a montaje de celdas de AT por parte contratista	900	3.600
3	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5MVA empresa suministradora	6.800	6.800
4	1	Ayuda a montaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte contratista	4.100	4.100
5	1	Salida de cables de AT del transformador de potencia	2.950	2.950
6	1	Salida de cables de MT del transformador de potencia	4.650	4.650
7	1	Resistencia de puesta a tierra	1.600	1.600
8	5	Ayuda a montaje de celdas de MT	500	2.500
9	1	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.810	2.810
10	2	Transporte y descarga de edificios de celdas	8.400	16.800
MONTAJE APARELLAJE				48.660

Suministro de elementos principales

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5 MVA	215.000	215.000
2	1	Resistencia de puesta a tierra RSM/13/y/TI	6.800	6.800
3	3	Pararrayos 36/33 kV de 10 kA	600	1.800
4	3	Pararrayos 17,5/15 kV de 10 kA	450	1.350
5	2	Celda simple barra para línea entrada	20.250	40.500
6	1	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.400	2.400
7	1	Celda simple barra para alimentación transformador	13.900	13.900
8	2	Edificio monobloque prefabricado para celdas de 30 y 13,2 kV	19.150	38.300
9	1	Celda simple barra para salida transformador MT	17.125	17.125
10	2	Celda simple barra para línea salida MT	15.100	30.200
11	1	Celda simple barra para servicios auxiliares	4.775	4.775
12	1	Celda simple barra para medida en 13,2 kV	8.225	8.225
SUMINISTRO DE ELEMENTOS PRINCIPALES				380.375

Suministro de elementos auxiliares

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	500	kg Soporte para botellas y aisladores metálica galvanizada, con herraje y tornillería	2,50	1.250
2	6	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-250	200	1.200
3	6	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-125	75	450
4	300	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 18/30 kV 1x400 mm ² de aluminio	30	9.000
5	400	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x400 mm ² de aluminio	13,5	5.400
6	30	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x150 mm ² de aluminio	10	300
7	20	m. Tubo aluminio 30/20 mm para embarrado de salida de transformador	30	600
8	15	m. Tubo aluminio 40/30 mm para embarrado de salida de transformador	40	600
9	10	kg. Cable de cobre desnudo 500 mm ² para conexión de transformador al embarrada en MT	12	120
10	50	kg. Cable de cobre desnudo 95 mm ²	9,50	475
11	20	kg. Cable de cobre desnudo 150 mm ² para conexión de transformador al embarrada en AT	8	160
SUMINISTRO DE ELEMENTOS AUXILIARES				19.555

El presupuesto para la realización de la obra eléctrica de un aumento de potencia, con una compactación en ambos sistemas de tensión, en una subestación con configuración en Y, viene resumida en el siguiente cuadro:

Sistema con configuración en Y

Desmontaje de aparellaje	24.275 €
Montaje de aparellaje	48.660 €
Suministro de elementos principales	380.375 €
Suministro de elementos auxiliares	19.555 €
<hr/>	
TOTAL OBRA ELÉCTRICA PARA COMPACTACIÓN CON CONFIGURACIÓN EN Y	472.865 €

7.1.2. Sin compactación

Sistema con configuración en H

Desmontaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	2	Seccionador unipolar de AT de aislamiento del transformador de servicios esenciales	100	200
2	2	Fusible y portafusible de protección de servicios esenciales	100	200
3	1	Conjunto de 3 aisladores unipolares de AT	250	250
4	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 25MVA empresa suministradora	6.500	6.500
5	1	Ayuda a desmontaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte de contratista	1.025	1.025
6	2	Conjunto de 3 aisladores unipolares de MT	200	400
7	3	Pararrayos unipolar de MT en transformadores	50	150
8	2	Resistencia de 4 Ω de puesta a tierra monofásica	875	1.750
9	500	kg. Estructura de soportes y estructuras	0,50	250
DESMONTAJE APARELLAJE				10.725

Montaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 25 MVA empresa suministradora	6.800	6.800
2	1	Ayuda a montaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte contratista	4.100	4.100
3	1	Salida de cables de AT del transformador de potencia	2.950	2.950
4	1	Salida de cables de MT del transformador de potencia	4.650	4.650
5	2	Resistencia de puesta a tierra	1.600	3.200
6	2	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.810	5.620
MONTAJE APARELLAJE				27.320

Suministro de elementos principales

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 25MVA	315.000	315.000
2	2	Resistencia de puesta a tierra RSM/13/y/TI	6.800	13.600
3	3	Pararrayos 36/33 kV de 10 kA	600	1.800
4	3	Pararrayos 17,5/15 kV de 10 kA	450	1.350
5	2	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.400	4.800
SUMINISTRO DE ELEMENTOS PRINCIPALES				336.550

Elementos auxiliares

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1.000	kg Soporte para botellas y aisladores metálica galvanizada, con herraje y tornillería	2,50	2.500
2	6	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-250	200	1.200
3	6	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-125	75	450
4	300	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 18/30 kV 1x400 mm ² de aluminio	30	9.000
5	400	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x400 mm ² de aluminio	13,5	5.400
6	30	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x150 mm ² de aluminio	10	300
7	20	m. Tubo aluminio 30/20 mm para embarrado de salida de transformador	30	600
8	15	m. Tubo aluminio 40/30 mm para embarrado de salida de transformador	40	600
9	10	kg. Cable de cobre desnudo 500 mm ² para conexión de transformador al embarrada en MT	12	120
10	50	kg. Cable de cobre desnudo 95 mm ²	9,50	475
11	20	kg. Cable de cobre desnudo 150 mm ² para conexión de transformador al embarrada en AT	8	160
SUMINISTRO DE ELEMENTOS AUXILIARES				20.805

El presupuesto para la realización de la obra eléctrica de un aumento de potencia sin realizar ningún tipo de compactación, en una subestación con configuración en H, viene resumida en el siguiente cuadro:

Sistema con configuración en H

Desmontaje de aparellaje	10.725 €
Montaje de aparellaje	27.320 €
Suministro de elementos principales	336.550 €
Suministro de elementos auxiliares	20.805 €
TOTAL OBRA ELÉCTRICA SIN COMPACTACIÓN CON CONFIGURACIÓN EN H	395.400 €

Sistema con configuración en Y

Desmontaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	2	Seccionador unipolar de AT de aislamiento del transformador de servicios esenciales	100	200
2	2	Fusible y portafusible de protección de servicios esenciales	100	200
3	1	Conjunto de 3 aisladores unipolares de AT	250	250
4	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5 MVA empresa suministradora	6.500	6.500
5	1	Ayuda a desmontaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte de contratista	1.025	1.025
6	2	Conjunto de 3 aisladores unipolares de MT	200	400
7	3	Pararrayos unipolar de MT en transformadores y líneas	50	150
8	1	Resistencia de 4 Ω de puesta a tierra monofásica	875	875
DESMONTAJE APARELLAJE				9.600

Montaje aparellaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5 MVA empresa suministradora	6.800	6.800
2	1	Ayuda a montaje de transformador de potencia 30/13,2 kV por parte contratista	4.100	4.100
3	1	Salida de cables de AT del transformador de potencia	2.950	2.950
4	1	Salida de cables de MT del transformador de potencia	4.650	4.650
5	1	Resistencia de puesta a tierra	1.600	1.600
6	1	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.810	2.810
MONTAJE APARELLAJE				22.910

Suministro de elementos principales

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Transformador de potencia 30/13,2 kV de 12,5MVA	215.000	215.000
2	1	Resistencia de puesta a tierra RSM/13/y/TI	6.800	6.800
3	3	Pararrayos 36/33 kV de 10 kA	600	1.800
4	3	Pararrayos 17,5/15 kV de 10 kA	450	1.350
5	1	Transformador de SS.AA. de 50 kVA y 13,8/0,400-0,242 kV	2.400	2.400
SUMINISTRO DE ELEMENTOS PRINCIPALES				227.350

