



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN COLECTORA PARA EVACUACIÓN DE PLANTAS RENOVABLES EN ESPAÑA

Autor: Nuño Carrasco Díaz

Director: Julio Rafael Portillo García

Madrid

Julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Diseño de la subestación colectora para evacuación de plantas renovables en España”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.
El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Nuño Carrasco Díaz

Fecha: 18/ 07/ 21

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Julio Rafael Portillo García

Fecha: 18/ 07/ 21

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Nuño Carrasco Díaz

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “Diseño de la subestación colectora para evacuación de plantas renovables en España”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 18 de Julio de 2021

ACEPTA

Fdo. Nuño Carrasco Díaz

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN COLECTORA PARA EVACUACIÓN DE PLANTAS RENOVABLES EN ESPAÑA

Autor: Nuño Carrasco Díaz

Director: Julio Rafael Portillo García

Madrid

Julio de 2021

“DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN COLECTORA PARA EVACUACIÓN DE PLANTAS RENOVABLES EN ESPAÑA”

Autor: Carrasco Díaz, Nuño.

Director: Portillo García, Julio Rafael.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Palabras clave: subestación, plantas renovables, eólica, solar, REE, alta tensión, 400/132 kV.

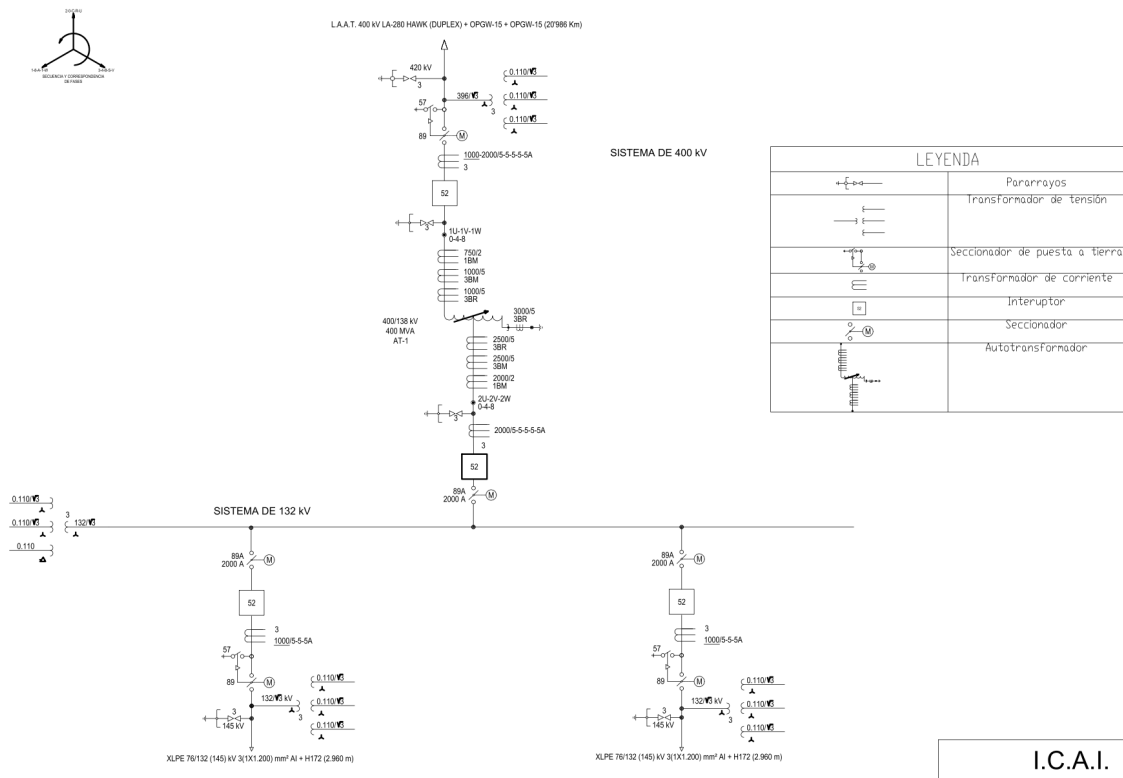
El sistema eléctrico español dispone de un gran número de plantas de generación eólicas y solares que tienen una importante participación en la cobertura de la demanda eléctrica en España. Además, el número de este tipo de tecnologías productivas esta incrementando en gran medida en esta última década, ya que se trata de energía totalmente limpia, lo que favorece el desarrollo sostenible que se persigue en la actualidad. Sin embargo, la escasez de puntos de conexión a la red eléctrica provoca que muchas plantas eólicas y solares se queden inutilizadas o estancadas en fase de proyecto, frenando el desarrollo sostenible que aportarían estas tecnologías de producción. De ahí surge la necesidad de la construcción de infraestructuras que permitan la conexión a la red de este tipo de plantas de generación.

El objetivo de este proyecto es, por tanto, realizar el diseño de una subestación colectora que permita conectar estas plantas renovables a la red. El diseño de estas subestaciones es de gran utilidad ya que supone una instalación con un diseño versátil. Esto se debe a que estas instalaciones son válidas tanto para generación solar como eólica, y además permiten agrupar varias plantas de generación en un solo punto de conexión a la red. Es por esto, que la implementación de estas subestaciones en la red eléctrica es crucial para el desarrollo sostenible del sistema eléctrico.

Por ende, el presente documento tiene como finalidad establecer una base para conseguir las autorizaciones administrativas necesarias para el proyecto de la construcción de una subestación colectora.

La función de la subestación será la de conectar a la red dos parques eólicos con una potencia de generación de 200 MW cada uno, por lo que la instalación constará de una potencia total de 400 MW. Estos parques eólicos están separados físicamente y se conectarán a una tensión de 132 kV, que es una tensión intermedia entre la tensión de generación a 30 kV y la de transporte a 400 kV.

La subestación será de tipo intemperie, ya que al situarse en las proximidades de los parques eólicos se dispondrá de terreno suficiente para su construcción, lo que permite abaratar los costes del proyecto. Además, tendrá una estructura de simple barra con dos bahías de línea en 132 kV, una de conexión de autotransformador y medida de tensión en barras. La conexión de 400 kV se hace mediante una sola bahía con funciones de línea y de protección de transformador. Se observa en la siguiente imagen el esquema unifilar simplificado la configuración general de la instalación.



Esquema unifilar simplificado sistema 400/132 kV

En primer lugar, se estudian las características del sistema eléctrico español para establecer las bases para la selección de los equipos necesarios en función de los niveles de tensión y las potencias correspondientes. De la misma manera, se estudian las distintas normas de aplicación que se deben cumplir para el correcto diseño de la instalación, basándose en gran medida en el Reglamento de instalaciones eléctricas de Alta Tensión.

Una vez establecidas las principales características eléctricas de la instalación, se procede a la selección de la aparamenta necesaria para su correcto funcionamiento. Para ello se contrastan las ofertas de los catálogos de los distintos fabricantes y se escogen los equipos adecuados para cada posición comprobando que cumplen con las características exigidas.

Para realizar la transformación de la tensión de 132 kV proveniente de las líneas de generación a la tensión de 400 kV de la red de transporte se utilizará un autotransformador de 420 MVA. Se ha decidido utilizar un autotransformador ya que realiza la misma función que un transformador de potencia, pero el transformador equivalente es de mucha menor potencia (281 MVA). Con esto se consigue una máquina de menor tamaño y mejor rendimiento, lo que abarata en gran medida sus costes. Se justifica además el uso de este equipo ya que, a pesar de las limitaciones de los autotransformadores, se permite su uso en aplicaciones en las que la transformación se realice entre alta y alta tensión.

También se realiza la definición de los servicios auxiliares que requiere la subestación: alimentación de los mandos de los interruptores, climatización, iluminación, etc. Una particularidad de este proyecto es que la instalación carece de un nivel de media tensión, por lo que para alimentar los SSAA de c.a. se colocarán en el embarrado de 132 kV dos transformadores de servicios auxiliares que realicen la transformación directamente a baja tensión y aporten la potencia necesaria para dicha función. Para ello se empleará el transformador UTP-145 del fabricante Artech con una relación de transformación

132000/420 V y una potencia de 100 kVA por fase que permite alimentar de manera segura a todos los servicios auxiliares. Además, se añade como alimentación secundaria un grupo electrógeno de 250 kVA que actuaría de manera temporal en caso de pérdida del suministro.

De la misma manera, se definen los sistemas de protección, control y comunicación de los que requiere la instalación para su funcionamiento adecuado.

Finalmente, se describen las soluciones de obra civil adoptadas y se diseña la red de tierras cumpliendo con las prescripciones de seguridad necesarias para proteger tanto a las personas como la integridad de la instalación.

Por otra parte, se entregan anexos a este documento otros tres documentos, correspondientes a los cálculos, el presupuesto y los planos de la instalación.

En el documento de cálculo se encuentran todas las operaciones numéricas realizadas que justifican la elección de la aparamenta y el diseño de los distintos elementos que así lo requieran.

El documento de planos contiene los planos de la instalación realizados en Autocad, y se compone de: esquema unifilar simplificado, plantas y alzados generales, esquema unifilar de SSAA y edificio de control.

Por último, en el documento de presupuesto realizado se incluyen los costes aproximados de todos los elementos de la instalación, así como de la obra civil y todas las instalaciones realizadas para la construcción de la subestación colectora.

“DESIGN OF COLLECTOR SUBSTATION FOR EVACUATION OF RENEWABLE PLANTS IN SPAIN”

Author: Carrasco Díaz, Nuño.

Supervisor: Portillo García, Julio Rafael.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Keywords: substation, renewable energy plants, wind energy, solar energy, REE, 400/132 kV.

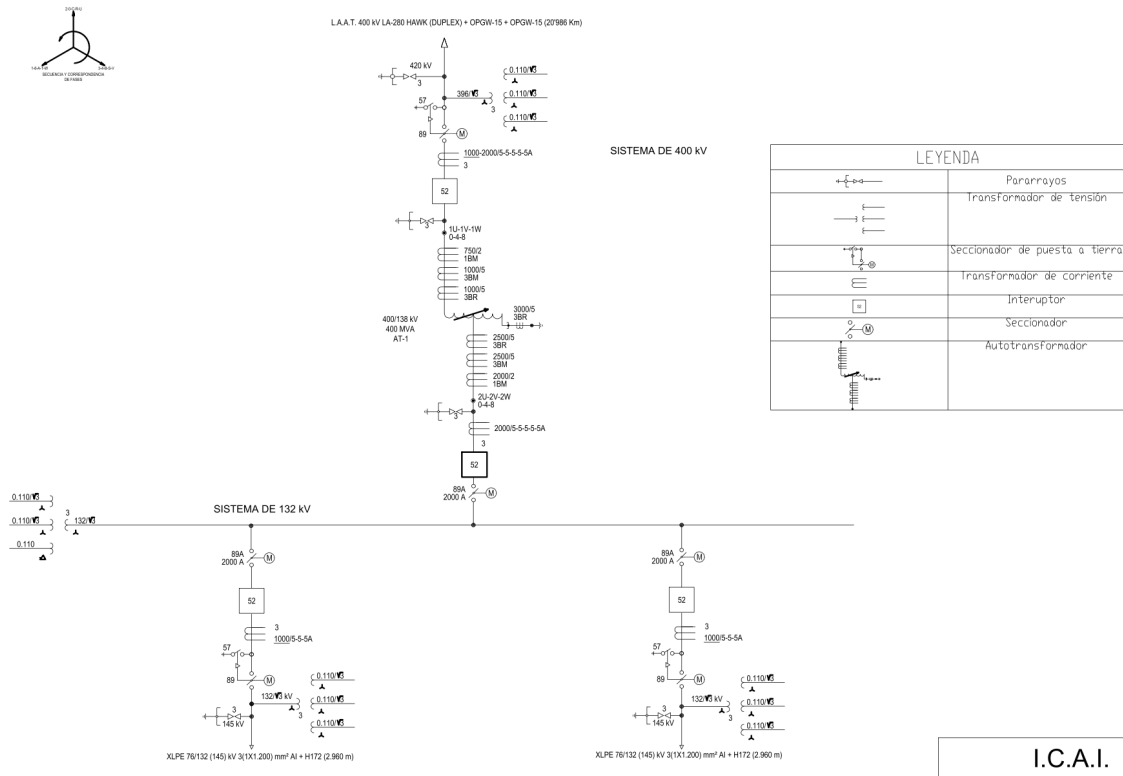
The Spanish electricity system has many wind and solar generation plants that have an important share in the coverage of the electricity demand in Spain. In addition, the number of this type of productive technologies is increasing greatly in the last decade, since it is totally clean energy, which favors the sustainable development that is currently being pursued. However, the scarcity of connection points to the electrical grid means that many wind and solar plants remain unused or stagnant in the project phase, slowing down the sustainable development that these production technologies would provide. Hence the need for the construction of infrastructures that allow the connection to the grid of this type of generation plants.

The objective of this project is, therefore, to design a collector substation to connect these renewable plants to the grid. The design of these substations is very useful because it is a versatile design installation. This is due to the fact that these installations are valid for both solar and wind generation, and also allow grouping several generation plants in a single connection point to the grid. For this reason, the implementation of these substations in the electrical grid is crucial for the sustainable development of the electrical system.

Therefore, the purpose of this document is to establish a basis for obtaining the necessary administrative authorizations for the construction of a collector substation.

The function of the substation will be to connect to the grid two wind farms with a generating capacity of 200 MW each, so that the facility will have a total capacity of 400 MW. These wind farms are physically separated and will be connected at a voltage of 132 kV, which is an intermediate voltage between the generation voltage at 30 kV and the transmission voltage at 400 kV.

The substation will be an outdoor substation, since it will be located near the wind farms and there will be sufficient land available for its construction, thus reducing project costs. In addition, it will have a single busbar structure with two 132 kV line bays, one for autotransformer connection and busbar voltage measurement. The 400 kV connection is made through a single bay with line and transformer protection functions. The following image shows the simplified single-line diagram of the general configuration of the installation.



Simplified single-line diagram of 400/132 kV system

Firstly, the characteristics of the Spanish electrical system are studied in order to establish the basis for the selection of the necessary equipment according to the voltage levels and the corresponding powers. In the same way, the different application standards that must be complied with for the correct design of the installation are studied, based largely on the High Voltage Electrical Installations Regulation.

Once the main electrical characteristics of the installation have been established, we proceed to the selection of the switchgear required for its correct operation. To this end, the offers in the catalogs of the different manufacturers are contrasted and the appropriate equipment is chosen for each position, verifying that they comply with the required characteristics.

To transform the 132 kV voltage coming from the generation lines to the 400 kV voltage of the transmission grid, a 420 MVA autotransformer will be used. It has been decided to use an autotransformer since it performs the same function as a power transformer, but the equivalent transformer is of much lower power (281 MVA). This results in a smaller machine with better performance, which greatly reduces costs. The use of this equipment is also justified since, in spite of the limitations of autotransformers, its use is allowed in applications where the transformation is between high and high voltage.

The definition of the auxiliary services required by the substation is also carried out: power supply for switchgear controls, air conditioning, lighting, etc. A special feature of this project is that the installation lacks a medium voltage level, so to feed the AC SSAA, two auxiliary service transformers will be placed on the 132 kV busbar to perform the transformation directly to low voltage and provide the necessary power for this function. For this purpose, the UTP-145 transformer from the manufacturer Arteché will be used, with a transformation ratio of 132000/420 V and a power of 100 kVA per phase, which allows to safely supply all

the auxiliary services. In addition, a 250 kVA generator set is added as a secondary power supply to act temporarily in case of loss of supply.

In the same way, the protection, control and communication systems required by the installation for its proper operation are defined.

Finally, the civil works solutions adopted are described and the grounding network is designed in compliance with the necessary safety requirements to protect both people and the integrity of the installation.

On the other hand, three other documents are attached to this document, corresponding to the calculations, the budget and the plans of the installation.

The calculation document contains all the numerical operations carried out to justify the choice of the switchgear and the design of the various elements that require it.

The plans document contains the installation drawings made in AutoCAD, and consists of: simplified single-line diagram, general plans and elevations, SSAA single-line diagram and control building.

Finally, the budget document includes the approximate costs of all the elements of the installation, as well as the civil works and all the installations carried out for the construction of the collector substation.

TABLA DE CONTENIDO

Documento 1: Memoria

- Anexo I: Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible

Documento 2: Cálculos

Documento 3: Presupuesto

Documento 4: Planos

DOCUMENTO 1:

MEMORIA

Índice de la memoria

Capítulo 1. Generalidades.....	3
1.1 Estado de la cuestión.....	3
1.2 Justificación y finalidad de la instalación	4
1.3 Objetivo del proyecto.....	5
1.4 Normativa de aplicación	5
1.4.1 Reglamentos	5
1.4.2 Normas internacionales	6
1.4.3 Normativa específica de aplicación para los equipos eléctricos.....	6
1.4.4 Normativa de aplicación para obra civil.....	7
Capítulo 2. Descripción de la subestación colectora	9
2.1 Características generales de la instalación	9
2.2 Esquema de la instalación.....	9
2.2.1 Configuración de las bahías de línea de 132 kV.....	10
2.2.2 Configuración de la bahía de transformador de 132 kV	10
2.2.3 Configuración de la bahía de salida a 400 kV.....	11
2.3 Criterios de diseño	12
2.3.1 Características del sistema eléctrico	12
2.3.2 Obra civil	13
2.3.3 Edificio de control.....	15
2.3.4 Red de tierra.....	16
2.3.5 Aparamenta eléctrica.....	18
2.3.6 Autotransformador	36
2.3.7 Sistema de protección	40
2.3.8 Sistema de control y hmi	42
2.3.9 Sistema de comunicaciones.....	43
2.3.10 Sistema de medida.....	44
2.3.11 Servicios auxiliares AC y DC.....	45
Capítulo 3. Bibliografía.....	49
ANEXO I: Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible	51

Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje de cobertura de electricidad de las energías renovables en España	4
Figura 2. Contribución de cada tecnología renovable a la generación de electricidad renovable en España.....	4
Figura 3. Componentes del interruptor 3AP2 FI.....	21
Figura 4. Componentes del interruptor 3AP1 FG	22
Figura 5. Seccionador SG3C de 420 kV	23
Figura 6. Seccionador SG3C de 132 kV	25
Figura 7. Transformador de intensidad de la gama CA de Artech.....	27
Figura 8. Transformadores de tensión de la gama UT del fabricante Artech.....	31
Figura 9. Descargador de óxido de cinc PEXLIM P	34
Figura 10. Transformador de tensión para SSAA serie UTP de Artech	47

Capítulo 1. GENERALIDADES

1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El auge de las fuentes de energía renovables hace que el estudio de este tipo de subestaciones adquiera cada vez más importancia, y debido al incremento del uso de esta tecnología es importante su desarrollo dentro del sistema eléctrico español.

La energía proveniente de fuentes renovables ha adquirido gran importancia durante la última década debido a la sostenibilidad que presenta en comparación con el resto de las tecnologías de producción. Además, aunque en un principio su coste se consideraba muy elevado y su integración en el sistema eléctrico se debía principalmente a requisitos de sostenibilidad, durante los últimos años el gran desarrollo de estas tecnologías ha abaratado sus costes y proporcionado fuentes de energía de mayor potencia.

En la siguiente gráfica se puede observar el porcentaje de cobertura de la demanda eléctrica por parte de energías renovables en los últimos 20 años, observando como adquiere cada vez una participación mayor.

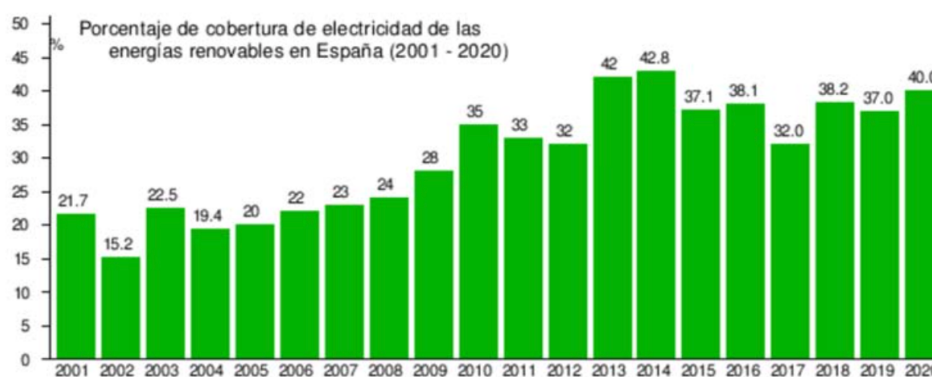


Figura 1. Porcentaje de cobertura de electricidad de las energías renovables en España

Por otra parte, la mayoría de la participación de energía renovable en España provenía de energía hidráulica, pero progresivamente ha aumentado la participación de la energía eólica hasta ser la mayor tecnología productiva renovable en España, como se puede observar en la siguiente gráfica.

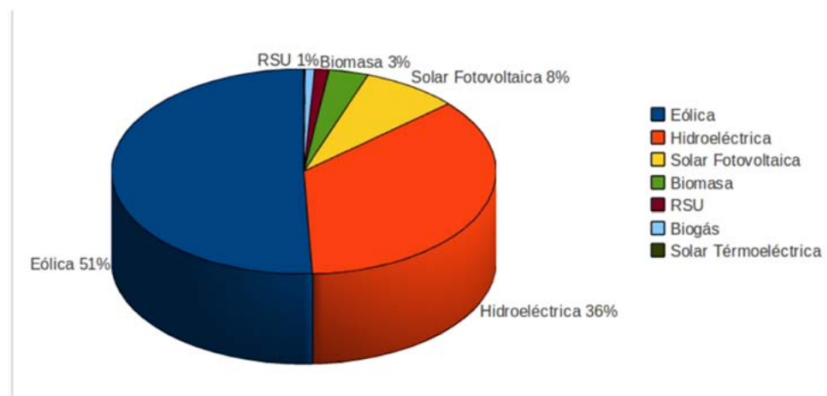


Figura 2. Contribución de cada tecnología renovable a la generación de electricidad renovable en España

Por estas razones el diseño de estas subestaciones es tan importante en el sistema eléctrico actual, destacando que su uso sirve tanto para centrales de generación eólica como solar.

1.2 JUSTIFICACIÓN Y FINALIDAD DE LA INSTALACIÓN

En línea con el desarrollo de la producción de energía eólica surge la necesidad de desarrollar proyectos que permitan su acceso al sistema eléctrico. Por ello se justifica el diseño y construcción de las subestaciones de este tipo que permiten conectar dichas tecnologías a la red, para aprovechar así una fuente de energía limpia y sostenible.

Además, debido al gran desarrollo de plantas renovables y la escasez de puntos de conexión a la red eléctrica, se hace necesario disponer de subestaciones colectoras que agrupen varias plantas de forma que una sola conexión en la subestación de Red Eléctrica pueda integrar varias plantas.

La finalidad de la instalación será por tanto la de conectar sendos parques eólicos de generación a la red, transformando la tensión desde el nivel de generación a un nivel adecuado para la red de transporte, para poder incluir así la potencia generada al sistema eléctrico.

1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es, por tanto, establecer las características de la subestación propuesta, además de presentar su adecuación a las condiciones y garantías mínimas exigidas por la normativa vigente en centrales, subestaciones y centros de transformación, para establecer así las bases del desarrollo de un proyecto de esta magnitud.

1.4 NORMATIVA DE APLICACIÓN

El proyecto será diseñado de acuerdo con la normativa técnica y legal en vigor en España. Cumplirá con las leyes y regulaciones, nacionales, regionales o locales y con la normativa internacional.

1.4.1 REGLAMENTOS

- Reglamento de Alta Tensión. Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC - RAT 01 A 23.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, así como las Ampliaciones y Modificaciones de sus Instrucciones Complementarias.

- Procedimientos de operación de Red eléctrica de España REE.

1.4.2 NORMAS INTERNACIONALES

Se aplicarán las siguientes normas internacionales:

- ISO International Organization for Standarization.
- IEC International Electrotechnical Commission.
- EN European Standards
- EUROCODE European Set of Structural Design Codes for Civil Engineering Work
- ANSI American National Standards Institute.
- IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- NEMA National Electrical Manufacturer's Association.
- NEC National Electrical Code.
- ISA Instrumentation Society of America.
- ASTM American Society for Testing Material.
- ICEA Insulated Cable Engineering Association.
- NFPA National Fire Protection Association.
- OSHA Occupational Safety and Health Act.
- NESC National Electric Safety Code.

1.4.3 NORMATIVA ESPECÍFICA DE APLICACIÓN PARA LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

- IEC 60038 Tensiones estándar CENELEC
- IEC 60071 Coordinación de Aislamiento
- IEC 60076 Transformadores de potencia
- IEC 60099 Protectores contra sobretensiones de óxido metálico sin separación para sistemas de CA
- IEC 60137 Casquillos para tensiones alternas superiores a 1000 V
- IEC 60185 Transformadores de Corriente
- IEC 60186 Transformadores de Tensión
- IEC 60216 Materiales Eléctricos Aislantes
- IEC 60228 Conductores de Cables Aislados

- IEC 60255 Relés eléctricos
- IEC 60273 Aisladores de poste para interiores y exteriores de más de 1000 V
- IEC 60287 Cables eléctricos
- IEC 60296 Fluidos para aplicaciones electrotécnicas
- IEC 60364 Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión
- IEC 60502 Cables de Potencia con Aislamiento Extruido y Accesorios
- IEC 60529 Grados de Protección Proporcionados por las Cajas (Código IP)
- IEC 60598 Luminarias
- IEC 60896 Baterías estacionarias de plomo-ácido
- IEC 60950 Equipos de Tecnología de la Información
- IEC 61000 Compatibilidad electromagnética (EMC)
- IEC 61140 Protección contra descargas eléctricas
- IEC 61439 Aparata de Baja Tensión y Conjuntos
- IEC 61850 Automatización de Servicios Eléctricos
- IEC 62053 Equipos de Medición de Electricidad
- IEC 62271 Aparata de alta tensión
- IEC 62305 Protección contra el rayo
- Guía IEEE 80 para la seguridad en subestaciones de CA Puesta a tierra

1.4.4 NORMATIVA DE APLICACIÓN PARA OBRA CIVIL

- EUROCODE 0 Bases de diseño estructural
- EUROCODE 1 Acciones
- EUROCODE 2 Diseño de Estructuras de Hormigón
- EUROCODE 3 Diseño de Estructuras de Acero
- EUROCODE 6 Diseño de Estructuras de Ladrillo
- EUROCODE 7 Diseño geotécnico
- EUROCODE 8 Diseño sísmico

- ACI 318 Requisitos del código de construcción para el hormigón estructural
- ACI 360R Diseño de losas sobre rasante
- EN-ISO 4032 Tuercas hexagonales
- EN-ISO 7091 Arandelas planas
- EN-ISO 898 Pernos, Tornillos y Espárragos
- EN-ISO 1461 Galvanizado en caliente
- EN 10025 Productos laminados en caliente de acero estructural
- EN 10080 Barras de refuerzo
- ASTM A 615 Acero para el refuerzo del hormigón

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTACIÓN

COLECTORA

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

Este proyecto consiste en el diseño básico de una subestación colectora para evacuación de plantas renovables en España. Esta subestación constará de dos niveles de tensión, a 132 y 400 kV, y una potencia total de 400 MW. El fin de dicha subestación es conectar a la red dos parques eólicos con una potencia de 200 MW cada uno. Estos parques están separados físicamente, y se conectarán a la tensión de 132 kV, que es una tensión intermedia entre la subestación de generación a 30 kV y la red a 400 kV.

La subestación a diseñar se trata de una subestación de tipo intemperie, ya que sus costes son más reducidos y se dispone además de terreno suficiente para realizar su construcción. Cada nivel de tensión constará por tanto de la aparamenta necesaria para su correcto funcionamiento. Por un lado, la conexión en 132 kV estará compuesta de tres bahías; dos bahías de línea provenientes de cada uno de los parques de generación y una bahía de transformador. Por otro lado, esta se conectará a través de un autotransformador a una bahía de salida a 400 kV.

2.2 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

Se definirá el esquema general de la subestación en función del esquema unifilar anexo a este proyecto en el documento de planos, describiendo los distintos elementos que se utilizarán en cada posición de la subestación, así como las conexiones que presenta.

La instalación tendrá una estructura de simple barra con dos bahías de línea en 132 kV, una de conexión de autotransformador y medida de tensión en barras. La conexión de 400 kV se hace mediante una sola bahía con funciones de línea y de protección de transformador.

2.2.1 CONFIGURACIÓN DE LAS BAHÍAS DE LÍNEA DE 132 kV

Las dos líneas provenientes de la generación y que conectarán al embarrado principal disponen de la siguiente aparamenta en orden de conexión desde la línea de llegada:

- Un juego de pararrayos de óxido de zinc 145 kV en el lado de línea
- Un juego de transformadores de tensión inductivos 132/0,11 kV con tres núcleos secundarios para medida y protección.
- Un seccionador de tres columnas con la central giratoria, con puesta a tierra, 145 kV, 1250 A.
- Un juego de transformadores de intensidad 2000/5 A con cuatro núcleos secundarios para medida y protección.
- Un interruptor con un mecanismo de accionamiento por resortes y extinción del arco por SF6, 145 kV, 2000 A.
- Un seccionador de tres columnas con la central giratoria, para conexión al embarrado, 145 kV, 2000 A.

2.2.2 CONFIGURACIÓN DE LA BAHÍA DE TRANSFORMADOR DE 132 kV

La línea que conecta el embarrado de 132 kV con el autotransformador que realiza la transformación a 400 kV constará de la siguiente aparamenta en orden desde el embarrado:

- Un seccionador de tres columnas con la central giratoria, para conexión al embarrado, 145 kV, 2000 A.
- Un interruptor con un mecanismo de accionamiento por resortes y extinción del arco por SF6, 145 kV, 2000 A.

- Un juego de transformadores de intensidad 2000/5 A con cuatro núcleos secundarios para medida y protección.
- Un juego de pararrayos de óxido de zinc 145 kV para protección del autotransformador.
- Un juego de transformadores de tensión inductivos para medida de tensión en barras, 132/0,11 kV con tres núcleos secundarios para medida y protección.

2.2.3 CONFIGURACIÓN DE LA BAHÍA DE SALIDA A 400 kV

El nivel de tensión de 132 kV se conecta con el de 400 kV a través de un autotransformador 400/132 kV 400 MVA, y la línea de salida hacia la red dispondrá de la siguiente aparamenta en orden desde el autotransformador:

- Un juego de pararrayos de óxido de zinc 420 kV para protección del autotransformador.
- Un interruptor con un mecanismo de accionamiento por resortes y extinción del arco por SF₆, 420 kV, 2000 A.
- Un juego de transformadores de intensidad 1000/2000 A, de intensidad nominal secundaria 5 A, con cinco núcleos secundarios para medida y protección.
- Un seccionador de tres columnas con la central giratoria, con puesta a tierra, 420 kV, 2000 A.
- Un juego de pararrayos de óxido de zinc 420 kV en la salida a la red.
- Un juego de transformadores de tensión inductivos 396/0,11 kV con tres núcleos secundarios para medida y protección.

2.3 CRITERIOS DE DISEÑO

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Para definir la aparamenta y distintas magnitudes eléctricas de la instalación se tomarán como datos de partida las siguientes características del sistema eléctrico.

2.3.1.1 Sistema eléctrico de 400 kV

- Tensión nominal: 400 kV
- Tensión máxima: 420 kV
- Frecuencia: 50 Hz $\pm$ 1%
- Número de fases: 3
- Corriente de cortocircuito: 50 kA
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo: 1425 kV
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo maniobra: 1050 kV

2.3.1.2 Sistema eléctrico de 132 kV

- Tensión nominal: 132 kV
- Tensión máxima: 145 kV
- Frecuencia: 50 Hz $\pm$ 1%
- Número de fases: 3
- Corriente de cortocircuito: 31,5 kA
- Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo: 650 kV
- Tensión soportada nominal a frecuencia industrial: 275kV

2.3.1.3 Servicios auxiliares

- Servicios auxiliares en c.a.: 400/230 Vca $\pm$ 10%, 50 Hz $\pm$ 1%
- Servicios auxiliares en c.c.: 125 Vcc + 10% / - 15%

- Servicios auxiliares en c.c.: 48 Vcc + 10% / - 15%

2.3.2 OBRA CIVIL

Para el diseño del parque de la subestación se atenderá a las distintas especificaciones que se indican en ITC-RAT 15 para instalaciones de exterior.

2.3.2.1 Terreno

La subestación se construirá en un terreno plano y compacto. El parque exterior estará pavimentado con una capa de grava de 10 cm para conseguir un drenaje suficiente y una mayor seguridad eléctrica para hacer frente a la tensión de paso y tensión de contacto de la instalación.

2.3.2.2 Vallado

Se realizará un cerramiento perimetral a lo largo de toda la subestación, compuesta por bloques de hormigón con alambre de púas en la parte superior.

Para la entrada y salida de vehículos y personas, habrá accesos correspondientes conectados a las carreteras próximas de acceso. El tráfico de vehículos se diseñará para permitir la entrada de camiones de gran tonelaje.

Se colocarán señales de peligro de alto voltaje a lo largo de la cerca para advertir a las personas fuera del servicio.

2.3.2.3 Canalizaciones subterráneas

Los conductores de energía eléctrica en el interior del recinto de la instalación se dispondrán en conducciones o canalizaciones de media tensión, baja tensión y de control.

Los tipos de canalizaciones empleados en la subestación serán los siguientes:

- Canalizaciones específicas para conductores de media tensión.
- Canalizaciones de los conductores de baja tensión para líneas de alumbrado y fuerza en AC.
- Canalizaciones de los conductores de baja tensión para mando, medida y protección.
- Canalización del conductor de tierra.

2.3.2.4 Estructuras mayores

La estructura principal de la subestación estará formada por pilares de celosía convenientemente distribuidos sobre la superficie de la instalación, conectados con vigas horizontales en sus cabeceras para formar pórticos. Estas estructuras soportarán los esfuerzos de los cables entrantes. La combinación de viga horizontal y poste se completará con tornillos.

La elevación de las estructuras de celosía sobre el terreno deberá estar acorde con los especificado en el estudio de coordinación de asilamiento.

2.3.2.5 Estructuras menores

La aparamenta que se utilizará en la subestación tiene dimensiones estándar, y cada tipo de equipo tiene una altura distinta. Por ello, para cumplimentar con la altura mínima exigida para los elementos en tensión con respecto a tierra, se ubicarán dichos equipos encima de soportes constituidos por perfiles metálicos.

2.3.2.6 Fundaciones

Con el fin de obtener un desempeño geotécnico estable y mantener la resistencia del suelo durante la construcción de diferentes estructuras, se creará una plataforma de suelo compactado al 95% con la humedad óptima para mejorar el comportamiento de colapso del terreno existente.

La altura de la plataforma permitirá el diseño de sistemas de drenaje para eliminar el agua de lluvia fuera del área afectada por la cimentación.

Las estructuras primarias y secundarias serán cementadas mediante cimientos de hormigón armado de diferentes tamaños apoyados en el suelo.

2.3.3 EDIFICIO DE CONTROL

Se construirá un edificio de control donde se ubicarán los equipos de control, protección y servicios auxiliares de la subestación, que contendrá los siguientes cuartos:

- Sala de control
- Sala de operación
- Sala de baterías
- Sala de seguridad
- Almacén
- Comedor
- Aseos

El edificio además dispondrá de los siguientes servicios e instalaciones:

- Instalación de fontanería y saneamiento, incluyendo depósito de acumulación de agua potable asociado a una bomba de impulsión y fosa séptica.
- Instalación eléctrica de baja tensión e iluminación tanto interior como exterior.
- Instalación de red informática con tomas de voz y datos.
- Instalación de climatización y ventilación

- Instalación de protección contra incendios con extintores portátiles, detectores y central de detección de tipo analógico.
- Instalación de alarma anti-intrusión.

2.3.4 RED DE TIERRA

Toda la subestación debe tener una instalación de tierra, y su diseño debe garantizar que la tensión de paso y la tensión de contacto en cualquier punto accesible no se exceda en caso de cualquier falta en la instalación o de la red conectada a ella.

La red de tierra debe cumplir con las siguientes funciones:

- Proporcionar un camino de baja impedancia que permita desviar a tierra las intensidades de falta y provocadas por descargas atmosféricas.
- Establecer un potencial de referencia que evite que se produzcan diferencias de potencial entre distintos puntos de la instalación durante la circulación de estas intensidades a tierra.
- Aporta fiabilidad y continuidad al suministro eléctrico.

En la instalación, la configuración del electrodo de tierra se diseñará como una malla de conductores desnudos enterrados en el suelo. Esta configuración facilitará una buena calidad de puesta a tierra y un fácil acceso para los elementos de la instalación que se deban conectar a tierra.

Se considerarán los siguientes factores para realizar el diseño de la red de tierra:

- Planta del terreno y disposición de las instalaciones.
- Niveles de tensión admisibles por el cuerpo humano.
- Características del terreno.
- Corrientes máximas de cortocircuito a tierra y tiempo de eliminación de estas.

El diseño de esta red de tierra debe asegurar que las tensiones de paso y contacto, tanto dentro como fuera de la instalación, no superen los valores máximos establecidos según la norma IEC, como se comprueba en el anexo de cálculo.

2.3.4.1 Instalación de la red de tierra

Se instalará una red de puesta a tierra de conductores de cobre desnudo de 95 mm² para formar una malla con una cuadrícula de 8x8 m. La cuadrícula está ubicada a una profundidad de 80 cm medidos en relación con la superficie de la grava. Todas las uniones de la red estarán conectadas mediante soldadura exotérmica, de modo que la malla tenga una estructura uniforme.

Para aumentar la resistividad de la superficie del suelo y mejorar las condiciones de seguridad en términos de tensiones de paso y contacto, se colocará una capa de grava de 10 cm en toda la superficie en el interior de la instalación.

2.3.4.1.1 Puesta a tierra de partes metálicas

Con el fin de evitar accidentes y averías en el caso de descargas atmosféricas o sobretensiones, se deben conectar a la red de tierra todos los elementos metálicos que normalmente no estén sometidos a tensión.

Los elementos que se conectarán a tierra son los siguientes:

- Los chasis y bastidores de elementos de maniobra
- Las envolventes de los conjuntos de armarios metálicos
- Las puertas metálicas
- Las vallas y cercas metálicas
- Las columnas, soportes y pórticos
- Las estructuras y armaduras metálicas de los edificios que contengan instalaciones de alta tensión

- Los blindajes metálicos de los cables
- Las tuberías y conductos metálicos.
- Las envolventes de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.

2.3.4.1.2 Puesta a tierra del neutro de los transformadores

Se deben conectar a tierra los siguientes elementos:

- El neutro del autotransformador de potencia
- El neutro del transformador de tensión de servicios auxiliares
- Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida
- Los descargadores y pararrayos para la eliminación de las sobretensiones y las descargas atmosféricas.

Se debe constituir una instalación de puesta a tierra general, por lo que las puestas a tierra de neutro y de los elementos metálicos deberán estar interconectadas.

2.3.4.1.3 Conductores de tierra

Los conductores de tierra que se utilizarán según su finalidad se describen a continuación:

- Malla general: conductor de cobre desnudo de 95 mm²
- Neutro de transformador de servicios auxiliares: conductor aislado de cobre de 50 mm²
- Unión de estructuras y partes metálicas: conductor aislado de cobre de 35 mm²

2.3.5 APARAMENTA ELÉCTRICA

Se designa como aparamenta eléctrica a aquellos equipos utilizados en instalaciones eléctricas con la función de medir, maniobrar, regular o proteger los sistemas eléctricos, y se considera como aparamenta de alta tensión cuando trabaja con una tensión superior a 1000

V. No quedan incluidos en la definición de aparataje aquellos dispositivos o sistemas cuya finalidad sea la generación, transporte, utilización o transformación de la energía eléctrica.

Los parámetros que estipulan las condiciones de funcionamiento tanto en condiciones normales como anormales de funcionamiento son las características generales de la aparataje. Estos parámetros característicos que definen la aparataje son los siguientes:

- Tensión nominal
- Nivel de aislamiento
- Corriente nominal
- Corriente de corta duración admisible
- Intensidad límite dinámica
- Línea de fuga

Las normas que deben cumplir las instalaciones de alta tensión han sido establecidas por el MIE-RAT en el ITC-02, y en particular la norma UNE-EN 62271 regula las especificaciones para la aparataje de alta tensión, estableciendo las características y aspectos que deben cumplir para su correcto funcionamiento.

Los distintos tipos de aparataje tienen funciones y características variadas según su finalidad, por ello en los siguientes puntos se describirá la aparataje que será necesaria para la subestación, así como la elección adecuada de cada tipo distinto.

2.3.5.1 Interruptores

Los interruptores de potencia de alta tensión son equipos mecánicos con la capacidad de maniobrar y soportar corrientes de carga nominal, sobrecorrientes y cortocircuitos durante un tiempo determinado.

El uso de los interruptores en los sistemas eléctricos responde a la necesidad de poder conmutar las cargas en los mismos. Al interrumpir la corriente a altos voltajes se produce un fenómeno conocido como arco eléctrico, debido a la inercia de los electrones. Por ello, al abrir el circuito la corriente intentará cerrarlo de nuevo saltando al medio y provocando un

calentamiento muy rápido de este, lo que para altos valores de corriente resulta altamente peligroso.

Para evitar dicho fenómeno se emplearán en la subestación interruptores con sistemas de extinción del arco por SF₆. El SF₆ es un gas inerte y muy estable hasta 500 °C que se utiliza por sus notables propiedades aislantes y de extinción del arco, además de no ser ni inflamable ni tóxico.

Debido al uso del gas SF₆ para el aislamiento de los interruptores se aplica la normativa acorde con el ITC-RAT 18 para aparataje bajo envolvente metálica con aislamiento gaseoso de tensión asignada igual o superior a 72,5 kV, correspondiente con la norma UNE EN 62271-203.

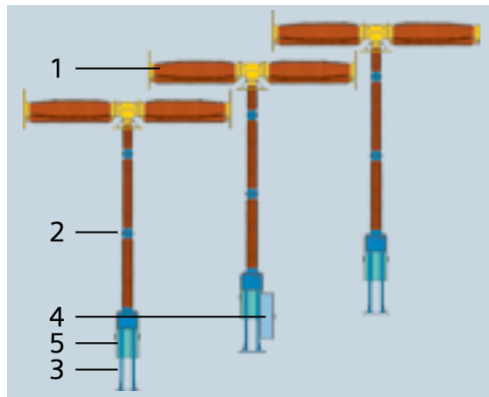
Los interruptores empleados para esta subestación serán los de la gama 3AP de Siemens equipados con un mecanismo de accionamiento por resortes y cámaras de extinción de auto compresión.