Suministro de elementos auxiliares

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	500	kg Soporte para botellas y aisladores metálica galvanizada, con herraje y tornillería	2,50	1.250
2	3	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-250	200	600
3	6	Aisladores unipolares tipo columna para exterior C4-125	75	450
4	300	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 18/30 kV 1x400 mm ² de aluminio	30	9.000
5	400	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x400 mm ² de aluminio	13,5	5.400
6	30	m. Cable aislamiento seco HEPRZ1 12/20 kV 1x150 mm ² de aluminio	10	300
7	20	m. Tubo aluminio 30/20 mm para embarrado de salida de transformador	30	600
8	15	m. Tubo aluminio 40/30 mm para embarrado de salida de transformador	40	600
9	10	kg. Cable de cobre desnudo 500 mm ² para conexión de transformador al embarrada en MT	12	120
10	50	kg. Cable de cobre desnudo 95 mm ²	9,50	475
11	20	kg. Cable de cobre desnudo 150 mm ² para conexión de transformador al embarrada en AT	8	160
SUMINISTRO DE ELEMENTOS AUXILIARES				18.955

El presupuesto para la realización de la obra eléctrica de un aumento de potencia sin realizar ningún tipo de compactación, en una subestación con configuración en Y, viene resumida en el siguiente cuadro:

Sistema con configuración en Y

Desmontaje de aparellaje	9.600 €
Montaje de aparellaje	22.910 €
Suministro de elementos principales	227.350 €
Suministro de elementos auxiliares	18.955 €
TOTAL OBRA ELÉCTRICA SIN COMPACTACIÓN CON CONFIGURACIÓN EN Y	278.815 €

7.2. Control, protección y servicios auxiliares

El montaje de los armarios se realizará sobre bancada, y en la valoración de la mano de obra se incluye la descarga, el traslado a su ubicación y su anclaje a la bancada. En estos trabajos de montaje también se incluye el tendido de F.O. y de los cables de control y fuerza hacia el resto de armarios dentro del edificio de control, así como su conexionado en ambos extremos, la conducción de cables desde equipos hasta el suelo, y si fuera preciso, la apertura de huecos sobre falso suelo.

Se tiene en cuenta el suministro y montaje del cable y grapas de puesta a tierra desde el latiguillo que sale del anillo de la red de tierras de la sala a todas las partes metálicas del cuadro, así como los letreros de identificación, y de los conectores de los extremos y empalmes de F.O.

Queda excluido el suministro de la bancada de apoyo del armario y de las bandejas de recorrido interno entre armarios bajo suelo técnico.

En el desmontaje de armario, panel o bastidor de control y protección se incluye el desmontaje de la vacada de asiento, así como el destendido y desconexión de la F.O. y del cable de control y fuerza.

7.2.1. Con compactación

Sistema con configuración en H

Desmontaje y montaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	2	Desmontaje de armario, panel o bastidor de control o protección.	400	800
2	1	Desmontaje de rectificador de batería	670	670
3	120	m. Destendido y desconexión de cable de control y fuerza	1,15	138
4	2	Montaje de armario de control, protección y medida del transformador	490	980
5	1	Montaje de armario de control de subestación (UCS)	1.300	1.300
6	2	Ud. Montaje de rectificador de batería	670	1.340
7	3	Ud. Montaje de caja de centralización en transformadores	50	150
8	3	Ud. Montaje de cuadro eléctrico sobre pared	370	1.110
DESMONTAJE Y MONTAJE				6.488