Los interruptores han sido sometidos a pruebas de rutina según IEC o ANSI en campos de pruebas acreditados según la norma EN 45001.

2.3.5.1.1 Interruptores para el nivel de 400 kV

Para este nivel de tensión de la subestación se colocarán interruptores del fabricante Siemens de tipo 3AP2 FI con las siguientes características:

- Tensión nominal: 420 kV
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Numero de cámaras de extinción por polo: 2
- Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1 min: 610 kV
- Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50 µs): 1425 kV
- Tensión de prueba de impulso de maniobra: 1050 kV
- Corriente nominal: 2000 A
- Corriente nominal de corta duración: 50 kA
- Corriente nominal de cortocircuito: 50 kA
- Rango de temperatura: -55 a 55 °C
- Tiempo de ruptura: 2 ciclos
- Mantenimiento después de: 25 años



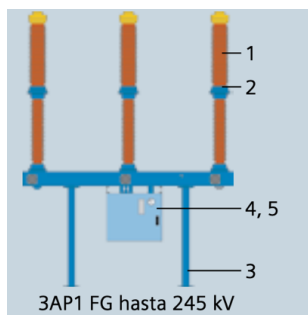
- 1) Cámara de extinción
- 2) Aislador soporte
- 3) Pilar
- 4) armario de control
- 5) armario de operación

Figura 3. Componentes del interruptor 3AP2 FI

2.3.5.1.2 Interruptores para el nivel de 132 kV

Para este nivel de tensión de la subestación se colocarán interruptores del fabricante Siemens de tipo 3AP1 FG con las siguientes características:

- Tensión nominal: 145 kV
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Numero de cámaras de extinción por polo: 1
- Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1 min: 275 kV
- Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50 μ s): 650 kV
- Corriente nominal: 2000 A
- Corriente nominal de corta duración: 31,5 kA
- Corriente nominal de cortocircuito: 31,5 kA
- Rango de temperatura: -55 a 55 °C
- Ciclo nominal de operación: O - 0,3s - CO - 3 min - CO
- Tiempo de ruptura: 3 ciclos
- Mantenimiento después de: 25 años



- 1) Cámara de extinción
- 2) Aislador soporte
- 3) Pilar
- 4) armario de control
- 5) armario de operación

Figura 4. Componentes del interruptor 3API FG

2.3.5.2 Seccionadores

Los seccionadores son aparatos con la misión de separar de forma visible distintos tramos y componentes de la red cuando sea necesario. Cumplen una función de seguridad para que los trabajadores de la instalación puedan operar las líneas sin peligro.

Estos equipos deben maniobrar en vacío, por lo que la corriente del circuito debe haber sido cortada previamente por la actuación del interruptor. Esto no implica que no puedan maniobrar en tensión, pero no son capaces de conectar y desconectar cargas.

Sin embargo, aunque actúen en vacío deben ser capaces de soportar las intensidades nominales, además de resistir las corrientes de cortocircuito y sobreintensidades durante un determinado tiempo.

Para ambos niveles de la subestación se utilizarán seccionadores del fabricante MESA de dos tipos según las necesidades de la instalación. Esta gama de seccionadores está actualizada según norma IEC 62271-102, presenta los aisladores dimensionados según IEC-273, líneas de fuga conforme a los niveles fijados en IEC-815 y todas las partes férricas según ISO 1461.

Para los seccionadores en 400 kV se utilizarán seccionadores con puesta a tierra de columna central giratoria con un accionamiento por polo debido al alto nivel de tensión de la instalación. Estos son seccionadores con accionamiento monofásico en los que cada polo tiene su propio accionamiento independiente, que actúa sobre la columna central giratoria donde se encuentra la cuchilla con la que se realizan las maniobras sobre la red.

Para el nivel de 132 kV se usarán también seccionadores de columna central giratoria, pero con accionamiento único tripolar, y con puesta tierra para las posiciones de línea.

2.3.5.2.1 Seccionadores para el nivel de 400 kV

Para este nivel de la instalación se requiere solamente de un seccionador en posición de línea. Para ello se utilizará un seccionador con columna central giratoria y cuchillas de puesta a tierra enclavadas mecánicamente con las cuchillas principales, del fabricante MESA como se ha comentado anteriormente.

El seccionador elegido es el SG3CT-420/3150, con las siguientes características:

- Peso: 1475 kg
- Tensión nominal: 420
- Intensidad nominal: 2000 A
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a frecuencia industrial bajo lluvia: 520 kV
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a impulso tipo rayo: 1425 kV
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a impulso tipo maniobra: 1050 kV
- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a frecuencia industrial bajo lluvia: 610 kV
- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a impulsos tipo rayo: 1665 kV
- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a impulsos tipo maniobra: 1245 kV
- Intensidad de corta duración: 50 kA
- Tipo de aislador: C6-1550

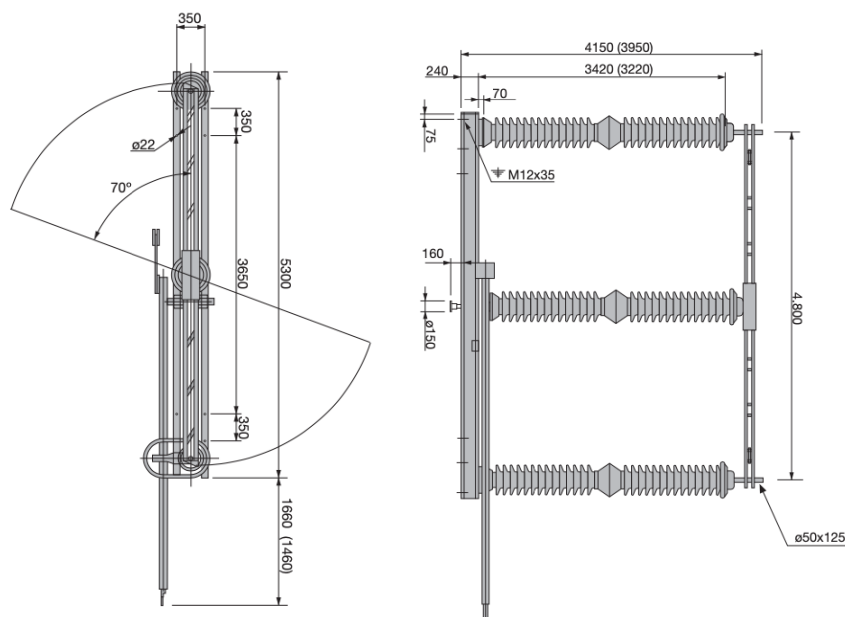


Figura 5. Seccionador SG3C de 420 kV

2.3.5.2.2 Seccionadores para el nivel de 132 kV

En el nivel de 132 kV se requiere de varios seccionadores y de distintos tipos según su función. Por un lado, se necesitan dos seccionadores con puesta a tierra en posición de línea, uno para cada una de las líneas provenientes de la generación. Por otro lado, se requiere de tres seccionadores para conexión a barras, uno en la línea del autotransformador y otros dos en las líneas provenientes de la generación.

2.3.3.2.2.1 Seccionadores de línea

Se instalarán para estas posiciones seccionadores de tres columnas con la central giratoria y cuchillas de puesta a tierra del fabricante MESA.

El modelo escogido es el SG3CT-145/2000 con las siguientes características:

- Tensión nominal: 145
- Intensidad nominal: 2000 A
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a frecuencia industrial bajo lluvia: 275 kV
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a impulso: 650 kV
- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a frecuencia industrial bajo lluvia: 315 kV
- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a impulso: 750 kV
- Intensidad de corta duración: 31,5 kA
- Valor cresta de la intensidad: 80 kA
- Tipo de aislador: C4-650

2.3.3.2.2.2 Seccionadores para conexión a barras

Los seccionadores que se usarán para esta posición serán los mismos que los de línea, pero sin cuchillas de puesta a tierra.

El modelo escogido es el SG3C-145/2000 con las siguientes características:

- Tensión nominal: 145
- Intensidad nominal: 2000 A
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a frecuencia industrial bajo lluvia: 275 kV
- Tensión de ensayo a tierra y entre polos a impulso: 650 kV

- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a frecuencia industrial bajo lluvia: 315 kV
- Tensión de ensayo sobre la distancia de seccionamiento a impulso: 750 kV
- Intensidad de corta duración: 31,5 kA
- Valor cresta de la intensidad: 80 kA
- Tipo de aislador: C4-650

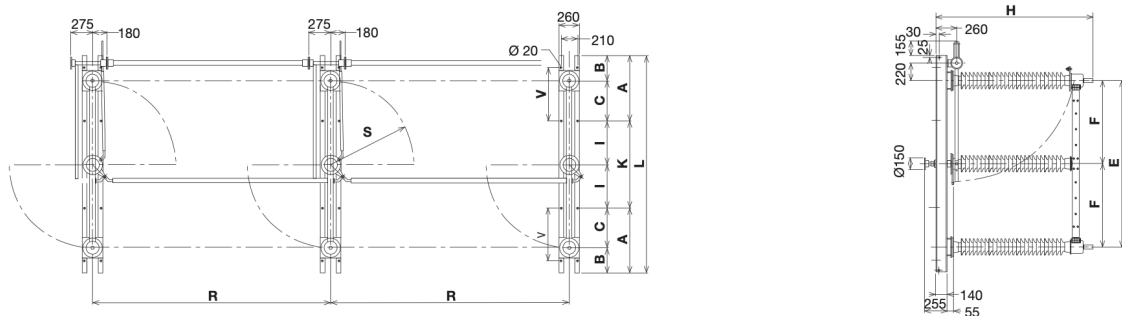


Figura 6. Seccionador SG3C de 132 kV

2.3.5.3 Transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad son equipos que se utilizan para alimentar los circuitos de medida, protección y control. Ya que, en condiciones nominales de funcionamiento, la intensidad que circula por el secundario del transformador es proporcional a la del primario, y presenta además un ángulo de desfase prácticamente nulo respecto a la misma. Su principal función es, por tanto, la de reducir los valores de intensidad que circulan por la instalación a unos valores mucho menores y normalizados, permitiendo la correcta medida de estos valores sin la necesidad de utilizar equipos especiales.

Los transformadores de intensidad constan de dos arrollamientos, uno primario y uno secundario, a través de los cuales se realiza la transformación. El primario puede contener una o varias espiras conectadas en serie con el circuito del cual se quiere medir la intensidad. El secundario, por otro lado, es el que alimenta los circuitos de intensidad para realizar las medidas correspondientes, y este puede contener varios núcleos que se usarán según se necesite para medida o protección.

Se puede distinguir entre transformadores de intensidad para medida y para protección según su finalidad. Los primeros son los encargados de alimentar los aparatos de medida y contadores, y quedan definidos por su clase de precisión, siendo esta el límite de error de relación (en porcentaje de la intensidad nominal) que puede aparecer cuando se trabaja con intensidad nominal. Por otro lado, los transformadores de intensidad para protección son los que van a alimentar a los relés de protección, y por ello deben ser capaces de mantener una precisión suficiente cuando trabajen con intensidades cuyo valor sea varias veces la intensidad nominal. Para estos transformadores se considera el error compuesto, definido como el valor eficaz de la diferencia integrada sobre un periodo entre los valores instantáneos teóricos y reales. Y se define también la intensidad primaria límite de precisión como el máximo valor de intensidad primaria para la que no se va a sobrepasar el error de compuesto. Así, con estas dos magnitudes se define la clase de precisión caracterizada por el índice de clase, la letra “P” (inicial de protección) y la intensidad primaria límite. Como ejemplo, una clase 5P20 indicaría que hasta una intensidad igual a 20 veces la nominal se mantendría un error compuesto del 5%.

Además, para definir los transformadores de intensidad es necesario tener en cuenta su carga, siendo esta la impedancia total resultante de los circuitos exteriores alimentados por los arrollamientos secundarios. Para ello se define la potencia de precisión como la potencia aparente en voltiamperios que se absorbe para intensidad secundaria nominal. Y para el cálculo de esta es necesario tener en cuenta tanto la carga de los aparatos de medida como la de los cables de conexión.

Por último, se deben tener en cuenta las sobretensiones e intensidades de la red, ya que los transformadores de intensidad están conectados en serie con las líneas de alimentación, por lo que sufrirán dichos fenómenos de la misma manera. Estas sobretensiones originan tanto efectos térmicos como dinámicos en los transformadores, por lo que es necesario dimensionarlos de manera que sean capaces de soportar tales efectos. Por tanto, la resistencia a los cortocircuitos se determina mediante la intensidad límite térmica y la intensidad límite dinámica.

Los transformadores de intensidad que se utilizarán en la instalación serán los de fabricante ARTECHE de la gama CA con diferentes características en función de las necesidades para cada punto de instalación. Los cálculos pertinentes se indican en el documento de cálculo en el apartado 2.4.4.

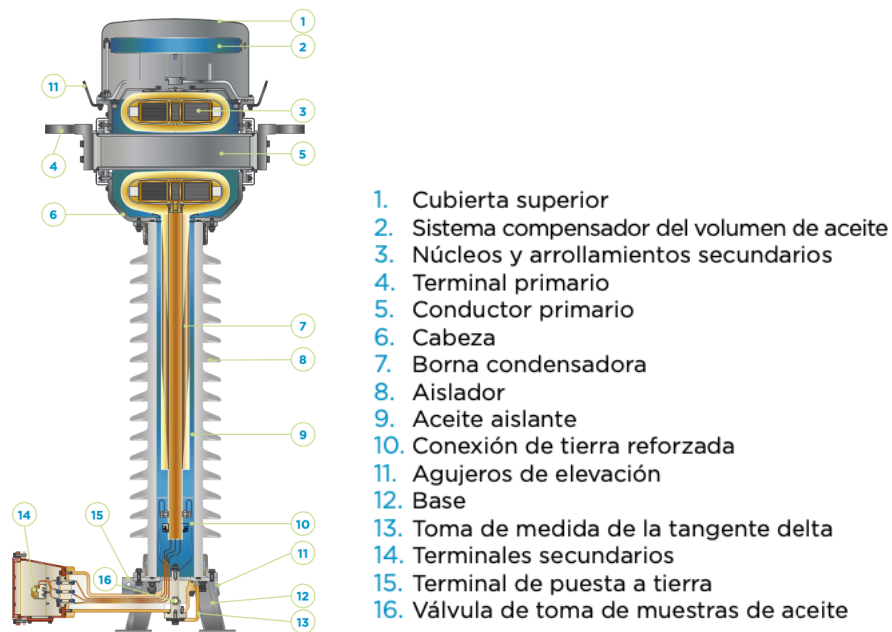


Figura 7. Transformador de intensidad de la gama CA de Artech

2.3.5.3.1 Transformadores de intensidad para el nivel de 400 kV

Este nivel de la instalación presenta una intensidad nominal de 577 A y una intensidad de cortocircuito de 50 kA, y requiere solamente de un transformador de intensidad en la línea de salida a 400 kV. Las características requeridas para este transformador de intensidad, según se indica en el documento de cálculo, son las siguientes:

- Número de núcleos secundarios: 5
- Intensidad nominal primaria: 1000/2000 A
- Intensidad nominal secundaria: 5-5-5-5-5
- Intensidad límite térmica durante 1 s: 50 kA
- Intensidad límite dinámica: 125 kA
- Arrollamientos secundarios:
 - 1º núcleo (medida): - Potencia de precisión: 20 VA

- Clase de precisión: 0,2 S

- Factor de seguridad: <5

- 2º núcleo (medida/protección): - Potencia de precisión: 50 VA
- Clase de precisión: 5P20 / cl 0,5
- 3º, 4º y 5º núcleo (protección): - Potencia de precisión: 50 VA
- Clase de precisión: 5P20

Se instalará el transformador CA-420 del fabricante ARTECHE con las siguientes características:

- Tensión máxima de servicio: 420 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 630 kV
- Tensión de ensayo tipo impulso: 1425 kV
- Tensión de ensayo tipo maniobra: 1050 kV
- Línea de fuga estándar: 10500 mm
- Peso: 1090 kg

2.3.5.3.2 Transformadores de intensidad para el nivel de 132 kV

Para este nivel de la subestación se debe distinguir entre el transformador de intensidad que se utilizará en la posición de transformador y los que se usarán en las posiciones de las líneas provenientes de la generación.

El transformador de intensidad que se colocará en la posición de transformador debe trabajar con una intensidad de 1750 A y su corriente de cortocircuito será de 50 kA. Por tanto, según se ha justificado en el documento de cálculo, las características que debe tener este transformador son las siguientes:

- Número de núcleos secundarios: 4
- Intensidad nominal primaria: 2000 A
- Intensidad nominal secundaria: 5-5-5-5
- Intensidad límite térmica durante 1 s: 31,5 kA
- Intensidad límite dinámica: 80 kA
- Arrollamientos secundarios:
 - 1º núcleo (medida): - Potencia de precisión: 10 VA

- Clase de precisión: 0,2 S
- 2º núcleo (medida): - Potencia de precisión: 30 VA
- Clase de precisión: cl 0,5
- 3º y 4º núcleo (protección): - Potencia de precisión: 50 VA
- Clase de precisión: 5P20

Para las posiciones de las dos líneas provenientes de la generación, se requiere de un transformador de intensidad en cada una que trabaje con una intensidad de 875 A y soporte una intensidad de cortocircuito de 31,5 kA. Los transformadores que se colocarán en estas posiciones deben tener las siguientes características:

- Número de núcleos secundarios: 3
- Intensidad nominal primaria: 1000 A
- Intensidad nominal secundaria: 5-5-5
- Intensidad límite térmica durante 1 s: 31,5 kA
- Intensidad límite dinámica: 80 kA
- Arrollamientos secundarios:
 - 1º núcleo (medida): - Potencia de precisión: 30 VA
- Clase de precisión: 0,2 S
 - 2º y 3º núcleo (protección): - Potencia de precisión: 50 VA
- Clase de precisión: 5P20

Tanto para la posición de transformador como para las posiciones de línea se ha decidido utilizar el transformador CA-145 del fabricante ARTECHE con las siguientes características:

- Tensión máxima de servicio: 145 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 275 kV
- Tensión de ensayo tipo impulso: 650 kV
- Línea de fuga estándar: 3625 mm
- Peso: 265 kg

2.3.5.4 Transformadores de tensión

Los transformadores de tensión son equipos que se utilizan para alimentar los circuitos de medida, protección y control. Ya que, en condiciones nominales de funcionamiento, la tensión que circula por el secundario del transformador es proporcional a la del primario, y presenta además un ángulo de desfase prácticamente nulo respecto a la misma.

Estos se diferencian de los transformadores de intensidad de diversas maneras. En primer lugar, el primario se conecta en paralelo entre los dos puntos donde se desea medir la tensión en vez de en serie con el circuito eléctrico; y en el secundario se conectan en paralelo los circuitos de tensión de los aparatos de medida que se vayan a utilizar. Además, estos transformadores se construyen generalmente con un núcleo rectangular, y a diferencia de los transformadores de intensidad no existe gran diferencia entre los devanados secundarios de medida y protección, puesto que las tensiones que aparecen por fase pueden alcanzar como máximo el valor de la tensión compuesta del sistema. Por tanto, los arrollamientos secundarios de estos transformadores se bobinan sobre el mismo núcleo, lo que provoca que, a diferencia de los transformadores de intensidad, no haya independencia entre los circuitos y por tanto la carga de un secundario tenga efecto sobre la precisión de otro.

Los transformadores de tensión pueden realizar tanto una medida entre fase y tierra como una medida entre fases. En esta instalación, al tratarse de alta tensión, la medida se realizará entre fase y tierra conectando unos de los terminales primarios del transformador a tierra.

Los transformadores de tensión para medida son aquellos cuya finalidad es la de alimentar aparatos de medida, contadores y aparatos similares. Estos quedan definidos por su clase de precisión, que indica el límite de error de relación que puede aparecer cuando el transformador trabaja con su carga de precisión y se alimenta a tensión nominal. Dicha precisión se mantiene para cargas de precisión entre el 25% y 100% de la nominal, y para tensiones entre el 80% y 120% de la nominal. Por otra parte, los transformadores de tensión para protección son los que se utilizan para alimentar los relés de protección, y generalmente usan el mismo devanado secundario que para medida, salvo que se desee una separación galvánica. Por ello, cuando se utiliza el mismo devanado, los transformadores de protección

deben tener la misma clase de precisión que los de medida. Por su parte, la clase precisión de los transformadores de protección de indica con la letra “P” y un numero que indica el máximo error en porcentaje, al 5% de la tensión nominal.

Los transformadores de tensión que se utilizarán en la instalación serán los de fabricante ARTECHE de la gama UT con diferentes características en función de las necesidades para cada punto de instalación. Los cálculos pertinentes se indican en el documento de cálculo en el apartado 2.4.5.