Suministro de elementos

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Armario principal de distribución c.a.	11.650	11.650
2	1	Armario principal de distribución de c.c.	6.900	6.900
3	2	Armario de control, protección y medida transformador	7.500	15.000
4	1	Unidad de control de subestación (UCS)	26.000	26.000
5	2	Equipo rectificador de batería	8.700	17.400
6	1	Cuadro de distribución de alumbrado	2.150	2.150
7	1	Cuadro de control de ventilación	1.050	1.050
8	1	Cuadro de distribución de fuerza	1.050	1.050
9	1	Caja de bornas finales del transformador de potencia	1.200	1.200
10	2	Caja alimentación de SS.AA. para TSA 50 kVA	900	1.800
11	2	Suministro de protecciones de transformador a instalar en armario de protección.	11.300	22.600
12	1	Suministro de cable control ROZ1-K(AS) 0,6/1 kV Cu de cualquier sección	12.890	12.890
13	150	Suministro de cable XZ1(S) 0,6/1 kV Al 1x95	2,20	330
14	135	Latiguillo conector F.O OEKE-4, conectorizada tipo ST/ST, para comunicación de UCS con equipos	3,00	405
SUMINISTRO DE ELEMENTOS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES				120.425
TOTAL CONTROL, PROTECCIÓN Y SERV. AUXILIARES				126.913 €

Sistema con configuración en Y

Desmontaje y montaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	2	Desmontaje de armario, panel o bastidor de control o protección.	400	800
2	1	Desmontaje de rectificador de batería	670	670
3	100	m. Destendido y desconexión de cable de control y fuerza	1,15	115
4	1	Montaje de armario de control, protección y medida del transformador	490	490
5	1	Montaje de UCS	1.300	1.300
6	1	Montaje de rectificador de batería	670	670
7	2	Ud. Montaje de caja de centralización en transformadores	50	100
8	3	Ud. Montaje de cuadro eléctrico sobre pared	370	1.110
DESMONTAJE Y MONTAJE				6.641

Suministro de elementos

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Cuadro principal de distribución c.a. y c.c.	12.625	12.625
2	1	Armario de control, protección y medida transformador	7.500	7.500
3	1	Unidad de control de subestación (UCS)	26.000	26.000
4	2	Equipo rectificador de batería	8.700	17.400
5	1	Cuadro de distribución de alumbrado	2.150	2.150
6	1	Cuadro de control de ventilación	1.050	1.050
7	1	Cuadro de distribución de fuerza	1.050	1.050
8	1	Caja de bornas finales del transformador de potencia	1.200	1.200
9	1	Caja alimentación de SS.AA. para TSA 50 kVA	900	900
10	2	Suministro de protecciones de transformador a instalar en armario de protección.	11.300	11.300
11	1	Suministro de cable ROZ1-K(AS) 0,6/1 kV Cu de cualquier sección	8.581	8.581
12	100	Suministro de cable XZ1(S) 0,6/1 kV Al 1x95	2,20	220
13	90	Latiguillo conector F.O OEKE-4, conectorizada tipo ST/ST, para comunicación de UCS con equipos	3,00	270
SUMINISTRO DE ELEMENTOS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES				90.246
TOTAL CONTROL, PROTECCIÓN Y SERV. AUXILIARES				96.887 €

7.2.2. Sin compactación

Si con la sustitución del transformador de potencia no se requiere realizar ningún tipo de compactación, se realizará la sustitución del sistema de control y protección de todas las posiciones de la instalación, tanto del lado de 30 kV como el de 13,2 kV, puesto que se pasa a un control integrado.

Estos equipos se distribuirían en función del nivel de tensión, de tal forma que los equipos de control y protección de las posiciones de AT se instalarían en un único armario, que se montará en el edificio de control, junto al armario de protección y control del transformador.

Para el sistema de MT dependerá de la configuración que haya, de tal forma que para una instalación con configuración en H las posiciones de una semibarra se montarían en un armario y las de la otra semibarra en otro armario, y el enlace en cualquiera de los dos armarios. Para una instalación con configuración en Y todos los equipos de control y protección se instalarían en un único armario.

De tal forma que la valoración de los trabajos correspondientes al control, protección y servicios auxiliares será:

Sistema con configuración en H

Desmontaje y montaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	2	Desmontaje de armario, panel o bastidor de control o protección.	400	800
2	1	Desmontaje de rectificador de batería	670	670
3	120	m. Destendido y desconexión de cable de control y fuerza	1,15	138
4	4	Montaje de armario de control, protección y medida	490	1.960
5	1	Montaje de armario de UCS	1.300	1.300
6	2	Montaje de rectificador de batería	670	1.340
7	2	Ud. Montaje de caja de centralización en transformadores	50	100
8	3	Ud. Montaje de cuadro eléctrico sobre pared	370	1.110
DESMONTAJE Y MONTAJE				7.418

Suministro de elementos

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Armario principal de distribución c.a.	11.650	11.650
2	1	Armario principal de distribución de c.c.	6.900	6.900
3	5	Armario de control, protección y medida transformador	7.500	37.500
4	1	Unidad de control de subestación (UCS)	26.000	26.000
5	2	Equipo rectificador de batería	8.700	17.400
6	1	Cuadro de distribución de alumbrado	2.150	2.150
7	1	Cuadro de distribución de fuerza	1.050	1.050
9	2	Caja alimentación de SS.AA. para TSA 50 kVA	900	1.800
10	2	Suministro de protecciones de transformador a instalar en armario de protección.	11.300	22.600
11	10	Suministro de equipo de control y protección para las 2 líneas de AT y el partidor, las 4 líneas de MT, 2 transformador en MT y el partidor	3.100	31.000
12	1	Suministro de cable control ROZ1-K(AS) 0,6/1 kV Cu de cualquier sección	12.890	12.890
13	150	Suministro de cable XZ1(S) 0,6/1 kV Al 1x95	2,20	330
14	135	Latiguillo conector F.O OEKE-4, conectorizada tipo ST/ST, para comunicación de UCS con equipos	3,00	405
SUMINISTRO DE ELEMENTOS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES				171.675
TOTAL CONTROL, PROTECCIÓN Y SERV. AUXILIARES				179.093 €

Sistema con configuración en Y

Desmontaje y montaje

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	2	Desmontaje de armario, panel o bastidor de control o protección.	400	800
2	1	Desmontaje de rectificador de batería	670	670
3	120	m. Destendido y desconexión de cable de control y fuerza	1,15	138
4	3	Montaje de armario de control, protección y medida	490	1.470
5	1	Montaje de armario de UCS	1.300	1.300
6	1	Montaje de rectificador de batería	670	670
7	1	Ud. Montaje de caja de centralización en transformadores	50	50
8	3	Ud. Montaje de cuadro eléctrico sobre pared	370	1.110
DESMONTAJE Y MONTAJE				6.208

Suministro de elementos

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Cuadro principal de distribución c.a. y c.c.	15.900	15.900
2	3	Armario de control, protección y medida transformador	7.500	22.500
3	1	Unidad de control de subestación (UCS)	26.000	26.000
4	2	Equipo rectificador de batería	8.700	17.400
5	1	Cuadro de distribución de alumbrado	2.150	2.150
6	1	Cuadro de distribución de fuerza	1.050	1.050
7	1	Caja de bornas finales del transformador de potencia	1.200	1.200
8	1	Caja alimentación de SS.AA. para TSA 50 kVA	900	900
9	1	Suministro de protecciones de transformador a instalar en armario de protección.	11.300	11.300
10	5	Suministro de equipo de control y protección para las 2 líneas de AT y el partidor, las 4 líneas de MT, 2 transformador en MT y el partidor	3.100	15.500
11	1	Suministro de cable de control ROZ1-K(AS) 0,6/1 kV Cu de cualquier sección	8.521	8.521
12	100	Suministro de cable XZ1(S) 0,6/1 kV Al 1x95	2,20	220
13	90	Latiguillo conector F.O OEKE-4, conectorizada tipo ST/ST, para comunicación de UCS con equipos	3,00	270
SUMINISTRO DE ELEMENTOS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y SERVICIOS AUXILIARES				122.911
TOTAL CONTROL, PROTECCIÓN Y SERV. AUXILIARES				129.119 €

7.3. Obra civil

Dentro de la obra civil se incluirán las unidades de suministro y montaje de edificios prefabricados en los que se instalarán las celdas de AT y MT.

La ejecución del sistema de prevención de fugas de dieléctrico estará compuesta de una cimentación de apoyo, una cubeta solidaria con dicha cimentación de 5x6.1M + IPN 260, la colocación de grava de 40/60 mm de diámetro, el bordillo perimetral y la sustitución del receptor de emergencia, puesto que debe contener el volumen de aceite del transformador más grande.