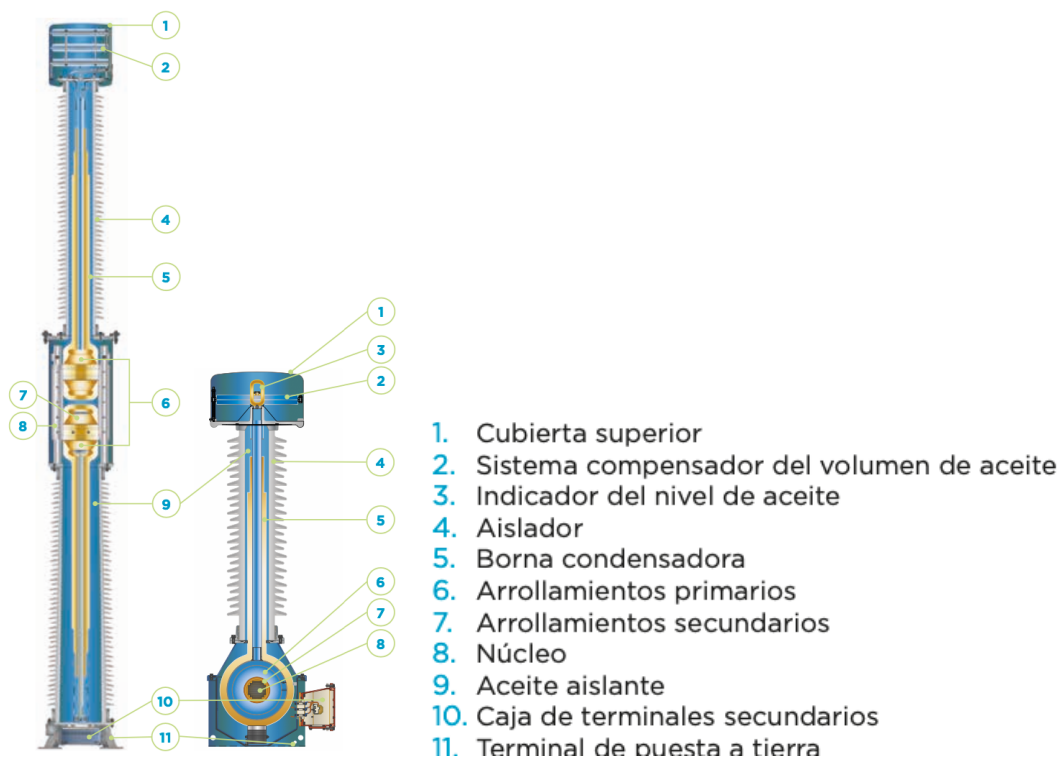


Figura 8. Transformadores de tensión de la gama UT del fabricante Artech

2.3.5.4.1 Transformador de tensión para el nivel de 400 kV

En la línea de salida a 400 kV se instalará un transformador de tensión inductivo que constará de las siguientes características según se ha indicado en el documento de cálculo:

- Número de núcleos secundarios: 3
- Relación de transformación nominal: $396000:\sqrt{3} / 110:\sqrt{3}$

- Arrollamientos secundarios:
 - 1º núcleo (medida): - Potencia de precisión: 20 VA
- Clase de precisión: 0,2
 - 2º y 3º núcleo (protección): - Potencia de precisión: 75 VA
- Clase de precisión: cl. 0,5 3P
- Factor de tensión nominal: - En servicio continuo: 1,2
- En máximo de 30 s: 1,5

Se instalará el transformador UTF-420 del fabricante ARTECHE con las siguientes características:

- Tensión máxima de servicio: 420 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 630 kV
- Tensión de ensayo tipo impulso: 1425 kV
- Tensión de ensayo tipo maniobra: 1050 kV
- Potencia térmica: 3500 VA
- Línea de fuga estándar: 10500 mm
- Peso: 1300 kg

2.3.5.4.2 Transformadores de tensión para el nivel de 132 kV

Para este nivel de tensión se instalará un transformador inductivo en cada una de las líneas provenientes de la generación, que tendrá las siguientes características como se ha justificado en el documento de cálculo:

- Número de núcleos secundarios: 3
- Relación de transformación nominal: $132000:\sqrt{3} / 110:\sqrt{3}$
- Arrollamientos secundarios:
 - 1º núcleo (medida): - Potencia de precisión: 25 VA
- Clase de precisión: 0,2
 - 2º núcleo (protección): - Potencia de precisión: 180 VA
- Clase de precisión: cl. 0,5 3P
 - 3º núcleo (protección): - Potencia de precisión: 150 VA
- Clase de precisión: cl. 0,5 3P

- Factor de tensión nominal: - En servicio continuo: 1,2
- En máximo de 30 s: 1,5

Se instalará el transformador UTE-145 del fabricante ARTECHE con las siguientes características:

- Tensión máxima de servicio: 145 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 275 kV
- Tensión de ensayo tipo impulso: 650 kV
- Potencia térmica: 3500 VA
- Línea de fuga estándar: 3625 mm
- Peso: 310 kg

2.3.5.5 Pararrayos

Los pararrayos o autoválvulas son los equipos cuya función es la de absorber las sobretensiones de alta frecuencia provocadas principalmente por maniobras o descargas atmosféricas. En caso de no incluir estos equipos, estas sobretensiones se descargarían sobre los aisladores, pudiendo perforar el aislamiento, lo que provocaría interrupciones en el suministro eléctrico y en la mayoría de las situaciones originaría además daños en los transformadores u otros equipos de la instalación.

La localización de los pararrayos en las subestaciones se realiza por norma general en la entrada de líneas a la instalación y a ambos lados de los transformadores de potencia. Además, estos equipos deben estar permanente conectados entre cada fase y tierra, para asegurar la circulación de la corriente a tierra cuando sea necesario.

Estos equipos se eligen de tal manera que se mantengan inactivos para valores normales de tensión de funcionamiento, pero que actúen antes de que el valor de la sobretensión alcance el valor reglamentario de tensión del aislamiento a proteger.

Los pararrayos que se utilizarán en esta instalación serán de óxido de zinc, que funcionan de manera similar a una resistencia no lineal. El valor de esta resistencia es muy elevado cuando la tensión en bornes es inferior al valor de referencia, conduciendo una intensidad

prácticamente nula. Sin embargo, cuando la tensión supera el nivel de referencia el valor de la resistencia se reduce de manera drástica, conduciendo así la intensidad hacia tierra.

Para ambos niveles de tensión de la subestación se utilizarán pararrayos del fabricante ABB de óxido de zinc y con revestimiento de polímero PEXLIM. Estos equipos cuentan con certificación del cumplimiento de la norma ISO 9001, además se han efectuado pruebas tipo conforme con IEC 60099-4 y ANSI/IEEE C62.11.



Figura 9. Descargador de óxido de cinc PEXLIM P

2.3.5.5.1 Pararrayos para el nivel de 400 kV

Para este nivel de tensión de la subestación se colocarán pararrayos del fabricante ABB de tipo PEXLIM P330-XH420 con las siguientes características:

- Tensión máxima de la red: 420 kV
- Tensión asignada U_R : 330 kV
- Tensión de trabajo continuo máxima según IEC: 264 kV
- Tensión de trabajo continuo máxima según ANSI/IEEE: 267 kV
- Capacidad de sobretensiones temporales (1s): 382 kV
- Capacidad de sobretensiones temporales (10s): 363 kV
- Tensión residual máxima con onda de corriente 30/60 μ s:
 - 1 kA: 644 kV
 - 2 kA: 667 kV
 - 3 kA: 684 kV

- Tensión residual máxima con onda de corriente 8/20 μ s:
 - 5 kA: 714 kV
 - 10 kA: 751 kV
 - 20 kA: 823 kV
 - 40 kA: 901 kV

2.3.5.5.2 Pararrayos para el nivel de 132 kV

Para este nivel de tensión de la subestación se colocarán pararrayos del fabricante ABB de tipo PEXLIM P108-XH145 con las siguientes características:

- Tensión máxima de la red: 145 kV
- Tensión asignada U_R : 108 kV
- Tensión de trabajo continuo máxima según IEC: 86 kV
- Tensión de trabajo continuo máxima según ANSI/IEEE: 86 kV
- Capacidad de sobretensiones temporales (1s): 125 kV
- Capacidad de sobretensiones temporales (10s): 118 kV
- Tensión residual máxima con onda de corriente 30/60 μ s:
 - 1 kA: 211 kV
 - 2 kA: 219 kV
 - 3 kA: 224 kV
- Tensión residual máxima con onda de corriente 8/20 μ s:
 - 5 kA: 234 kV
 - 10 kA: 246 kV
 - 20 kA: 270 kV
 - 40 kA: 295 kV

2.3.5.6 Embarrado

Un embarrado es un conjunto de conductores eléctricos utilizados como conexión común para los diferentes circuitos que componen la subestación. El circuito conectado o extraído del embarrado puede ser un generador, línea de transmisión, grupo de transformadores, grupo de puesta a tierra, etc

La instalación consta de un solo embarrado en el nivel de 132 kV que conecta las dos líneas provenientes de la generación con la bahía de transformador. Para la construcción de este

embarrado se utilizarán tubos de aluminio que cumplan con las siguientes características eléctricas:

- Tensión nominal: 132 kV
- Intensidad nominal de embarrado: 1750 A
- Intensidad de cortocircuito: 31,5 kA

2.3.6 AUTOTRANSFORMADOR

La función del autotransformador es exactamente la misma que la de un transformador de potencia, y consiste en la transformación de las tensiones de entrada en tensiones de salida de distinta magnitud manteniendo la frecuencia y una cierta potencia designada. En la instalación en cuestión la función del autotransformador es la de elevar la tensión proveniente de la generación a 132 kV a un nivel de 400 kV que coincide con el nivel de tensión de la red de transporte.

El autotransformador es como un transformador para todos los propósitos eléctricos, pero es más barato, más pequeño y tiene un mejor rendimiento que los transformadores equivalentes. Aunque su uso se ve limitado por dos factores: el aumento de la corriente de cortocircuito y la ausencia de aislamiento galvánico.

Se justifica el uso del autotransformador en esta instalación ya que se consigue el mismo resultado que con un transformador de potencia, pero usando un transformador equivalente mucho menor. A pesar de las limitaciones de los autotransformadores, se permite su uso para este tipo de aplicaciones ya que la transformación se realiza entre alta y alta tensión, por lo que, en caso de un cortocircuito en el secundario, el transformador sería capaz de soportar la tensión primaria en este lado, provocando únicamente el disparo de las protecciones, sin daños superiores en la máquina de potencia.

El autotransformador de potencia se compondrá de los siguientes elementos:

- Núcleo magnético

- Aislamientos
- Devanados
- Cuba
- Conexión
- Conservador de aceite

Además, el autotransformador debe contener los siguientes accesorios:

- Cambiador de tomas
- Ventiladores
- Radiadores
- Boquillas
- Termómetros, indicadores de nivel, relé Buchholz, válvula de alivio de presión, relé de presión súbita, respiradores de aire, etc
- Sensores y sistemas de monitoreo
- Descargadores de sobretensión
- Panel de mando, control y protecciones
- Transformadores de intensidad de boquilla

Este autotransformador debe ser capaz de soportar la potencia proveniente de las dos líneas de generación, lo que sería un total de 400 MW. Por tanto, para definir su potencia aparente en voltiamperios, se debe tener en cuenta que el código de red indica que se debe de ser capaz de generar con unos factores de potencia entre 0,95 inductivo y 0,95 capacitivo. Por lo que se tomará un valor de potencia aparente de 420 MVA para definir el autotransformador.

El transformador equivalente del autotransformador que se utilizará es un transformador de potencia de 268 kV/132 kV con una potencia nominal de 281 MVA según se justifica en el apartado 2.3 del documento de cálculo. El autotransformador será diseñado para trabajar en intemperie, con regulación en carga de alta tensión y el neutro rígidamente puesto a tierra. Estos transformadores con unos niveles de tensión y potencia tan elevados se construyen

bajo demanda, ya que no existen catálogos generales para este tipo de máquinas. Por ello se encargará a ABB, por su fiabilidad y experiencia, la construcción del autotransformador con las siguientes características:

- Instalación: intemperie
- Número de fases: 3
- Tensión nominal: 400 kV/132 $\pm 12\%$ kV
- Potencia nominal: 420 MVA
- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Impedancia de cortocircuito: 14%
- Intensidad de corta duración mínima: 50 kA (400 kV) y 31,5 kA (132 kV)
- Grupo de conexión: YNyn0
- Refrigeración: radiadores + bombas + ventiladores (ONAN/ONAF/OFAF)
- Circulación dirigida: si
- Líquido refrigerante: aceite
- Temperatura de ambiente máxima: 45°C

2.3.6.1 Transformadores de intensidad

Se deben incorporar transformadores de intensidad de tipo “Bushing” en bornas de 400 kV y 132 kV.

Los transformadores de intensidad que se incorporarán en bornas de 400 kV tendrán las siguientes características:

- 3 T/i tipo BR relación 1000/5 A, 30 VA, Cl. 0,5
- 3 T/i tipo BR relación 1000/5 A, 75 VA, 5P20
- 1 T/i tipo BM relación 750/2 A, 15 VA, Cl. 3

Los transformadores de intensidad que se incorporarán en bornas de 132 kV tendrán las siguientes características:

- 3 T/i tipo BM relación 2500/5 A, 30 VA, Cl. 0,5
- 3 T/i tipo BR relación 2500/5 A, 50 VA, 5P20
- 1 T/i tipo BM relación 2000/2 A, 15 VA, Cl. 3

En la borna de neutro del autotransformador (132 kV) se incorporará un transformador tipo BR, relación 3000/5 A, 50 VA, 5P20. Esta borna se conectará directamente a tierra y debe estar accesible.

2.3.6.2 Protecciones del autotransformador

Se deben instalar protecciones propias del autotransformador basadas en los siguientes equipos:

- Termómetro de contacto (26) indicador de temperatura de aceite.
- Relé Buchholz (63B).
- Relé Buchholz-Jansen (63BJ).
- Indicador magnético del nivel de aceite del trafo (63NT).
- Indicador magnético del nivel de aceite del regulador (63NR).
- Liberador de presión en el transformador (63L).
- Relé de imagen térmica (49-1 / 49-2).

2.3.6.3 Ensayos

El fabricante del autotransformador deberá someter al dispositivo a un conjunto de pruebas y medidas antes de realizar la instalación para su puesta en marcha.

Se deberá comprobar que las siguientes medidas son correctas:

- Resistencia de los bobinados
- Relación de transformación y control del grupo de conexión
- Pérdidas y corriente en vacío

- Tensión de impedancia, impedancia de cortocircuito pérdidas en carga

Se realizarán las siguientes pruebas dieléctricas sobre la máquina:

- Prueba de cortocircuito
- Prueba de conmutación en carga
- Nivel de ruido
- Mediciones de los armónicos
- Ensayos de calentamiento
- Comprobación de fugas
- Pruebas de equipos auxiliares

2.3.7 SISTEMA DE PROTECCIÓN

El sistema de protección es un grupo de equipos relacionados con el sistema de energía principal de la red. Su tarea es detectar condiciones de funcionamiento anormales e interferencias en el sistema de energía principal, aislar el área de la red eléctrica defectuosa y minimizar los daños a los equipos de energía y al personal. Por tanto, el sistema de protección consta de un transformador de medida que captura señales de circuitos de alta tensión, un relé de protección que detecta posibles anomalías en estas señales y emite comandos para aislar el circuito defectuoso y un interruptor responsable para ejecutar los comandos anteriores.

Se instalarán en la subestación los siguientes sistemas de protecciones acorde con lo indicado en el ITC-RAT 09.

El equipo de protección y control se instalará en un armario metálico auto portante para instalación interior, de dimensiones (alto x ancho x profundidad) 2200x800x800 mm, con acceso frontal, y que incluye:

- Placas de montaje en el fondo y laterales que se utilizan para colocar canaletas, borneros, pequeños materiales de protección y relés auxiliares.
- Bastidor pivotante para la colocación de relés de protección, equipos de control y bloques de prueba.
- Puertas transparentes.

2.3.7.1 Protección de barras

Para el embarrado de 132 kV se instalarán los siguientes sistemas de protección, al tratarse de un elemento crítico de la instalación ya que una falta en barras requiere la desconexión de todos los elementos acoplados a la misma.

- Protección diferencial de barras (87 B)
- Protección diferencial de fallo de interruptor (50 S-62)

2.3.7.2 Protección de líneas

En el armario de protección de línea se dispondrá de equipos de medida (principal y respaldo) preparados para tarificación, que se conectarán a los secundarios de medida de los transformadores de tensión e intensidad de alta tensión.

La protección de línea se realizará con dos relés (principal y respaldo) que integrarán las siguientes funciones principales:

- Protección diferencial de línea 87L de tipo diferencial longitudinal. Se requiere un relé digital para cada fase. Cada relé medirá el valor de corriente en módulo y ángulo, y calculará la corriente diferencial a partir del valor de módulo y fase del relé ubicado en el otro extremo de la línea. Todas las comunicaciones se realizarán a través de fibra óptica.
- Protección de distancia, 21 y 21N: se instalará un dispositivo de protección de distancia (21) en cada salida de línea, con la primera y segunda zonas en el frente, y la tercera y cuarta zonas en la parte posterior. Todas las protecciones de distancia se comunicarán entre sí. Dado que la longitud de la línea es inferior a 100 kilómetros, esta protección se ajusta a sobrealcance a bloqueo. En esta configuración, cada relé tiene una cuarta zona, y si se detecta una falta, enviará una señal de bloqueo al relé

en el otro extremo de la línea. Si cada relé detecta una falta en la primera zona y no recibe una señal de bloqueo, actuará de inmediato.

- Protección de sobreintensidad de fase y neutro, 50/51 y 50N/51N.
- Protecciones de máxima y mínima tensión, 59 y 27, y de frecuencia, 81, para señalización.
- Protección de fallo de interruptor, 50BF.

Las señales de tensión e intensidad para estos relés se tomarán de los transformadores de medida (secundarios de protección). Los disparos de estos relés activarán un relé de bloqueo 86L de reposición manual que actuará, a su vez, sobre las bobinas de disparo del interruptor automático de alta tensión.

2.3.7.3 Protección de transformador

La protección principal se realizará con un relé diferencial de transformador 87T conectado a los transformadores de tensión de alta tensión (secundario de protección).

La protección de respaldo se realizará con un relé de sobreintensidad, 50/51 y 50N/51N y de fallo de interruptor, 50BF. Tomará las señales de intensidad de los transformadores de medida correspondientes (secundario de protección) en alta tensión.

Los disparos de estos relés activarán un relé de bloqueo 86T de reposición manual que actuará, a su vez, sobre las bobinas de disparo del interruptor automático de alta tensión y del de la cabina de acometida de media tensión.

Además, se instalarán protecciones propias (protección de cuba) con la capacidad de detectar faltas producidas en el interior de la cuba en su fase inicial.

2.3.8 SISTEMA DE CONTROL Y HMI

Cuando nos referimos al control de una subestación, se trata de manera general de algo tan básico como el diseño de un sistema que aporte la capacidad de maniobrar los seccionadores

e interruptores para poder conectar o desconectar las líneas y las máquinas a voluntad del operador.

Para ello, el control eléctrico de una subestación se divide en los siguientes grupos o sistemas de control:

- Sistema de control para mandos, señalización, alarmas y enclavamientos
- Esquemas de conexión de las protecciones
- Automatismos y regulación
- Control de Sistemas Independientes
- Sistemas de Automatización o control avanzado
- Sistemas de control de equipos principales

Para realizar el control de la subestación en cuestión en un armario independiente se dispondrá del sistema de control centralizado de la subestación que estará formado por los siguientes elementos:

- Reloj de sincronización por GPS conectado a antena (situada sobre la cubierta del centro de control).
- Ordenador industrial con software de supervisión, pantalla táctil, teclado y ratón.
- Unidad de control de bahía para la integración y tratamiento de las señales de los servicios auxiliares y otros subsistemas de los que integrar la información (incendios, intrusión, control de accesos, etc.).
- Equipos de comunicación necesarios para la transmisión de datos (módem router, módem satelital, etc.).

2.3.9 SISTEMA DE COMUNICACIONES

Los sistemas de comunicaciones considerados para la subestación de generación cumplirán dos funciones:

- Interconexión de señales de las plantas fotovoltaicas y su subestación el Operador del Sistema.
- Servicios de voz y datos para el usuario de la planta de generación.

La información de los parques eólicos se transmitirá al centro de control de la subestación de generación mediante cables de fibra óptica monomodo que discurrirán en paralelo con las líneas colectoras. La información a transmitir será la correspondiente al estado de los equipos, alarmas y medidas.

Los canales de comunicación a través del OPGW serán:

- Comunicación de la protección diferencial de línea principal (87L-1).
- Comunicación de la protección diferencial de línea de respaldo (87L-2).
- Disparo automático de generación (DAG) con doble canal.
- Intercambio de datos con Operador del Sistema.

El protocolo de comunicación de protecciones y señales de control será IEC-61850.

Para poder cubrir las necesidades de comunicación de telefonía e internet del propietario/operador de la planta, se dispondrá de conexiones estándar con compañías operadoras de comunicaciones en el centro de control de la subestación.

2.3.10 SISTEMA DE MEDIDA

La medida de energía se realizará con contadores de activa/reactiva de clase 0,2s de carácter informativo, ya que la medida fiscal no se realizará en la instalación. Esto se debe a que al situarse la subestación de REE a una distancia de más de 500 m, los contadores de medida fiscal deben instalarse en dicho lugar, acorde con el Reglamento de Puntos de Medida.

Asimismo, se dispondrá de medida de tensión, intensidad, potencia activa y reactiva en las posiciones necesarias con carácter informativo para facilitar las maniobras pertinentes.