7.3.1. Con compactación

Sistema con configuración en H

Cimentaciones y bancadas

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario €	Precio Total €
1	1	Sistema de prevención de fugas de dieléctrico	34.525	34.525
2	1	Arqueta de paso o entrada/salida de aceite	375	375
3	2	Arqueta para drenaje 0,60 X 0,60 X 0,80 m	150	350
4	1	Arqueta para drenaje bajo zanja 0,45 X 0,8 X hasta 1,5 m	250	250
5	3	Arqueta de ventilación de drenajes 0,40 X 0,40 X 0,80 m	125	375
6	3	Pozo colector Ø1,00 m X 2,00 m de profundidad	550	1.650
7	3	Arqueta de dimensiones interiores 1x1m y profundidad variable	1.650	4.950
8	3	Arqueta de cables de 0,50 x 0,50 x 0,70 m de sección interior, formada por solera de hormigón	850	2.550
9	1	m. Zanjas de cables y cruces de viales	11.550	11.550
10	430	m. Tubo corrugado de polietileno de doble pared	50	21.500
11	1	Demolición de arqueta, bases de estructuras y zanjas	5.750	5.750
12	2	Cimentaciones para base resistencia de P.a.T. del transformador	575	1.150
13	2	Cimentaciones para base para salida de cable de MT del Transformador	500	1.000
14	2	Cimentaciones para base para entrada de cable de AT del Transformador	325	650
15	750	m ² Capa 10 cm espesor medio gravilla caliza 15/25mm	5	3.750
16	360	m ² Retirada gravilla y extensión en capa de 10 cm	3,50	1.260
17	1	Adaptación a la malla de tierra	8.575	8.575
CIMENTACIONES Y BANCADAS				100.160

Edificios y cerramiento perimetral

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Reforma y adecuación de obra civil del edificio de control	8.150	8.150
2	1	Pintar interior y exteriormente el edificio	1.775	1.775
3	1	Suministro y montaje de suelo técnico con sus accesos	1.000	1.000
4	1	Ejecución de zanja de cables en el interior del edificio	1.975	1.975
5	60	m ² Cimentaciones de para edificaciones prefabricadas	115	6.900
6	1	Adecuación de puerta existente en caseta de control y suministro y colocación de barra antipánico normalizada	13.725	13.725
7	1	Desmontaje de puerta de acceso completa	2.120	2.120
8	1	ud. Puerta metálica abatible de dos hojas de 3,0x2,2 m y puerta de acceso de personal de 1,0x2,2m	4.500	4.500
EDIFICIOS Y CERRAMIENTO				40.145

OBRA CIVIL EN COMPACTACIÓN CON CONFIGURACIÓN EN H	140.305 €
--	------------------

Sistema con configuración en Y

Cimentaciones y bancadas

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario €	Precio Total €
1	1	Sistema de prevención de fugas de dieléctrico	34.525	34.525
2	1	Arqueta de paso o entrada/salida de aceite	375	375
3	2	Arqueta para drenaje 0,60 X 0,60 X 0,80 m	150	350
4	1	Arqueta para drenaje bajo zanja 0,45 X 0,8 X hasta 1,5 m	250	250
5	3	Arqueta de ventilación de drenajes 0,40 X 0,40 X 0,80 m	125	375
6	3	Pozo colector Ø1,00 m X 2,00 m de profundidad	550	1.650
7	3	Arqueta de dimensiones interiores 1x1m y profundidad variable	1.650	4.950
8	2	Arqueta de cables de 0,50 x 0,50 x 0,70 m de sección interior, formada por solera de hormigón	850	1.700
9	1	m. Zanjas de cables y cruces de viales	7.550	7.550
10	330	m. Tubo corrugado de polietileno de doble pared	50	16.500
11	1	Demolición de arqueta, bases de estructuras y zanjas	2.875	2.875
12	1	Cimentaciones para base resistencia de P.a.T. del transformador	575	575
13	1	Cimentaciones para base para salida de cable de MT del Transformador	500	500
14	1	Cimentaciones para base para entrada de cable de AT del Transformador	325	325
15	350	m ² Capa 10 cm espesor medio gravilla caliza 15/25mm	5	1.750
16	160	m ² Retirada gravilla y extensión en capa de 10cm	3,50	560
17	1	Adaptación a la malla de tierra	5.575	5.575
CIMENTACIONES Y BANCADAS				80.385