Se establecerá un punto de medida principal en el punto frontera de la instalación, que se sitúa en el punto de conexión de la instalación con REE. En este punto se implantarán las configuraciones de medida necesarias acorde con el Reglamento de Puntos de Medida:

- Configuración principal: el equipo de medición instalado en el punto de medida utilizado para la medición única especificada en dicho reglamento.

- Configuración redundante: equipos de medición instalados en el mismo punto que el principal cuyo valor medido debe ser prácticamente idéntico al de la medida principal.
- Configuración comprobante: equipo o grupo de equipos de medición instalados en el otro extremo de un solo componente (línea, transformador, etc.) relativo al instrumento de medida principal. A través de cálculos simples, el valor medido del dispositivo comprobante se puede comparar con el valor medido del contador principal, eliminando la influencia de los elementos de red que puedan existir entre los dos.

2.3.11 SERVICIOS AUXILIARES AC Y DC

Los servicios auxiliares son vitales para la operación de las subestaciones y están estrechamente relacionados con sus características de confiabilidad y continuidad del servicio. Los servicios auxiliares de las subestaciones de alta tensión consisten básicamente en sistemas de suministro de energía y distribución de energía eléctrica, que son necesarios para asegurar el funcionamiento de la subestación.

Estos servicios se dividen en dos grupos: servicios auxiliares de corriente alterna y de corriente continua. De manera general, se alimentan desde los servicios auxiliares de la instalación la aparamenta eléctrica, los equipos de mando y control, e instalaciones anexas como el alumbrado. Aunque en función del tipo de equipo que sea alimentado, se exige un cierto grado de seguridad a la alimentación de los servicios auxiliares. Por ello, se dividen los servicios en esenciales y no esenciales. Los servicios esenciales son aquellos que tienen como función alimentar a los equipos que permiten el funcionamiento de la subestación, estos serían todos aquellos alimentados en c.c. y la parte alimentada en c.a. que fuera necesaria. Por otra parte, los servicios no esenciales son aquellos en los que se puede permitir una interrupción prolongada en el suministro sin afectar gravemente al funcionamiento de la instalación.

2.3.11.1 Servicios auxiliares de corriente alterna

2.3.11.1.1 Alimentación para los SSAA de c.a.

Dado que la subestación en cuestión no consta de un nivel de media tensión se requiere de una alimentación particular para conseguir la baja tensión necesaria para los servicios auxiliares.

La alimentación principal en c.a. vendrá por tanto de tres transformadores de servicios auxiliares que se conectarán en las barras de 132 kV, y aportarán la potencia suficiente para alimentar a los servicios auxiliares al nivel de tensión requerido. Para realizar dicha función se ha elegido el transformador UTP-145 del fabricante Artech, que utiliza un aislamiento de papel de aceite y un sistema de compensación del nivel de aceite metálico.

Este transformador tendrá las siguientes características:

- Tensión máxima de servicio: 145 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial: 275 kV
- Tensión de ensayo a impulso: 650 kVp
- Potencia de salida por fase: 100 kVA
- Línea de fuga: 4525 mm
- Relación de transformación: 132 kV/420 V

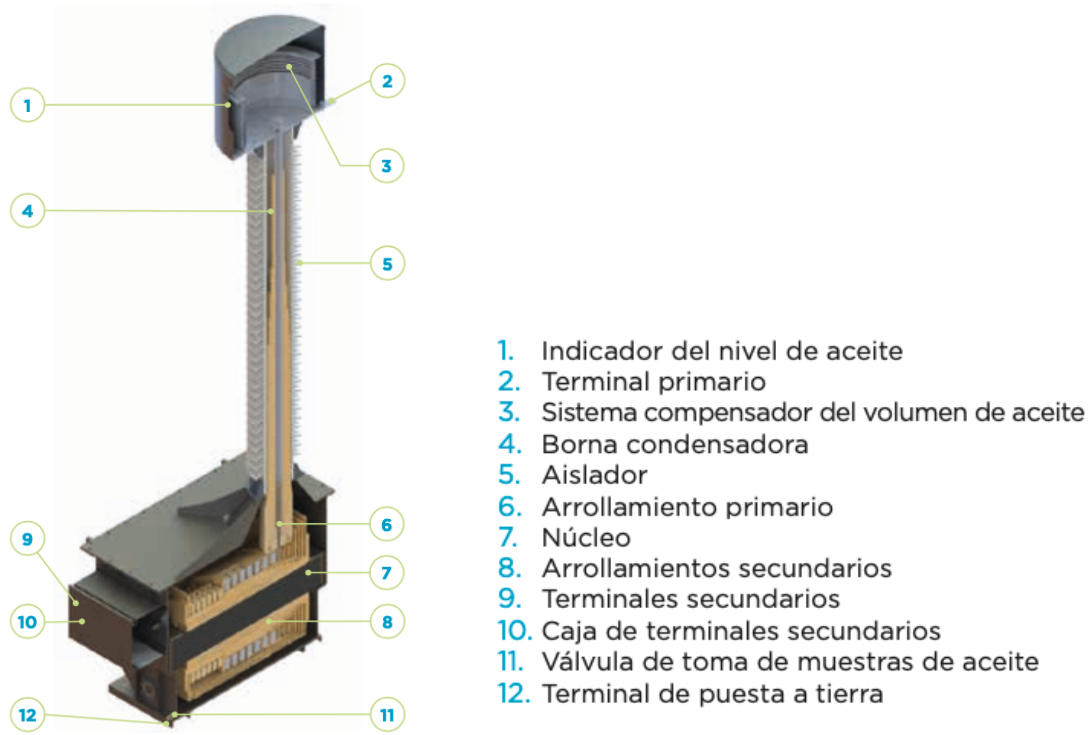


Figura 10. Transformador de tensión para SSAA serie UTP de Arteche

Como alimentación secundaria se instalará un grupo electrógeno con capacidad suficiente para alimentar a los servicios auxiliares en caso de pérdida del suministro. Este grupo será de 250 kVA, 400/230 V, 50 Hz, y para instalación en intemperie con una autonomía de 24 horas. Se asegurará que este grupo nunca entre en funcionamiento mientras se mantenga el servicio a través del transformador de servicios auxiliares, en caso de fallo de este último la unidad de control de los SSAA realizará la conmutación entre las alimentaciones.

2.3.11.1.2 Cuadro general de corriente alterna

Se instalará un cuadro general de c.a. en la sala de control de servicios auxiliares de la subestación. Este cuadro estará alimentado por las fuentes de alimentación independientes y no simultáneas anteriormente descritas, y estará constituido por tres barras de fase y una de neutro. Para aportar versatilidad a la instalación y facilitar el mantenimiento, se instalará el embarrado en configuración de barra partida mediante el equipamiento de un interruptor de acoplamiento motorizado. Además, si se diese la situación de pérdida de alguna de las

alimentaciones se podrían acoplar barras. Se dispondrá además de un cuadro de conmutación de grupo en una de las fuentes alimentadoras que conmutará la alimentación al grupo electrógeno en caso de pérdida de la alimentación principal.

2.3.11.1.3 Cuadro de distribución

Ambos cuadros de distribución de la instalación serán alimentados desde el cuadro general y constarán de los siguientes elementos:

- Cuadro de fuerza y climatización
- Cuadro general de alumbrado

2.3.11.2 Servicios auxiliares de corriente continua

El sistema de alimentación de c.c. tiene como función generar, almacenar y distribuir corriente continua a los distintos equipos de mando, protección, control y comunicaciones, así como a los sistemas de fuerza (accionamientos de los seccionadores e interruptores).

2.3.11.2.1 Sistema de 125 V de corriente continua

En la sala de servicios auxiliares se instalarán dos dispositivos de fuente conmutada-batería, que proporcionarán energía a todos los sistemas de control y protección, así como al sistema de fuerza. Asimismo, el cuadro general de corriente continua de 125 V será de tipo estandarizado con dos barras independientes, a partir de las cuales se asignarán los servicios de control y fuerza. Estará ubicado en la sala de servicios auxiliares de la subestación.

2.3.11.2.2 Sistema de 48 V de corriente continua

En el edificio de mando se instalarán dos equipos de fuentes conmutadas de alta frecuencia – batería para 48 V con capacidad de acuerdo con los criterios de diseño normalizados y un cuadro general de corriente continua de 48 V. De este cuadro, partirán todas las alimentaciones a los equipos de comunicaciones y al CCS.

Capítulo 3. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Energía renovable en España*. Wikipedia, la enciclopedia libre.
https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable_en_Espa%C3%B1a
- [2] Gamez, M. J. (2021). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [3] *Integración de los ODS en el TFG/TFM*. (2021). Universidad Pontificia Comillas.
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3046542/mod_resource/content/0/Seminario%20ODSs_rev1.pdf
- [4] ABB, Catálogo *Descargadores de sobretensiones de alto voltaje*.
[https://library.e.abb.com/public/3fdaa3dda98ffc4cc1257b130057b6a8/Surge%20Arrest%20Buyers%20Guide%20Ed5%20\(spanish\).pdf](https://library.e.abb.com/public/3fdaa3dda98ffc4cc1257b130057b6a8/Surge%20Arrest%20Buyers%20Guide%20Ed5%20(spanish).pdf)
- [5] Sanchez Mingarro, M., “*Apuntes de centrales y subestaciones eléctricas*”, curso 2020-2021
- [6] Fernández Bernal, F., “*Apuntes de máquinas eléctricas: teoría sobre autotransformadores*”, curso 2020-2021
- [7] López Díaz, M., “*Diseño de una subestación transformadora 220/20 kV*”, 2015
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewipkMTFqMryAhUXxBQKHbwJCx0QFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.comillas.edu%2Fjspui%2Fbitstream%2F11531%2F6616%2F1%2FTFG001479.pdf&usg=AOvVaw1AW1TyX8OLWOckFT-tNKha>
- [8] Lamgayaze, M., “*Diseño de una subestación eléctrica de 400/220 kV en la provincia de Teruel*”, 2018
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi_wsGdqcryAhWN8eAKHQRUBR0QFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fzaguan.unizar.es%2Frecord%2F78624%3Fln%3Des&usg=AOvVaw3RcVfV00BQ_obP_O7KrT8s

- [9] Falcón Blanco, V., “*Proyecto de una subestación eléctrica de transporte 400/220 kv*”, 2010
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjRt_iDqsryAhVOJhoKHW6MBWMQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fe-archivo.uc3m.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10016%2F10751%2FPFC_PFC_Victor_Manuel_Falcon_Blanco.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw2N_0EIMPA3epRtLIitleDu
- [10] Siemens, Catálogo *Interruptores de potencia de alta tensión*
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:a8c255c897707c1213440434d096b0f08e4d25e0/high-voltage-circuit-breakers-portfolio-es.pdf>
- [11] Mesa, Catálogo *Seccionadores y pantógrafos de alta tensión*
- [12] Arteche, Catálogo *Transformadores de medida de alta tensión*
- [13] Ministerio de industria, “*Reglamento de instalaciones eléctricas de alta tensión*”, BOE 9 de junio 2014
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-6084>
- [14] Ministerio de industria, turismo y comercio, “*Reglamento unificado de puntos de medida*”
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-16478>

ANEXO I: ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible.



17 objetivos de desarrollo sostenible

Este proyecto consiste en el diseño de una instalación que impulsará el desarrollo de las tecnologías de producción eólica y solar, favoreciendo así un desarrollo sostenible dentro del sistema eléctrico. De la misma manera, la construcción de este tipo de instalaciones tiene un impacto importante en los diversos objetivos de desarrollo sostenible propuestos por las Naciones Unidas.

Se describen a continuación los objetivos en los que este proyecto tiene un mayor impacto.

Objetivo 7: *Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna*

El proyecto contribuye a este objetivo ya que el correcto diseño la subestación ayuda a proporcionar energía de manera segura, y además al ser una subestación para parques eólicos contribuye a garantizar energía sostenible.

Objetivo 9: *Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación*

En línea con el objetivo 9, el diseño y la implantación de estas subestaciones promueve la integración de más tecnologías renovables permitiendo así un uso eficiente de los recursos disponibles.

Objetivo 13: *Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*

Por último, este proyecto ayuda a combatir el cambio climático ya que favorece el paso a tecnologías de producción renovables, para sustituir a otras más contaminantes.

DOCUMENTO 2:

CÁLCULOS

Índice

Capítulo 1. Objeto.....	4
Capítulo 2. Cálculos de la subestación.....	5
2.1 Cálculos generales de la instalación.....	5
2.1.1 Tensiones nominales normalizadas	5
2.1.2 Aislamiento.....	6
2.1.3 Intensidades nominales	8
2.1.4 Distancias.....	9
2.1.5 Línea de fuga.....	15
2.2 Red de tierra.....	16
2.2.1 Resistividad del terreno.....	17
2.2.2 Tensiones de paso y contacto.....	18
2.3 Autotransformador.....	20
2.4 Cálculo de la aparamenta	22
2.4.1 Pararrayos	22
2.4.2 Interruptores	27
2.4.3 Seccionadores	28
2.4.4 Transformadores de intensidad	29
2.4.5 Transformadores de tensión.....	35

Índice de figuras

Figura 1. Tensiones normales normalizadas del ITC-RAT 04.....	6
Figura 2. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo C del ITC-RAT 12	7
Figura 3. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo B del ITC-RAT 12	7
Figura 4. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo C del ITC-RAT 1210	
Figura 5. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo C del ITC-RAT 1211	
Figura 6. Niveles de contaminación según norma IEC 815	16
Figura 7. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta.....	20
Figura 8. Esquema equivalente del autotransformador	21
Figura 9. Esquema del transformador equivalente para construir el autotransformador	22
Figura 10. Clasificación de la corriente de descarga de las auto válvulas según UNE-EN 60099-4	23
Figura 11. Tensión asignada para las autoválvulas del fabricante ABB.....	23
Figura 12. Instrucciones para la denominación del modelo de las autoválvulas de ABB ..	23
Figura 13. Gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB	24
Figura 14. Especificaciones de la gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB.	25
Figura 15. Gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB	26
Figura 16. Especificaciones de la gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB.	27
Figura 17. Gama de interruptores 3AP del fabricante Siemens	28
Figura 18. Gama de seccionadores SG3C del fabricante MESA.....	29
Figura 19. Gama de seccionadores SG3C del fabricante MESA.....	29
Figura 20. Clase de precisión para transformadores de intensidad según UNE-EN 60044-1	30
Figura 21. Clase de precisión para transformadores de intensidad para protección según norma.....	30
Figura 22. Consumos habituales en los núcleos secundarios de los TIs (Arteche).....	31

Figura 23. Gama de transformadores de intensidad CA del fabricante Arteche.....	33
Figura 24. Gama de transformadores de intensidad CA del fabricante Arteche.....	35
Figura 25. Factor de tensión para los transformadores de tensión según norma	36
Figura 26. Clase de precisión para los transformadores de tensión según UNE-EN 60044-1	36
Figura 27. Clase de precisión para transformadores de tensión para protección según norma	37
Figura 28. Consumos habituales en los núcleos secundarios de los TTs (Arteche).....	37
Figura 29. Gama de transformadores de tensión UT del fabricante Arteche.....	39
Figura 30. Gama de transformadores de intensidad CA del fabricante Arteche.....	40

Capítulo 1. OBJETO

El objeto de este documento es justificar desde un punto de vista técnico las distintas soluciones que se han utilizado para el diseño de la instalación, desarrollando los cálculos pertinentes para cada elemento que así lo requiera.

Se incluye así mismo la normativa aplicable que justifica la realización de los cálculos en cada elemento.

Capítulo 2. CÁLCULOS DE LA SUBESTACIÓN

2.1 CÁLCULOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

2.1.1 TENSIONES NOMINALES NORMALIZADAS

La instalación consta de dos niveles de tensión, a 400 kV y 132 kV. El nivel de 400 kV presenta una bahía que se compone de una línea de transformador hacia el nivel de 132 kV. Por otra parte, el nivel de 132 kV está compuesto por tres bahías, una de transformador hacia la línea de salida en 400 kV, y dos bahías de línea provenientes de la generación, con una configuración de simple barra.

Según el reglamento eléctrico de alta tensión ITC-RAT 04 las instalaciones con un nivel superior a 66 kV e inferior a 220 kV se consideran de primera categoría, y las instalaciones con un nivel de tensión superior a 220 kV de categoría especial. De acuerdo con este reglamento, al haber en la instalación elementos a distinta tensión, el conjunto de la instalación se considera al valor de la mayor tensión que presente. Por esta razón se clasifica la instalación como de categoría especial.

Este reglamento establece del mismo modo la tensión más elevada que puede presentar el material en función de su tensión nominal normalizada según la siguiente tabla.

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (U_n) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DE LA RED (U_s) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DEL MATERIAL (U_m) kV
3	3,6	3,6
6	7,2	7,2
10	12	12
15	17,5	17,5
20	24	24
25	30	36
30	36	36
45	52	52
66	72,5	72,5
110	123	123
132	145	145
220	245	245
400	420	420

Figura 1. Tensiones normales normalizadas del ITC-RAT 04

Se concluye consecuentemente que la tensión más elevada del material para los niveles de 400 kV y 132 kV será de 420 kV y 145 kV respectivamente.

2.1.2 AISLAMIENTO

Acorde con el reglamento eléctrico de alta tensión ITC-RAT 12 el aislamiento de los equipos utilizados en la instalación debe adaptarse a los valores normalizados indicados en las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2. Este reglamento distingue entre tres grupos los materiales según el nivel de tensión más elevada del material, por lo que para cada nivel de tensión de la subestación presentará un aislamiento acorde con el grupo al que pertenezca.

2.1.2.1 Aislamiento para el nivel de 400 kV

Este nivel de la instalación forma parte del grupo C, ya que presenta una tensión más elevada del material superior a 245 kV. Para este grupo las sobretensiones de tipo maniobra esperadas de la red determinan la elección del material a instalar, y el nivel de aislamiento se especifica en función de las tensiones soportadas a impulsos tipo rayo y maniobra. La siguiente tabla establece las combinaciones recomendadas entre las tensiones más elevadas para el material y el nivel de aislamiento.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) kV (eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO 1,2/50 µs kV (valor de cresta)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA Fase a tierra 250/2500 µs kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra (mm)		TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA Entre fases 250/2500 µs kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire entre fases (mm)	
			Conductor/estructura (mm) (*)	Punta/estructura (mm) (*)		Conductor/conductor (paralelos) (mm) (*)	Punta/conductor (mm) (*)
420	1050	850	1900	2400	1360	2900	3400
	1175		2200				
	1175	950	2200	2900	1425	3100	3600
	1300		2400				
	1300	1050	2600	3400	1575	3600	4200
	1425						

Figura 2. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo C del ITC-RAT 12

De acuerdo con lo anterior, el nivel de 400 kV presentará una tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo de 1425 kV y a impulso tipo maniobra de 1050 kV.

2.1.2.2 Aislamiento para el nivel de 132 kV

Este nivel de la instalación forma parte del grupo B, ya que presenta una tensión más elevada del material superior a 36 kV y menor que 245 kV. Para este grupo, son primordialmente las sobretensiones de tipo rayo que puedan aparecer las que delimitan el nivel de aislamiento que debe ser seleccionado. La siguiente tabla agrupa los niveles de aislamiento recomendados en función de la tensión más elevada del material.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
52	95	250	480
72,5	140	325	630
123	185	450	900
	230	550	1100
145	185	450	900
	230	550	1100
	275	650	1300
170	230	550	1100
	275	650	1300
	325	750	1500
245	325	750	1500
	360	850	1700
	395	950	1900
	460	1050	2100

Figura 3. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo B del ITC-RAT 12

De acuerdo con lo anterior, el nivel de 132 kV presentará una tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo de 650 kV y una tensión a frecuencia industrial de baja duración de 275 kV.

2.1.3 INTENSIDADES NOMINALES

La intensidad nominal correspondiente a cada línea es un parámetro fundamental para el correcto diseño de la instalación, ya que es el valor que deben ser capaces de soportar los distintos equipos en condiciones normales de funcionamiento. Para ello se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo en las líneas a los distintos niveles de tensión de la subestación.

$$I_n = \frac{S_B}{\sqrt{3} * U * \cos\theta}$$

Teniendo que:

- S_B : potencia establecida por la línea
- U : tensión nominal de la línea
- $\cos\theta$: factor de potencia, para el cual se establece el valor 1 para obtener el máximo valor de la intensidad.

2.1.3.1 Intensidades en el nivel de 400 kV

La bahía de 400 kV presenta una línea de transformador por la que circula la totalidad de la potencia de la instalación, siendo esta de 400 MW. Su intensidad nominal será consecuentemente:

$$I_n = \frac{400 * 10^6}{\sqrt{3} * 400 * 10^3} = 577 \text{ A}$$

2.1.3.2 Intensidades para el nivel de 132 kV

El nivel de 132 kV se compone de tres bahías, dos de línea y una de transformador, con potencias distintas entre ellas por lo que a cada una le corresponderá una intensidad nominal diferente.

A la línea de la bahía de transformador le concierne una potencia de 400 MW correspondiente a la totalidad de la potencia de la instalación. En consecuencia, su intensidad nominal será:

$$I_n = \frac{400 * 10^6}{\sqrt{3} * 132 * 10^3} = 1750 A$$

Las bahías de línea provenientes de la generación tienen una potencia de 200 MW en cada una de ellas. Por lo que la intensidad nominal de cada una de estas líneas será:

$$I_n = \frac{200 * 10^6}{\sqrt{3} * 132 * 10^3} = 875 A$$

2.1.4 DISTANCIAS

Para establecer las distintas distancias que deben mantener los elementos de la instalación se adoptarán los valores normalizados indicados en el Reglamento de Alta Tensión ITC-RAT-12, que especifica el valor de asilamiento y de distancia mínima que deben tener los equipos. Estos valores se adaptan a los valores normalizados indicados en las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2. Como se justificó en el apartado 2.1.2. para el aislamiento, se dividen los valores que deben cumplimentar las instalaciones en tres grupos en función de las tensiones más elevadas del material.

Se adoptarán las distancias correspondientes a conductor/estructura y conductor/conductor ya que como indica el reglamento son las cubren un amplio campo de configuraciones

normales, en cambio las otras configuraciones se utilizan para situaciones más desfavorables.

Además, el reglamento especifica que las distancias normalizadas que se indican en estas normas son solo válidas para instalaciones con una altitud inferior a 1000 m, lo que aplica a la subestación en cuestión ya que no se considera una altitud mayor.

2.1.4.1 Distancias normalizadas en el nivel de 400 kV

Al considerarse materiales del grupo C los pertenecientes a este nivel de tensión de la instalación, las distancias que deben respetar estos materiales se especifican según la siguiente tabla.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) kV (eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO 1,2/50 µs kV (valor de cresta)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA Fase a tierra 250/2500 µs kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra (mm)		TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA Entre fases 250/2500 µs kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire entre fases (mm)	
			Conductor/estructura (mm) (*)	Punta/estructura (mm) (*)		Conductor/conductor (paralelos) (mm) (*)	Punta/conductor (mm) (*)
420	1050	850	1900	2400	1360	2900	3400
	1175		2200				
	1175	950	2200	2900	1425	3100	3600
	1300		2400				
	1300	1050	2600	3400	1575	3600	4200
	1425						

Figura 4. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo C del ITC-RAT 12

Por tanto, para el nivel en cuestión las distancias mínimas que deben tener los materiales son las siguientes:

- Distancia mínima fase-tierra: 2600 mm
- Distancia mínima fase-fase: 3600 mm

2.1.4.2 Distancias normalizadas para el nivel de 132 kV

Al considerarse materiales del grupo B los pertenecientes a este nivel de tensión de la instalación, las distancias que deben respetar estos materiales se especifican según la siguiente tabla.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
52	95	250	480
72,5	140	325	630
123	185	450	900
	230	550	1100
145	185	450	900
	230	550	1100
	275	650	1300
170	230	550	1100
	275	650	1300
	325	750	1500
245	325	750	1500
	360	850	1700
	395	950	1900
	460	1050	2100

Figura 5. Nivel de aislamiento normalizado para materiales del grupo C del ITC-RAT 12

Por tanto, para el nivel en cuestión las distancias mínimas que deben tener los materiales son las siguientes:

- Distancia mínima fase-tierra: 1300 mm
- Distancia mínima fase-fase: 1300 mm

2.1.4.3 Distancias en pasillos y zonas de protección

Las distancias mínimas que se deben respetar en la instalación deben cumplir con lo establecido en el ITC-RAT-15 (Instalaciones eléctricas de exterior), que implanta los requisitos que deben cumplir las instalaciones diseñadas para trabajar en intemperie.

2.1.4.3.1 Anchura de los pasillos

Para determinar la anchura mínima de los pasillos el reglamento indica que lo que establece el ITC-RAT-14 (Instalaciones eléctricas de interior) es igualmente válido para las instalaciones que funcionen en intemperie.

Por tanto, acorde con el IT-RAT-14 se establece que: 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 según los casos:

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

2.1.4.3.2 Altura mínima sobre el suelo de los elementos en tensión

La altura mínima que deben guardar sobre el suelo todos los elementos en tensión no protegidos que estén sobre los pasillos, será de “H”, con su medida en centímetros, cuyo valor es de:

$$H = 250 + d$$

Para determinar el parámetro “d” se usan las tablas de niveles de aislamiento de los apartados 2.1.4.1. y 2.1.4.2. tomándose como referencia las distancias fase-tierra en la configuración conductor-estructura.

Por tanto, el parámetro “d” adquiere el valor de:

- Nivel de 400 kV: $d = 2600$ mm
- Nivel de 132 kV: $d = 1300$ mm

En conclusión, la altura mínima que deben guardar los elemento en tensión sobre el suelo será:

- Nivel de 400 kV: H = 510 cm
- Nivel de 132 kV: H = 380 cm

2.1.4.3.3 Distancia de paso entre los elementos tensión y el paso de aparatos o máquinas

Acorde con el ITC-RAT-15: En las zonas donde se prevea el paso de aparatos o máquinas deberá mantenerse una distancia mínima entre los elementos en tensión y el punto más alto de aquellos no inferior a “T”:

$$T = d + 10$$

En conclusión:

- Nivel de 400 kV: T = 270 cm
- Nivel de 132 kV: T = 140 cm

2.1.4.3.4 Zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación

El ITC-RAT-15 estipula que: Los sistemas de protección que deban establecerse guardarán unas distancias mínimas medidas en horizontal a los elementos en tensión que se respetarán en toda zona comprendida entre el suelo y una altura de 200 cm que, según el sistema de protección elegido y expresadas en centímetros, serán:

1.º De los elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima:

$$B = d + 3$$

2.º De los elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima:

$$C = d + 10$$

3.º De los elementos en tensión a cierres de cualquier tipo (paredes macizas, enrejados, barreras, etc.) con una altura que en ningún caso podrá ser inferior a 100 cm:

$$E = d + 30, \text{ con un mínimo de } 125 \text{ cm}$$

4.º Para barreras no rígidas y enrejados los valores de las distancias de seguridad en el aire deben incrementarse para tener en cuenta cualquier posible desplazamiento de la barrera o enrejado siendo «d» el mismo valor definido en el apartado 4.1.2 de esta instrucción.

La cuadrícula del enrejado, cuando la hubiere, será como máximo de 50×50 mm.

Para la aplicación de estos valores se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 6.2.2 de la ITC-RAT 14.

En conclusión, la distancia de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto será:

- Nivel de 400 kV: B = 263 cm, C = 270 cm, E = 290 cm
- Nivel de 132 kV: B = 133 cm, C = 140 cm, E = 160 cm

2.1.4.3.5 Zona de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación

Acorde con el ITC-RAT-15: Para evitar los contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión, deberán existir entre éstos y el cierre las distancias mínimas de seguridad, medidas en horizontal y en centímetros, que a continuación se indican:

1.º De los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura $k < 250 + d$ (cm).

$$F = d + 100$$

2.º De los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura $k \geq 250 + d$ (cm)

$$B = d + 3$$

3.º De los elementos en tensión al cierre cuando éste es un enrejado de cualquier altura $k \geq 220$ cm.

$$G = d + 150$$

La cuadrícula del enrejado será como máximo de 50×50 mm.

En conclusión, las distancias mínimas entre los elementos de tensión y el cierre de la instalación serán las siguientes:

- Nivel de 400 kV: $F = 360$ cm, $B = 263$ cm, $G = 410$ cm
- Nivel de 132 kV: $F = 230$ cm, $B = 133$ cm, $G = 280$ cm

2.1.5 LÍNEA DE FUGA

Para establecer la línea de fuga mínima que deben presentar los distintos aparatos de la instalación se debe atender al nivel de contaminación a la que estará expuesta. Para ello la norma IEC 815 establece los niveles de contaminación y la distancia de fuga nominal mínima correspondiente según la siguiente tabla.

Nivel de Contaminación	Descripción del Ambiente	Distancia de fuga Nominal mínima
		mm/kV ϕ - ϕ
Ligero Nivel I	- Áreas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción. - Áreas con baja densidad de industrias o casas pero sujetas a frecuentes vientos o lluvia. - Áreas agrícolas - Áreas montañosas - Todas las áreas situadas de 10 km a 20 km del mar y no expuestas a vientos directos provenientes del mar.	16
Medio Nivel II	- Áreas con industrias que no producen humo contaminante y/o con densidad moderada de casas equipadas con calefacción. - Áreas con alta densidad de casas pero sujetas a frecuentes vientos y/o lluvia. - Áreas expuestas a vientos del mar pero no cercanas a la costa (al menos varios kilómetros de distancia).	20
Alto Nivel III	- Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con alta densidad de casas con calefacción que generen contaminación. - Áreas cercanas al mar o expuestas a vientos relativamente fuertes procedentes del mar.	25
Muy Alto Nivel IV	- Áreas generalmente de extensión moderada, sujetas a contaminantes conductivos, y humo industrial, que produzca depósitos espesos de contaminantes. - Áreas de extensión moderada, muy cercanas a la costa y expuestas a rocío del mar, o a vientos muy fuertes con contaminación procedentes del mar. - Áreas desérticas, caracterizadas por falta de lluvia durante largos períodos, expuesta a fuertes vientos que transporten arena y sal, y sujetas a condensación con regularidad.	31

Figura 6. Niveles de contaminación según norma IEC 815

Se considerará para la instalación un nivel de contaminación alto (nivel 3) por lo que le corresponde una línea de fuga mínima de 25 mm/kV. Por tanto, para los distintos niveles de tensión de la subestación las líneas de fuga mínimas deben ser:

- Nivel de 400 kV: $25 \cdot 420 = 10500$ mm
- Nivel de 132 kV: $25 \cdot 145 = 3625$ mm

Se comprobará entonces para la selección de la aparamenta que las líneas de fuga cumplan con dichos valores mínimos establecidos.

2.2 RED DE TIERRA

Para realizar el diseño de la red de tierra se debe tener en cuenta lo especificado en el ITC-RAT 13: INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA, que establece las características que

debe tener la puesta de una instalación para cumplir con los requisitos necesarios de seguridad.

En la subestación en cuestión se instalará una red de puesta a tierra de conductores de cobre desnudo de 95 mm² para formar una malla con una cuadrícula de 8x8 m. La cuadrícula está ubicada a una profundidad de 80 cm medidos en relación con la superficie de la grava.

Para aumentar la resistividad de la superficie del suelo y mejorar las condiciones de seguridad en términos de tensiones de paso y contacto, se colocará una capa de grava de 10 cm en toda la superficie en el interior de la instalación.

Con este diseño de la red de tierra se debe asegurar que los valores de las tensiones de paso y contacto no superen los valores admisibles establecidos en la norma UNE-IEC/TS 60479-1.

2.2.1 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad del terreno es un parámetro importante a tener en cuenta en el diseño de la red de tierra, ya que está directamente relacionada con los valores de las tensiones de paso y contacto.

La subestación se ubicará en las cercanías de un parque eólico, por lo que el terreno será el característico de esa zona. Por ello, para el diseño de la puesta a tierra se tomará un valor de resistividad del terreno de 150 Ω/m.

Para calcular la resistividad superficial aparente del terreno, teniendo en cuenta que se colocará una capa de grava en toda la superficie de la instalación, se multiplicará el valor de la resistividad de la capa de terreno adicional por un coeficiente reductor. Este coeficiente reductor se obtiene de la siguiente expresión:

$$C_s = 1 - 0,106 * \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2 * h_s + 0,106} \right)$$

Siendo:

- C_s : coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial
- h_s : espesor de la capa superficial, en metros
- ρ : resistividad del terreno natural
- ρ^* : resistividad de la capa superficial

Ingresando los valores de los distintos parámetros se obtiene un valor de coeficiente reductor:

$$C_s = 1 - 0,106 * \left(\frac{1 - \frac{150}{3000}}{2 * 0,1 + 0,106} \right) = 0,671$$

Por lo que la resistividad superficial tendrá un valor de:

$$\rho_s = C_s * \rho^* = 0,671 * 3000 = 2013 \Omega/m$$

2.2.2 TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

Según la norma IEC, la tensión de paso se define como la diferencia de potencial entre dos puntos en el suelo, separados por la distancia correspondiente a un paso (1 m) en la dirección del gradiente de potencial máximo. De manera parecida, la tensión de contacto se define como la diferencia de potencial entre una estructura metálica conectada a tierra y un punto en la superficie del suelo a una distancia de 1 m en la dirección del gradiente de potencial máximo.

Al realizar el cálculo de la red de tierra, es importante conocer la tensión que experimentará una persona durante la instalación en caso de una falta a tierra. Los humanos constituyen un divisor de tensión entre todas las resistencias involucradas en el circuito, por lo que el cuerpo principal no se verá afectado por todas las tensiones de paso o de contacto presentes en la subestación, sino por una pequeña parte de ellos, lo que constituye las tensiones de paso y contacto aplicadas.

La tensión de paso aplicada es la fracción de la intensidad de la tensión de paso directamente aplicada al pie humano, y se estima que la resistencia del cuerpo humano es de 1000 ohmios. Por otro lado, la tensión de contacto aplicada es la tensión directamente aplicable al cuerpo humano, y la resistencia del cuerpo humano se estima de la misma manera en 1000 ohmios.

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto máximas admisibles se utilizan las siguientes expresiones:

$$U_c = U_{ca} * \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 * Z_B} \right] = U_{ca} * \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5\rho_s}{1000} \right]$$

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

Donde:

- U_{ca} : Tensión de contacto aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies.
- U_{pa} : Tensión de paso aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies ($U_{pa}=10 U_{ca}$)
- Z_B : Impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000 Ω .
- R_{a1} : resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000 Ω .
- R_{a2} : resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie. $R_{a2}=3\rho_s$, donde ρ_s es la resistividad del suelo cerca de la superficie.

Se obtiene el valor de U_{ca} de la Tabla 1 del ITC-RAT 13, que establece los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta t_F .

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

Figura 7. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta

Se tomarán 0,5 segundos como valor de la duración de la corriente de falta, obteniéndose un valor de $U_{ca} = 204$ V.

Se obtiene por tanto unos valores de tensión de paso y contacto de:

$$U_c = 204 * \left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1,5 * 2013}{1000} \right] = 1023,98 \text{ V}$$

$$U_p = 10 * 204 * \left[1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 2013}{1000} \right] = 34839,12 \text{ V}$$

Se comprobará que los valores de las tensiones de paso y contacto son inferiores a los valores máximos calculados una vez se haya terminado la construcción de la instalación, realizando las medidas correspondientes acordes con los indicado en el ITC-RAT 13.

2.3 AUTOTRANSFORMADOR

Para esta subestación se ha optado por el uso de un autotransformador en lugar de un transformador de potencia, como ya se viene haciendo en este tipo de instalaciones de alta tensión debido a las ventajas que conlleva. Como se verá en el siguiente cálculo, con un autotransformador se consigue utilizar un transformador equivalente mucho menor, lo que

conlleva un menor precio del equipo y unas pérdidas reducidas, es decir un mejor rendimiento.

Lo que se busca conseguir es un autotransformador con las siguientes características:

- Relación de transformación: 400 kV/132 kV
- Potencia aparente: 420 MVA

Este autotransformador tendrá como intensidades nominales:

$$I_N = \frac{420 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * U_N}$$

$$I_{N1} = 606 \text{ A} \quad I_{N2} = 1837 \text{ A}$$

El esquema equivalente que se utilizará para realizar los cálculos es el siguiente:

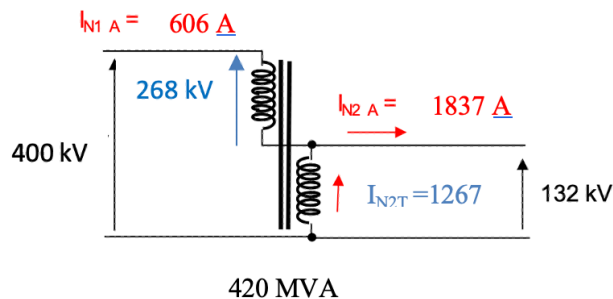


Figura 8. Esquema equivalente del autotransformador

Por tanto, el transformador equivalente que se utilizará para construir el autotransformador tendrá las siguientes características:

- Las tensiones nominales serán 268 kV/132 kV (268 = 400 - 132)
- La corriente nominal de baja será de 1267 A y la de alta de 606 A.
- La potencia nominal del transformador debe ser, por consiguiente:

$$S_N = \sqrt{3} * 268 * 10^3 * 606 = 281 \text{ MVA}$$

En resumen, el transformador equivalente que se utilizará para construir el autotransformador será el siguiente:

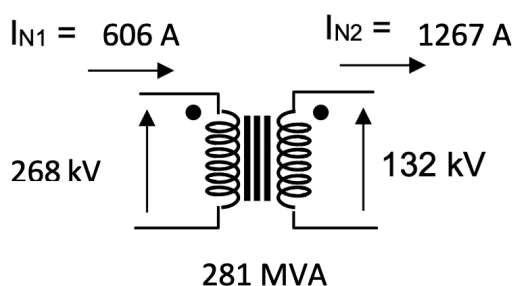


Figura 9. Esquema del transformador equivalente para construir el autotransformador

Se concluye que mediante el uso de un autotransformador se consigue utilizar un transformador equivalente con una potencia mucho menor (281 MVA frente a 420 MVA) lo que abaratará su coste y implicará un mejor rendimiento.

2.4 CÁLCULO DE LA APARAMENTA

2.4.1 PARARRAYOS

Para la correcta selección del pararrayos se deben seguir los siguientes pasos:

- Selección de la corriente de descarga en función de la tensión del sistema de acuerdo con UNE-EN 60099-4.

Tensión nominal del Sistema	Tensión máxima del Sistema	Clasificación de Autoválvulas					
		5 kA	10 kA			20 kA	
			Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
$U_n \leq 66 \text{ kV}$	$U_s \leq 72,5 \text{ kV}$	X	X	X			
$66 < U_n \leq 220 \text{ kV}$	$72,5 < U_s \leq 245 \text{ kV}$			X	X		
$220 < U_n \leq 380 \text{ kV}$	$245 < U_s \leq 420 \text{ kV}$				X	X	
$U_n > 380 \text{ kV}$	$U_s > 420 \text{ kV}$					X	X

Figura 10. Clasificación de la corriente de descarga de las auto válvulas según UNE-EN 60099-4

- Selección de la tensión de valor de servicio continuo (U_c), que debe ser igual o superior la tensión simple del sistema.

$$U_c = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$$

- Selección de la tensión asignada (U_R) según indicaciones del fabricante ABB.

Tierra del sistema	Duración del fallo	Tensión de la red U_m (kV)	Tensión nominal mínima, U_r (kV)
Efectiva	≤ 1 s	≤ 100	$\geq 0,8 \times U_m$
Efectiva	≤ 1 s	≥ 123	$\geq 0,72 \times U_m$
Inefectiva	≤ 10 s	≤ 170	$\geq 0,91 \times U_m$ $\geq 0,93 \times U_m$ (EXLIM T)
Inefectiva	≤ 2 h	≤ 170	$\geq 1,11 \times U_m$
Inefectiva	> 2 h	≤ 170	$\geq 1,25 \times U_m$

Figura 11. Tensión asignada para las autoválvulas del fabricante ABB

- Para hallar las características exactas del pararrayos se deben tener en cuenta las siguientes instrucciones del fabricante.

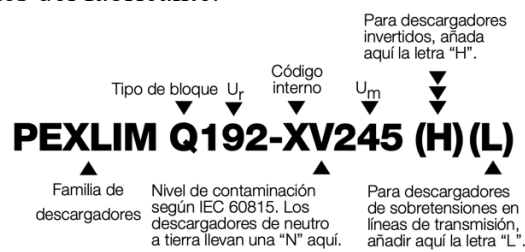


Figura 12. Instrucciones para la denominación del modelo de las autoválvulas de ABB

2.4.1.1 Pararrayos del nivel de 400 kV

- Corriente de descarga: 20 kA
- $U_c = 242,5$ kV
- $U_R = 0,72 \times 420 = 302,4$ kV

Atendiendo a las instrucciones del fabricante ABB se selecciona entonces el pararrayos de la familia PEXLIM P con un valor de U_R mayor que 302,4 kV.

Tensión máxima de red U_m kV _{rms}	Tensión nominal U_r kV _{rms}	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente							
		según IEC U_C kV _{rms}	según ANSI/IEEE MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	30/60 μ s			8/20 μ s				
						1 kA kV _{pico}	2 kA kV _{pico}	3 kA kV _{pico}	5 kA kV _{pico}	10 kA kV _{pico}	20 kA kV _{pico}	40 kA kV _{pico}	
145	108	86	86.0	125	118	211	219	224	234	246	270	295	
	120	92	98.0	139	132	234	243	249	260	273	299	328	
	132	92	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361	
	138	92	111	160	151	270	279	286	299	314	344	377	
	144	92	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394	
	150	92	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410	
	162	92	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443	
	168	92	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459	
170	132	106	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361	
	144	108	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394	
	150	108	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410	
	162	108	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443	
	168	108	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459	
	180	108	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492	
	192	108	152	222	211	375	388	398	415	437	479	525	
	210	144	170	243	231	410	425	435	454	478	524	574	
245	180	144	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492	
	192	154	154	222	211	375	388	398	415	437	479	525	
	198	156	160	229	217	387	400	410	428	451	494	541	
	214	156	173	248	235	419	434	445	464	488	535	586	
	216	156	175	250	237	422	437	448	467	492	539	590	
	219	156	177	254	240	427	443	454	474	499	546	598	
	222	156	179	257	244	433	449	460	480	506	554	607	
	228	156	180	264	250	445	461	473	493	519	568	623	
300	216	173	175	250	237	422	437	448	467	492	539	590	
	228	182	182	264	250	445	461	473	493	519	568	623	
	240	191	191	278	264	468	485	497	519	546	598	656	
	258	191	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705	
	264	191	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721	
	276	191	220	320	303	539	558	572	597	628	688	754	
	288	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787	
	300	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787	
362	258	206	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705	
	264	211	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721	
	276	221	221	320	303	539	558	572	597	628	688	754	
	288	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787	
	300	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787	
	330	264	267	382	363	644	667	684	714	751	823	901	
	336	267	272	389	369	656	679	696	727	765	838	918	
	342	267	277	396	376	667	691	709	740	779	852	934	
420	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983	
	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983	

Figura 13. Gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB

Una vez seleccionada la familia de pararrayos del fabricante, se procede a establecer el nivel de contaminación para elegir el revestimiento. Este se establece de acuerdo con el ITC-LAT 07, y dado que el emplazamiento de la subestación es desconocido, se asumirá nivel de contaminación 3 (fuerte) para las distintas aplicaciones posibles. En este se establece que la longitud de la línea de fuga mínima nominal es 25 mm/kV.