Reforma de edificio y cerramiento perimetral

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Reforma y adecuación de obra civil del edificio de control	8.150	8.150
2	1	Pintar interior y exteriormente el edificio	1.775	1.775
3	1	Suministro y montaje de suelo técnico con sus accesos	1.000	1.000
4	1	Ejecución de zanja de cables en el interior del edificio	1.975	1.975
5	35	m ² Cimentaciones de para edificaciones prefabricadas	115	4.025
6	1	Adecuación de puerta existente en caseta de control y suministro y colocación de barra antipánico normalizada	13.725	13.725
7	1	Desmontaje de puerta de acceso completa	2.120	2.120
8	1	ud. Puerta metálica abatible de dos hojas de 3,0x2,2 m y puerta de acceso de personal de 1,0x2,2m	4.500	4.500
REFORMA DE EDIFICIO Y CERRAMIENTO				37.270

OBRA CIVIL EN COMPACTACIÓN CON CONFIGURACIÓN EN Y

117.655 €

7.3.2. Sin compactación

Cimentaciones y bancadas

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario €	Precio Total €
1	1	Sistema de prevención de fugas de dieléctrico	34.525	34.525
2	1	Arqueta de paso o entrada/salida de aceite	375	375
3	3	Arqueta de dimensiones interiores 1x1m y profundidad variable	1.650	4.950
4	1	Cimentaciones para base resistencia de P.a.T. del transformador	575	575
5	1	Cimentaciones para base para salida de cable de MT del transformador	500	500
6	1	Cimentaciones para base para entrada de cable de AT del transformador	325	325
7	1	Adaptación a la malla de tierra	1.575	1.575
CIMENTACIONES Y BANCADAS				42.825

Reforma de edificio y cerramiento perimetral

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
1	1	Reforma y adecuación de obra civil del edificio de control	8.150	8.150
2	1	Pintar interior y exteriormente el edificio	1.775	1.775
3	1	Suministro y montaje de suelo técnico con sus accesos	1.000	1.000
4	1	Ejecución de zanja de cables en el interior del edificio	1.975	1.975
5	1	Adecuación de puerta existente en caseta de control y suministro y colocación de barra antipánico normalizada	13.725	13.725
6	1	Desmontaje de puerta de acceso completa	2.120	2.120
7	1	ud. Puerta metálica abatible de dos hojas de 3,0x2,2 m y puerta de acceso de personal de 1,0x2,2m	4.500	4.500
REFORMA DE EDIFICIO Y CERRAMIENTO				33.245

OBRA CIVIL SIN COMPACTACIÓN

76.070 €

7.4. Instalaciones complementarias

Se considerarán las mismas instalaciones complementarias, independientemente de si se realiza la compactación o no. Serán diferentes dependiendo del tipo de configuración que se tenga en la instalación.

Configuración en H

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario €	Precio Total €
1	1	Suministro y aplicación medidas pasivas protección conraincendios	5.500,00	5.500,00
2	1	Suministro e instalación sistema de protección conraincendios	18.000,00	18.000,00
3		Suministro e instalación de sistema anti-intrusismo	5.000,00	5.000,00
4	1	Suministro e instalación sistema de fuerza	1.500,00	1.500,00
5	1	Suministro e instalación sistema de ventilación y climatización	12.500,00	12.500,00
TOTAL PARCIAL				42.500,00

TOTAL INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

42.500,00 €

Configuración en Y

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario €	Precio Total €
1	1	Suministro y aplicación medidas pasivas protección conraincendios	5.500,00	5.500,00
2	1	Suministro e instalación sistema de protección conraincendios	10.565,00	10.565,00
3		Suministro e instalación de sistema anti-intrusismo	5.000,00	5.000,00
4	1	Suministro e instalación sistema de fuerza	1.500,00	1.500,00
5	1	Suministro e instalación sistema de ventilación y climatización	9.500,00	9.500,00
TOTAL PARCIAL				32.065,00

TOTAL INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

32.065,00 €

7.5. Medio ambiente y seguridad y salud

Se considerará el mismo importe independientemente del tipo de configuración que se tenga en la instalación, y de si se realiza la compactación o no.