Longitud de la línea de fuga: $25 \times 420 = 10500$ mm

Según los datos del catálogo de ABB se elige el revestimiento de XH245 ya que cumple las condiciones citadas.

Tensión máxima de red U_m kV _{rms}	Tensión nominal U_r kV _{rms}	Revestimiento	Distancia de fuga mm	Aislamiento externo *)				Dimensiones					
				1,2/50 μ s seco kV _{pico}	50 Hz húmedo (60s) kV _{rms}	60 Hz húmedo (10s) kV _{rms}	250/2.500 μ s húmedo kV _{pico}	Masa kg	$A_{m\acute{a}x}$	B	C	D	Fig.
24	18-24	XV024	1363	283	126	126	242	18	481	-	-	-	1
36	30-36	XV036	1363	283	126	126	242	18	481	-	-	-	1
	39	XV036	2270	400	187	187	330	29	736	-	-	-	1
52	42-72	XV052	2270	400	187	187	330	29	736	-	-	-	1
72	54-72	XV072	2270	400	187	187	330	28	736	-	-	-	1
	75-84	XV072	3625	578	293	293	462	43	1080	-	-	-	1
100	75-96	XV100	3625	578	293	293	462	43	1080	-	-	-	1
123	90-120	XH123	3625	578	293	293	462	42	1080	-	-	-	1
	90-144	XV123	4540	800	374	374	660	53	1397	-	-	-	2
	150	XV123	4988	861	419	419	704	54	1486	-	-	-	2
145	108-120	XH145	3625	578	293	293	462	41	1080	-	-	-	1
	108-144	XV145	4540	800	374	374	660	52	1397	-	-	-	2
	150	XV145	4988	861	419	419	704	54	1486	-	-	-	2
	162-168	XV145	5895	978	480	480	792	65	1741	-	-	-	2
170	132-144	XH170	4540	800	374	374	660	52	1417	400	-	160	3
	150	XH170	4988	861	419	419	704	56	1506	400	-	160	3
	132-192	XV170	5895	978	480	480	792	69	1761	400	-	160	3
245	192	XM245	5895	978	480	480	792	65	1761	400	-	160	3
	180-228	XH245	7250	1156	586	586	924	82	2105	400	-	160	3
	180-198	XV245	8613	1439	712	712	1166	100	2617	800	600	400	5
	210-228	XV245	8613	1439	712	712	1166	97	2617	600	-	300	4
300	216-264	XH300	8613	1439	712	712	1166	101	2617	900	600	500	5
	276	XH300	8613	1439	712	712	1166	97	2617	900	600	500	6
	216-276	XV300	9520	1556	773	773	1254	109	2872	900	600	500	5
362	258-288	XH362	9520	1556	773	773	1254	117	2872	1200	800	600	5
	258-288	XV362	11790	1956	960	960	1584	146	3533	1400	800	700	7
420	330-360	XH420	10875	1734	879	879	1386	130	3216	1400	800	700	5

Figura 14. Especificaciones de la gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB

Por consiguiente, para este nivel de tensión de la subestación se selecciona el pararrayos de óxido de zinc PEXLIM P330-XH420 de ABB.

2.4.1.2 Pararrayos del nivel de 132 kV

- Corriente de descarga: 10 kA
- $U_C = 83,72$ kV
- $U_R = 0,72 \times 145 = 104,4$ kV

Atendiendo a las instrucciones del fabricante ABB se selecciona entonces el pararrayos de la familia PEXLIM P con un valor de U_R mayor que 104,4 kV.

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente							
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 µs			8/20 µs				
						1 kA	2 kA	3 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA	
U _m	U _r	U _C	MCOV	kV _{rms}	kV _{rms}	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀	kV ₁₀₀₀
145	108	86	86.0	125	118	211	219	224	234	246	270	295	
	120	92	98.0	139	132	234	243	249	260	273	299	328	
	132	92	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361	
	138	92	111	160	151	270	279	286	299	314	344	377	
	144	92	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394	
	150	92	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410	
	162	92	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443	
	168	92	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459	
	170	132	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361	
	144	108	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394	
170	150	108	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410	
	162	108	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443	
	168	108	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459	
	180	108	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492	
	192	108	152	222	211	375	388	398	415	437	479	525	
	245	180	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492	
	192	154	154	222	211	375	388	398	415	437	479	525	
	198	156	160	229	217	387	400	410	428	451	494	541	
	210	156	170	243	231	410	425	435	454	478	524	574	
	214	156	173	248	235	419	434	445	464	488	535	586	
245	216	156	175	250	237	422	437	448	467	492	539	590	
	219	156	177	254	240	427	443	454	474	499	546	598	
	222	156	179	257	244	433	449	460	480	506	554	607	
	228	156	180	264	250	445	461	473	493	519	568	623	
	300	216	173	250	237	422	437	448	467	492	539	590	
	228	182	182	264	250	445	461	473	493	519	568	623	
	240	191	191	278	264	468	485	497	519	546	598	656	
	258	191	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705	
	264	191	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721	
	276	191	220	320	303	539	558	572	597	628	688	754	
362	258	206	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705	
	264	211	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721	
	276	221	221	320	303	539	558	572	597	628	688	754	
	288	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787	
420	330	264	267	382	363	644	667	684	714	751	823	901	
	336	267	272	389	369	656	679	696	727	765	838	918	
	342	267	277	396	376	667	691	709	740	779	852	934	
	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983	

Figura 15. Gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB

Una vez seleccionada la familia de pararrayos del fabricante, se procede a establecer el nivel de contaminación para elegir el revestimiento. En este se establece que la longitud de la línea de fuga mínima nominal es 25 mm/kV.

Longitud de la línea de fuga: $25 \times 145 = 3625$ mm

Según los datos del catálogo de ABB se elige el revestimiento de XH145 ya que cumple las condiciones citadas.

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Revestimiento	Distancia de fuga	Aislamiento externo *)				Dimensiones					
				1,2/50 μs seco	50 Hz húmedo (60s)	60 Hz húmedo (10s)	250/2.500 μs húmedo	Masa kg	A _{máx}	B	C	D	Fig.
U _m kV _{rms}	U _r kV _{rms}		mm	kV _{pico}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{pico}						
24	18-24	XV024	1363	283	126	126	242	18	481	-	-	-	1
	30-36	XV036	1363	283	126	126	242	18	481	-	-	-	1
36	39	XV036	2270	400	187	187	330	29	736	-	-	-	1
	42-72	XV052	2270	400	187	187	330	29	736	-	-	-	1
52	54-72	XV072	2270	400	187	187	330	28	736	-	-	-	1
	75-84	XV072	3625	578	293	293	462	43	1080	-	-	-	1
100	75-96	XV100	3625	578	293	293	462	43	1080	-	-	-	1
123	90-120	XH123	3625	578	293	293	462	42	1080	-	-	-	1
	90-144	XV123	4540	800	374	374	660	53	1397	-	-	-	2
	150	XV123	4988	861	419	419	704	54	1486	-	-	-	2
145	108-120	XH145	3625	578	293	293	462	41	1080	-	-	-	1
	150	XV145	4988	861	419	419	704	54	1486	-	-	-	2
	162-168	XV145	5895	978	480	480	792	65	1741	-	-	-	2
170	132-144	XH170	4540	800	374	374	660	52	1417	400	-	160	3
	150	XH170	4988	861	419	419	704	56	1506	400	-	160	3
	132-192	XV170	5895	978	480	480	792	69	1761	400	-	160	3
245	192	XM245	5895	978	480	480	792	65	1761	400	-	160	3
	180-228	XH245	7250	1156	586	586	924	82	2105	400	-	160	3
	180-198	XV245	8613	1439	712	712	1166	100	2617	800	600	400	5
	210-228	XV245	8613	1439	712	712	1166	97	2617	600	-	300	4
300	216-264	XH300	8613	1439	712	712	1166	101	2617	900	600	500	5
	276	XH300	8613	1439	712	712	1166	97	2617	900	600	500	6
	216-276	XV300	9520	1556	773	773	1254	109	2872	900	600	500	5
362	258-288	XH362	9520	1556	773	773	1254	117	2872	1200	800	600	5
	258-288	XV362	11790	1956	960	960	1584	146	3533	1400	800	700	7
420	330-360	XH420	10875	1734	879	879	1386	130	3216	1400	800	700	5

Figura 16. Especificaciones de la gama de autoválvulas PEXLIM-P del fabricante ABB

Por consiguiente, para este nivel de tensión de la subestación se selecciona el pararrayos de óxido de zinc PEXLIM P108-XH145 de ABB.

2.4.2 INTERRUPTORES

Para la selección de los interruptores se comprueba que los valores ofrecidos en el catálogo del fabricante Siemens se ajustan a los valores especificados para ambos niveles de tensión de la instalación. Para ello se verifica que la tensión nominal del pararrayos se corresponde con las tensiones nominales normalizadas según ITC-RAT 04. Por otro lado, se comprueba también que las tensiones soportadas nominales a impulsos tipo rayo y a impulsos tipo maniobra se ajustan a lo especificado en el ITC-RAT 12.

Tipo	3A1							3A2/3			3AP4/5
Tensión nominal	kV	72,5	123	145	170	245	300	420	550	800	
Cantidad de cámaras de extinción por polo										4	
Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1 min	kV	140	230	275	325	460	460	610	800	830	
Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50 µs)	kV	325	550	650	750	1050	1050	1425	1550	2100	
Tensión de prueba de impulso de maniobra	kV			–			850	1050	1175	1425	
Corriente nominal, hasta	A	2500	4000	4000	4000	4000	4000	5000	5000	5000	
Corriente nominal de corta duración, hasta	kA _(ms)	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63	
Corriente nominal de cortocircuito, hasta	kA	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63	
Rango de temperatura	°C					-55 a +55					
Ciclo nominal de operación				0-0,3	CO-3 min-CO o CO			15 s-CO			
Tiempo de ruptura				3 ciclos						ciclos	
Frecuencia	Hz					50 o 60					
Mantenimiento después de						25 años					

Figura 17. Gama de interruptores 3AP del fabricante Siemens

2.4.3 SECCIONADORES

Los seccionadores que se utilizarán en la subestación son los del fabricante MESA de la gama SG3C, con las características necesarias para cada posición.

Para la selección de los seccionadores se debe diferenciar entre los de posición de línea, para los que se usará la gama SG3CT con puesta tierra, y los de conexión a barras, para los que se utilizará la gama SG3C sin puesta tierra. Una vez elegido el tipo de seccionador necesario se debe seleccionar entre las distintas opciones el que ofrezca unos valores de tensión y intensidad nominales adecuados para su posición en la instalación. Además, se comprueba que el resto de los valores ofrecidos por el fabricante se ajustan a lo establecido por el Reglamento de Alta Tensión.

Referencia	Peso	Referencia	Peso	Tensión Nominal	Intensidad Nominal	Tensión de ensayo						Intensidad de corta duración (Valor eficaz)	Valor cresta de la intensidad	Tipo de aislador
						A tierra y entre polos			Sobre la distancia de seccionamiento					
						A frecuencia industrial bajo lluvia	A impulso tipo rayo	A impulso tipo maniobra	A frecuencia industrial bajo lluvia	A impulso	A impulso tipo maniobra			
SG3C-420/3150		SG3CT-420/3150		420	3150	520	1425	1050	610	1665	1245	50	125	C6-1550
SG3C-420/4000	1425	SG3CT-420/4000	1475	420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	50	125	C6-1550
SG3C-420/4000		SG3CT-420/4000		420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	63	160	C8-1550

Figura 18. Gama de seccionadores SG3C del fabricante MESA

	Referencia Reference		Tensión nominal Rated voltage	Intensidad nominal Rated normal current (1)	Tensión de ensayo / Impulse withstand voltage				Intensidad corta duración (valor eficaz) Short time withstand current (RMS) (1)	Valor cresta de la intensidad Peak withstand current (1)	Tipo de aislador Insulator type
					A tierra y entre polos To earth and between poles		Sobre la distancia de secci. Across isolating distance				
					A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso / Impulse	A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso / Impulse			
A	1	SG3CP-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		SG3CP-52/1250	52	800	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		SG3CP-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
	2	SG3CPT-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
		SG3C-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		SG3C-52/1250	52	800	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
	3	SG3C-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		SG3C-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
		SG3C-52/1600	52	1600	95	250	110	290	40	100	C4-250
	4	SG3C-52/2000	52	2000	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SG3C-52/2750	52	2750	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SG3C-72/1600	72,5	1600	140	325	160	375	40	100	C4-325
B	1	SG3C-72/2000	72,5	2000	140	325	160	375	40	100	C4-325
		SG3C-72/2750	72,5	2750	140	325	160	375	40	100	C4-325
		SG3C-123/1600	123	1600	230	550	265	635	40	100	C4-550
	2	SG3C-123/2000	123	2000	230	550	265	635	40	100	C4-550
		SG3C-123/2750	123	2750	230	550	265	635	40	100	C4-550
		SG3CP-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
	3	SG3CPT-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		SG3CPT-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
		SG3C-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
	4	SG3C-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		SG3C-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
		SG3C-145/2000	145	2000	275	650	315	750	40	100	C4-650
C	1	SG3CPT-145/2000	145	2000	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SG3CPT-170/2000	170	2000	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SG3CPT-245/1600	245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
	2	SG3C-245/1600	245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		SG3C-245/2000	245	2000	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		SG3C-245/2750	245	2750	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
	3	SG3C-170/1600	170	1600	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SG3C-170/2000	170	2000	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SG3C-170/2750	170	2750	325	750	375	860	40	100	C4-750
	4	SG3C-245/1600	245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		SG3C-245/2000	245	2000	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		SG3C-245/2750	245	2750	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050

Figura 19. Gama de seccionadores SG3C del fabricante MESA

2.4.4 TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

Para la correcta selección de los transformadores se deben seguir los siguientes pasos:

- Elegir la intensidad primaria nominal, escogiendo el valor normalizado inmediatamente mayor al que se desea medir.
Intensidad primaria nominal (A): 10–12,5–15–20–25–30–40–50–60–75 además de sus múltiplos y submúltiplos decimales.
- Elegir la intensidad secundaria nominal en función de la distancia entre los equipos de medida y el transformador, pudiendo ser 1 o 5 A.

- Establecer el número de núcleos secundarios para medida y protección, con sus correspondientes clases de precisión y potencias de precisión según norma UNE-EN 60044-1.
- Para los núcleos secundarios que se vayan a utilizar para medida se establece la clase de precisión acorde con el “Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico español” según la siguiente tabla, y se escoge un factor de seguridad adecuado.

Tipo de punto	Clase de precisión			
	Transformadores		Contadores	
	Tensión	Intensidad	Activa	Reactiva
1	0,2	0,2 S	$\leq 0,2$ S	$\leq 0,5$
2	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$ S	$\leq C$	≤ 1
3	≤ 1	≤ 1	$\leq B$	≤ 2
4	≤ 1	≤ 1	$\leq B$	≤ 2
5			$\leq A$	≤ 3

Figura 20. Clase de precisión para transformadores de intensidad según UNE-EN 60044-1

- La clase de precisión para los núcleos cuya finalidad sea de protección se establece según norma en la siguiente tabla.

Clase de precisión	Error de relación en % para la intensidad nominal	Error de fase en minutos para la intensidad nominal	Error compuesto en % para la intensidad límite de precisión
5 P	± 1	± 60	5
10 P	+ 3	--	10

Figura 21. Clase de precisión para transformadores de intensidad para protección según norma

- La carga que presenten los núcleos secundarios determinará la potencia de precisión del transformador, teniendo en cuenta los consumos de las bobinas amperimétricas usuales según se indica en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Consumo de algunos aparatos alimentadores por TI	
Aparato	VA a In.
Amperímetros	
Indicadores	0,25 a 2
Registradores	1,5 a 9
Contadores	0,5 a 3
Vatímetros	
Indicadores	1 a 3
Registradores	1,5 a 8
Fasímetros	
Indicadores	2 a 6
Registradores	6 a 12
Maxímetros	3
Convertidores de potencia	3 a 6
Relés	
de sobreintensidad, de tiempo inver.	5 a 8
de sobreintensidad, temporizados	1 a 5
de sobreintensidad, instantáneos	1 a 10
direccionales	1,5 a 10
de potencia, temporizados	1,5 a 3
diferenciales	3 a 12
de distancia	6 a 20
Reguladores	10 a 150

Figura 22. Consumos habituales en los núcleos secundarios de los TIs (Arteche)

- Identificar las intensidades límite térmica y dinámica.

- La intensidad límite térmica se calcula como:

$$I_{term} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} * U}$$

- La intensidad límite dinámica se calcula a partir de la anterior como:

$$I_{din} = 1,8 * \sqrt{2} * I_{term}$$

2.4.4.1 Transformadores de intensidad para el nivel de 400 kV

La bahía de 400 kV de la instalación presenta una intensidad nominal de 577 A y una intensidad de cortocircuito de 50 kA.

Para el transformador de intensidad de esta línea se escogería entonces una intensidad primaria nominal de 750 A, ya que 600 A podría ser un valor muy justo. Pero se utiliza el valor normalizado por REE de 1000/2000 A para que el sistema de medida comprobante sea el mismo que el utilizado por REE para la medida fiscal. Para la intensidad secundaria nominal se establece el valor de 5 A, al considerarse pequeña la distancia entre el

transformador y los equipos de medida. Se comprueba que el valor de la corriente nominal no está por debajo del 20% del valor del aparato de medida acorde con los especificado en el Reglamento de puntos de medida.

El número de núcleos secundarios del transformador será de 5, siendo 1 de ellos para medida, 1 para medida y protección, y 3 para protección. Para definir la clase de precisión acorde con el reglamento de puntos de medida se define el punto de medida como “tipo 1” debido a la potencia de la instalación, por lo que la clase correspondiente es 0,2S. Para los núcleos secundarios de protección se establece una clase de precisión de 5P20.

Las intensidades límite térmica y dinámica serán:

$$I_{term} = 50 \text{ kA} \quad I_{din} = 1,8 * \sqrt{2} * I_{term} = 127,28 \text{ kA}$$

Una establecidos los valores necesarios se escoge el transformador adecuado de la gama CA del fabricante ARTECHE: CA-420, comprobándose que todos los valores de sobretensiones y línea de fuga están de acuerdo con los establecido en Reglamento de Alta de Tensión.

Aislamiento de papel-aceite > Modelo CA									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1350	1750	220
CA-52	52	95	250	-	1300	350	1350	1750	220
CA-72	72.5	140	325	-	1825	350	1350	1750	220
CA-100	100	185	450	-	2500	350	1350	1750	220
CA-123	123	230	550	-	3075	350	1785	2230	265
CA-145	145	275	650	-	3625	350	1785	2230	265
CA-170	170	325	750	-	4250	350	1945	2390	305
CA-245	245	460	1050	-	6125	350	2590	2975	375
		395	950						
CA-300	300	460	1050	850	7500	450	3070	3455	600
CA-362	362	510	1175	950	9050	600	4015	4495	1090
CA-420	420	630	1425	1050	10500	600	4015	4495	1090
CA-525	550	575	1300	1175	13125	600	4525	5195	1150
		680	1550						
CA-550	550	800	1800	1175	13750	600	5205	5960	1700
		880	1950	1425	15300	600	5720	6650	2250
CA-765	800	975	2100	1550					

Figura 23. Gama de transformadores de intensidad CA del fabricante Artech

Se resumen las características del transformador elegido en el documento de memoria, en el apartado 2.3.3.3.1.

2.4.4.2 Transformadores de intensidad para el nivel de 132 kV

En el nivel de 132 kV hay que distinguir entre la línea de la bahía de transformador y las dos líneas provenientes de la generación ya que, a pesar de tener el mismo nivel de tensión presentan intensidades distintas.

La línea de la bahía de transformador presenta una intensidad de 1750 A, por lo que se escogerá una intensidad primaria nominal de 2000 A. El transformador de esta posición tendrá 4 núcleos secundarios, 2 para medida y 2 para protección. Para definir la clase de precisión acorde con el reglamento de puntos de medida se define el punto de medida como

“tipo 1” debido a la potencia de la instalación, por lo que la clase correspondiente es 0,2S. Para los núcleos secundarios de protección se establece una clase de precisión de 5P20.

Por otra parte, las líneas provenientes de la generación presentan una intensidad de 875 A, por lo que se escogerá una intensidad primaria nominal de 1000 A. Para estas posiciones se instalarán transformadores de 3 núcleos, 1 para medida y 2 para protección. Del mismo modo que para la posición de transformador se establecen una clase de precisión de 0,2S para medida y de 5P20 para protección.