Part.	Cant.	CONCEPTO	Precio Unitario €	Precio Total €
1	1	Medidas protectoras / correctoras Estudio Impacto Ambiental	25.000,00	25.000,00
2	1	Vigilancia medioambiental	25.000,00	25.000,00
TOTAL PARCIAL				50.000,00

TOTAL INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

50.000,00 €

7.6. Resumen

Tabla 7.1. Cuadro resumen de presupuesto

		OBRA ELÉCTRICA		CONTROL, PROTECCIÓN Y SERV. AUXILIARES		OBRA CIVIL	INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	MEDIO AMBIENTE SEGURIDAD Y SALUD	TOTAL
		Desmontaje y montaje	Suministro aparellaje	Desmontaje y montaje	Suministro de elementos				
CON COMPACTACIÓN	CONFIGURACIÓN EN H	130.125 €	669.545 €	6.488 €	120.425 €	140.305 €	42.500 €	50.000 €	1.159.388 €
	CONFIGURACIÓN EN Y	72.935 €	399.930 €	6.641 €	90.246 €	117.655 €	32.065 €		769.472 €
SIN COMPACTACIÓN	CONFIGURACIÓN EN H	38.045 €	357.355 €	7.418 €	171.675 €	76.070 €	42.500 €		743.063 €
	CONFIGURACIÓN EN Y	32.510 €	246.305 €	6.208 €	129.119 €		32.065 €		572.277 €

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ferro Vázquez, J. J., & Ferro Vázquez, A. (2019). *Gestión del conocimiento, en las SMART GRIDS eléctricas, basado en SNMP*.
- Montaner, P. (1988). *Protecciones En Las Instalaciones Eléctricas* (MARCOMBO,). Barcelona.
- Real Decreto 842/2002, (2002). *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión*.
- Real Decreto 614/2001, (2014). *Guía Técnica Para La Evaluación y Prevención Del Riesgo Eléctrico*.
- Real Decreto 512/2017, (2017). *Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI)*.
Aprobado Por Real Decreto 1942/1993.
- Real Decreto 1955/2000, (2002). *Por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica*. 14170–14176.
- Real Decreto 2267/2004, (2004). *Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI)*.
- Real Decreto 1066/2001, (2001). *Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas*.
- Real Decreto 337/2014, (2014). *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC - RAT 01 a 23*.

ANEXO

El presente proyecto se ha realizado de acuerdo a la diferente normativa y reglamentación vigente en España para la realización de instalaciones eléctricas.

NORMATIVA APLICABLE

UNE-EN 10025. *Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 1: Condiciones técnicas generales de suministro.*

UNE-EN 20431. *Resistencia a la llama.*

UNE-EN 50263-1. *Resistencia a la no propagación de la llama. Part 1.*

UNE-EN 50266. *Resistencia a la no propagación del incendio.*

UNE-EN 20833. *Medida de los campos eléctricos a frecuencia industrial.*

UNE-EN 215001. *Procedimientos normalizados para la medida de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial producidos por las líneas eléctricas de alta tensión.*

UNE-EN 61439-1. *Conjuntos de aparamenta de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.*

UNE-EN 62271-100. *Aparamenta de alta tensión. Parte 100: Interruptores de corriente alterna para alta tensión.*

UNE-EN 62271-102. *Aparamenta de alta tensión. Parte 102: Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra de corriente alterna.*

UNE-EN 62271-200, (2005). *Aparamenta de alta tensión. Parte 200: Aparamenta bajo envolvente metálica de corriente alterna para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV.*