La intensidad nominal secundaria será la mismas para los transformadores en ambas posiciones, y será de 5 A al considerarse pequeña la distancia entre el transformador y los equipos de medida.

Por último, dado que están a la misma tensión, la intensidad de cortocircuito será la misma para las dos posiciones, siendo esta de 31,5 kA. Se calculan así las mismas intensidades límite térmica y dinámica para las dos posiciones.

$$I_{term} = 31,5 \text{ kA} \quad I_{din} = 1,8 * \sqrt{2} * I_{term} = 80,186 \text{ kA}$$

Una establecidos los valores necesarios se escoge el transformador adecuado de la gama CA del fabricante ARTECHE: CA-145, comprobándose que todos los valores de sobretensiones y línea de fuga están de acuerdo con los establecido en Reglamento de Alta de Tensión.

Aislamiento de papel-aceite > Modelo CA									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1350	1750	220
CA-52	52	95	250	-	1300	350	1350	1750	220
CA-72	72.5	140	325	-	1825	350	1350	1750	220
CA-100	100	185	450	-	2500	350	1350	1750	220
CA-123	123	230	550	-	3075	350	1785	2230	265
CA-145	145	275	650	-	3625	350	1785	2230	265
CA-170	170	325	750	-	4250	350	1945	2390	305
CA-245	245	460	1050	-	6125	350	2590	2975	375
		395	950						
CA-300	300	460	1050	850	7500	450	3070	3455	600
CA-362	362	510	1175	950	9050	600	4015	4495	1090
		630	1425						
CA-420	420	575	1300	1050	10500	600	4015	4495	1090
CA-525	550	680	1550	1175	13125	600	4525	5195	1150
CA-550	550	800	1800	1175	13750	600	5205	5960	1700
		880	1950						
CA-765	800	975	2100	1550	15300	600	5720	6650	2250

Figura 24. Gama de transformadores de intensidad CA del fabricante Artech

Se resumen las características de los transformadores elegidos en el documento de memoria, en el apartado 2.3.3.3.2.

2.4.5 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Para la correcta selección de los transformadores se deben seguir los siguientes pasos:

- Elegir la tensión primaria nominal, escogiendo el valor normalizado de los siguientes.

Tensión primaria nominal (V): 110-220-385-440-2200-3300-5500-6600-11000-13200-22000-27500-33000-44000-55000-66000-110000-132000-220000-396000

En caso de que la conexión sea fase-tierra se usan los mismos valores, pero divididos entre $\sqrt{3}$.

- Elegir la tensión secundaria nominal, que será de 110 V para conexión entre fases y de $110/\sqrt{3}$ para conexión fase-tierra.
- Determinar el factor de tensión: relación entre la tensión máxima y la tensión primaria nominal para la que se asegura que el transformador cumplirá con su clase de precisión. Se establece según norma acorde con la siguiente tabla.

Factor de tensión	Tiempo asignado	Forma de conexión del arrollamiento primario y condiciones de puesta a tierra
1,2	Continuo	Entre fases en una red cualquiera Entre el punto neutro de los transformadores en estrella y tierra en cualquier red
1,2	Continuo	Entre fases y tierra, en una red con neutro efectivamente puesto a tierra
1,5	30 s	
1,2	Continuo	Entre fase y tierra, en una red con neutro no efectivamente puesto a tierra con eliminación automática del defecto a tierra
1,9	30 s	
1,2	Continuo	Entre fases y tierra. En una red con neutro aislado, sin eliminación automática del defecto a tierra o en una red compensada por bobina de extinción, sin eliminación automática del defecto a tierra
1,9	8 h	

Figura 25. Factor de tensión para los transformadores de tensión según norma

- Establecer el número de núcleos secundarios para medida y protección, con sus correspondientes clases de precisión y potencias de precisión según norma UNE-EN 60044-1.
 - Para los núcleos secundarios que se vayan a utilizar para medida se establece la clase de precisión acorde con el “Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico español” según la siguiente tabla, y se escoge un factor de seguridad adecuado.

Tipo de punto	Clase de precisión			
	Transformadores		Contadores	
	Tensión	Intensidad	Activa	Reactiva
1	0,2	0,2 S	$\leq 0,2$ S	$\leq 0,5$
2	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$ S	$\leq C$	≤ 1
3	≤ 1	≤ 1	$\leq B$	≤ 2
4	≤ 1	≤ 1	$\leq B$	≤ 2
5			$\leq A$	≤ 3

Figura 26. Clase de precisión para los transformadores de tensión según UNE-EN 60044-1

- La clase de precisión para los núcleos cuya finalidad sea de protección se establece según norma en la siguiente tabla.

Clases de protección	Error de tensión (relación) en $\pm$ %, para los valores de tensión en % de la tensión asignada				Desfase en $\pm$ para los valores de tensión en % de la tensión asignada							
					Minutos				Centirradiantes			
	2	5	100	X	2	5	100	X	2	5	100	X
3P	6,0	3,0	3,0	3,0	240	120	120	120	7,0	3,5	3,5	3,5
6P	12,0	6,0	6,0	6,0	480	240	240	240	14,0	7,0	7,0	7,0

Figura 27. Clase de precisión para transformadores de tensión para protección según norma

- La carga que presenten los núcleos secundarios determinará la potencia de precisión del transformador, teniendo en cuenta los consumos de las bobinas amperimétricas usuales según se indica en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Consumo de algunos aparatos alimentados por TT			
Aparatos	Consumo aproximado en VA		
Voltímetros		Frecuencímetros	
indicadores	2 - 6	indicadores	1 - 5
registradores	10 - 25	registradores	10 - 15
de nulo	5 - 20	Relés	
Vatímetros		de máxima tensión	10 - 15
indicadores	1 - 4	temporizados de máxima tensión o de intensidad	25 - 35
registradores	3 - 15	selectivos	2 - 10
Fasímetros		direccionales	25 - 40
indicadores	4 - 5	de mínima tensión	5 - 15
registradores	15 - 20	de contacto a tierra	10 - 30
Contadores	3 - 5	de distancia	10 - 30
Frecuencímetros		Sincronoscopios	6 - 15
		Reguladores de tensión	30 - 50

Figura 28. Consumos habituales en los núcleos secundarios de los TTs (Arteche)

La potencia de precisión resultante se ajusta a los valores normalizados ($\cos\phi=0,8$):

10-15-25-30-50-75-100-150-200-300-400-500 VA

2.4.5.1 Transformadores de tensión para el nivel de 400 kV

El transformador de este nivel presenta una tensión de red de 400 kV, y dado que va a estar conectado entre fase y tierra se elegirá una tensión primaria nominal de $396000/\sqrt{3}$ y una tensión secundaria nominal de $110/\sqrt{3}$.

El número de núcleos secundarios del transformador será de 3, siendo 1 de ellos para medida y 2 para protección. Para definir la clase de precisión acorde con el reglamento de puntos de medida se define el punto de medida como “tipo 1” debido a la potencia de la instalación, por lo que la clase correspondiente es 0,2. Para los núcleos secundarios de protección se establece una clase de precisión de 3P.

Para definir el factor de tensión se tiene en cuenta que el arrollamiento primario estará conectado entre fase y tierra, y que la red se encuentra con el neutro puesto rígidamente a tierra. Por tanto, según norma se establece factor de tensión nominal de 1,2 en servicio continuo y de 1,5 para un máximo de 30 segundos.

Una establecidos los valores necesarios se escoge el transformador adecuado de la gama UT del fabricante ARTECHE: UTF-420, comprobándose que todos los valores de sobretensiones y línea de fuga están de acuerdo con los establecido en Reglamento de Alta de Tensión.

Aislamiento de papel-aceite > Modelo UT									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UTB-52	52	95	250	-	1500	1300	350x350	1385	100
UTD-52	52	95	250	-	2000	1300	350x350	1470	150
UTB-72	72.5	140	325	-	1500	1825	350x350	1385	100
UTD-72	72.5	140	325	-	2000	1825	350x350	1470	150
UTE-72	72.5	140	325	-	2500	1825	350x475	1760	255
UTE-100	100	185	450	-	2000	2500	350x475	1760	255
UTD-123	123	230	550	-	3000	3075	350x475	2160	300
UTE-123	123	230	550	-	3500	3075	350x475	2160	310
UTE-145	145	275	650	-	3500	3625	350x475	2160	310
UTE-170	170	325	750	-	3500	4250	350x475	2320	350
UTF-245	245	460	1050	-	3500	6125	450x450	3182	510
		395	950						
UTG-245	245	460	1050	-	3500	6125	500x640	3655	810
		395	950						
UTG-300	300	460	1050	850	3500	7500	500x640	3655	810
UTF-420	420	630	1425	1050	3500	10500	600x600	5300	1300
		575	1300						
UTF-525	550 (525)	680	1550	1175	3500	13125	600x600	6220	1630

Figura 29. Gama de transformadores de tensión UT del fabricante Arteche

Se resumen las características de el transformador elegido en el documento de memoria, en el apartado 2.3.3.4.1.

2.4.5.2 Transformadores de tensión para el nivel de 132 kV

Se necesita un transformador para cada línea de entrada con las mismas características para la tensión de 132 kV. Como van a estar conectados entre fase y tierra se elegirá una tensión primaria nominal de $132000/\sqrt{3}$ y una tensión secundaria nomina de $110/\sqrt{3}$.

El número de núcleos secundarios de los transformadores será de 3, siendo 1 de ellos para medida y 2 para protección. Para definir la clase de precisión acorde con el reglamento de puntos de medida se define el punto de medida como “tipo 1” debido a la potencia de la

instalación, por lo que la clase correspondiente es 0,2. Para los núcleos secundarios de protección se establece una clase de precisión de 3P.

Para definir el factor de tensión se tiene en cuenta que el arrollamiento primario estará conectado entre fase y tierra, y que la red se encuentra con el neutro puesto rígidamente a tierra. Por tanto, según norma se establece factor de tensión nominal de 1,2 en servicio continuo y de 1,5 para un máximo de 30 segundos.

Una establecidos los valores necesarios se escoge el transformador adecuado de la gama UT del fabricante ARTECHE: UTE-145, comprobándose que todos los valores de sobretensiones y línea de fuga están de acuerdo con los establecido en Reglamento de Alta de Tensión.

Aislamiento de papel-aceite > Modelo UT									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (BIL) (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UTB-52	52	95	250	-	1500	1300	350x350	1385	100
UTD-52	52	95	250	-	2000	1300	350x350	1470	150
UTB-72	72.5	140	325	-	1500	1825	350x350	1385	100
UTD-72	72.5	140	325	-	2000	1825	350x350	1470	150
UTE-72	72.5	140	325	-	2500	1825	350x475	1760	255
UTE-100	100	185	450	-	2000	2500	350x475	1760	255
UTD-123	123	230	550	-	3000	3075	350x475	2160	300
UTE-123	123	230	550	-	3500	3075	350x475	2160	310
UTE-145	145	275	650	-	3500	3625	350x475	2160	310
UTE-170	170	325	750	-	3500	4250	350x475	2320	350
UTF-245	245	460	1050	-	3500	6125	450x450	3182	510
		395	950						
UTG-245	245	460	1050	-	3500	6125	500x640	3655	810
		395	950						
UTG-300	300	460	1050	850	3500	7500	500x640	3655	810
UTF-420	420	630	1425	1050	3500	10500	600x600	5300	1300
		575	1300	950					
UTF-525	550 (525)	680	1550	1175	3500	13125	600x600	6220	1630

Figura 30. Gama de transformadores de intensidad CA del fabricante Artech

Se resumen las características de el transformador elegido en el documento de memoria, en el apartado 2.3.3.4.2.

DOCUMENTO 3:

PRESUPUESTO

Índice

Capítulo 1. Presupuesto de la instalación	2
1.1 Obra civil y red de tierras.....	2
1.1.1 Movimiento de tierras	2
1.1.2 Edificio prefabricado de hormigón.....	3
1.1.3 Cimentaciones y conductores de cables.....	3
1.1.4 Red de drenaje, aguas negras y otros servicios.....	7
1.1.5 Red de tierras	8
1.1.6 Viales y cerramientos.....	8
1.2 Estructura metálica.....	9
1.3 Instalación alumbrado exterior.....	11
1.4 Obra electromecánica.....	11
1.5 Protección, control y medida	14
1.6 Resumen del presupuesto.....	16

Capítulo 1. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

Se ordenarán los costes en función de su tipología, realizando una descripción del elemento en cuestión con su precio unitario y la cantidad necesaria de dicho elemento, siguiendo la siguiente estructura.

Código	NatC.	Ud.	Resumen	Cantidad	Precio unit.	Importe total
--------	-------	-----	---------	----------	--------------	---------------

1.1 OBRA CIVIL Y RED DE TIERRAS

1.1	Capítulo		OBRA CIVIL Y RED DE TIERRAS	1,00	808.405,65	808.405,65
-----	----------	--	-----------------------------	------	------------	------------

1.1.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

1.1.1	Capítulo		MOVIMIENTO DE TIERRAS	1,00	101.354,75	101.354,75
1.1.1.1	Partida	m2	Acondicionamiento de parcela	9.870,00	9,15	90.310,50
			Acondicionamiento de parcela hasta cota de explanación, incluyendo: - Desbroce y limpieza superficial del terreno - Transporte de tierras a vertedero. - Suministro, extendido y compactado de zahorra artificial en capas de no más de 30cm hasta alcanzar cota de explanación.			
1.1.1.2	Partida	m3	Relleno y extendido gravas	6.311,00	1,75	11.044,25
			Relleno de grava de granulometría aproximada 18-25 mm. y 10 cm de espesor con objeto de aumentar la resistividad superficial del terreno para controlar los gradientes de tensión en la superficie en caso de falta a tierra.			
			Total 1.1.1	1,00	101.354,75	101.354,75

1.1.2 EDIFICIO PREFABRICADO DE HORMIGÓN

1.1.2	Capítulo		EDIFICIO PREFABRICADO DE HORMIGÓN	1,00	423.595,00	423.595,00
1.1.2.1	Partida	Ud	Edificio prefabricado de hormigón	1,00	423.595,00	423.595,00
			Edificio de celdas prefabricado, construido in situ, de dimensiones exteriores 44,5 x 11 m., altura interior de 3,5 m., cota interior de las salas de +0,85 m. sobre el nivel del terreno, contemplando: - Cerramiento a base de paneles prefabricados portantes aligerados de hormigón armado de 20 cm. de espesor. - Forjado prefabricado de losas de hormigón armado o pretensado de 15 cm. de espesor. - Diafragmas de hormigón prefabricado con huecos para el paso de cables. - Solera de hormigón armado sobre la que apoyan los diafragmas. - Paneles prefabricados de hormigón medianeros de 12 cm. de espesor. - 4 puertas de chapa de acero galvanizado con dos hojas abatibles de 3x2,4 m., con puerta integrada para el paso de personal de 2,10x1 m. - 2 puertas de chapa de acero galvanizado de 2,10x1 m para acceso a cocina y aseos - 4 puertas interiores del edificio de 2,10x0.8m y una de 2,10x1m - Escaleras de acceso en hormigón armado. - Barandillas metálicas desmontables. - Acerado perimetral - Instalación de alumbrado, fuerza, climatización, instalación sistema contra incendios, incluso p.p. de pequeño material y medios auxiliares - Vestuarios/aseos: sanitarios, lavabo y pie de ducha. - Cocina equipada con frigorífico, vitrocerámica, microondas, campana extractora y fregadero. Incluyendo excavación del terreno, nivelado, i/p.p. de remates, pequeño material, y medios auxiliares, totalmente acabado.			
			Total 1.1.2	1,00	423.595,00	423.595,00

1.1.3 CIMENTACIONES Y CONDUCTORES DE CABLES

1.1.3	Capítulo		CIMENTACIONES Y CONDUCTOS DE CABLES	1,00	127.318,55	127.318,55
1.1.3.1	Partida	ml	Atarjea simple	230,30	70,50	16.236,15

			Canalización simple prefabricada tipo subestación, de detalle y dimensiones especificadas en planos adjuntos sobre canalillo de drenaje compuesto por tubo de drenaje de PVC sobre cama de mortero de cemento, incluso excavación por medios mecánicos, totalmente terminada.			
1.1.3.2	Partida	ml	Atarjea simple reforzada	8,00	93,20	745,60
			Canalización simple reforzada prefabricada tipo subestación, de detalle y dimensiones especificadas en planos adjuntos sobre canalillo de drenaje compuesto por tubo de drenaje de PVC sobre cama de mortero de cemento, incluso excavación por medios mecánicos, totalmente terminada.			
1.1.3.3	Partida	ml	Atarjea doble	35,35	110,45	3.904,41
			Canalización doble prefabricada tipo subestación, de detalle y dimensiones especificadas en planos adjuntos sobre canalillo de drenaje compuesto por tubo de drenaje de PVC sobre cama de mortero de cemento, incluso excavación por medios mecánicos, totalmente terminada.			
1.1.3.4	Partida	ml	Atarjea doble reforzada	8,00	175,21	1.401,68
			Canalización doble reforzada tipo subestación, de dimensiones especificadas en planos adjuntos sobre canalillo de drenaje compuesto por tubo de drenaje de PVC sobre cama de mortero de cemento, incluso excavación por medios mecánicos, totalmente terminada.			
1.1.3.5	Partida	ml	Atarjea triple	55,00	210,00	11.550,00
			Canalización triple prefabricada tipo subestación, de dimensiones especificadas en planos adjuntos sobre canalillo de drenaje compuesto por tubo de drenaje de PVC sobre cama de mortero de cemento, incluso excavación por medios mecánicos, totalmente terminada.			
1.1.3.6	Partida	Ud	Bancada de autotrafo	1,00	55.110,00	55.110,00
			Bancada para autotrafo de 400MVA realizada en hormigón HA-250 de las dimensiones especificadas en planos, con las pendiente adecuadas para la recogida de las posibles perdidas de aceite del trafo, conectada con el deposito de recogida de aceite existente en la subestación, incluso excavación de la misma, rejillas galvanizadas de tramex, incluso instalación de argollas de tiro, hormigonado de railes y p.p. de pequeño material, totalmente terminada.			
1.1.3.7	Partida	Ud	Cimentación de trafo SSAA	1,00	650,00	650,00
			Cimentación para estructura metálica soporte de trafo SSAA de 100 kVA por fase, realizada en hormigón de las dimensiones especificadas en planos, con cubeto de recogida de aceite, incluso excavación de la misma por medios mecánicos, incluso p.p. de pequeño material, totalmente terminada.			

1.1.3.8	Partida	Ud	Plataforma Grupo Electrónico	1,00	350,00	350,00
			Plataforma de hormigón para grupo eléctrico de 250 kVA, con hormigón en masa tipo HM-20, incluso p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.9	Partida	Ud	Cimentación soporte T/t 132 kV	9,00	150,00	1.350,00
			Cimentación para soporte 1 transformador de tensión 132 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.10	Partida	Ud	Cimentación soporte seccionador 132kV	5,00	350,00	1.750,00
			Cimentación para soporte seccionador tripolar de columna giratoria con puesta a tierra 132 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.11	Partida	Ud	Cimentación soporte T/i	9,00	350,00	3.150,00
			Cimentación para soporte transformador de intensidad 132 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.12	Partida	Ud	Cimentación soporte interruptor 132 kV	3,00	350,00	1.050,00
			Cimentación para soporte 3 interruptores 132 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.13	Partida	Ud	Cimentación soporte autovalvulas 132 kV	3,00	350,00	1.050,00
			Cimentación para soporte 3 pararrayos autovalvulares 132 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.14	Partida	Ud	Cimentación Columna alumbrado	27,00	350,00	9.450,00
			Cimentación columna de alumbrado, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso p.p. de arquetas de alumbrado, excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.15	Partida	Ud	Cimentación soporte T/t 400 kV	3,00	400,00	1.200,00

			Cimentación para soporte transformador de tensión 400 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.16	Partida	Ud	Cimentación soporte Interruptor 400 kV	3,00	400,00	1.200,00
			Cimentación para soporte interruptor 400 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.17	Partida	Ud	Cimentación soporte seccionador 400 kV	1,00	400,00	400,00
			Cimentación para soporte seccionador 400 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.18	Partida	Ud	Cimentación soporte T/i 400 kV	3,00	400,00	1.200,00
			Cimentación para soporte transformador de intensidad 400 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.19	Partida	Ud	Cimentación soporte Autoválvula 400 kV	6,00	400,00	2.400,00
			Cimentación para soporte autoválvula 400 kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.20	Partida	Ud	Cimentación soporte Pórtico	1,00	600,00	600,00
			Cimentación para pórtico de salida de línea de 400kV, con hormigón en masa tipo HM-20 vibrado, incluso excavación con medios mecánicos, pernos de anclaje y p.p. de pequeño material, tal y como se indica en los planos.			
1.1.3.21	Partida	Ud	Arqueta de entrada/salida de aceite	1,00	125,00	125,00
			Ejecución de arqueta de entrada/salida de aceite, solera de hormigón HM20, los alzados ejecutados en tabique de ladrillo macizo de ½ pie o de hormigón armado HA25, el enfoscado interior, la embocadura de las tuberías afectadas, el marco y tapa metálica con su puesta a tierra completa. Suministro y colocación. Unidad completamente terminada.			
1.1.3.22	Partida	Ud	Arqueta de paso de aceite	1,00	66,85	66,85

			Ejecución de arqueta de paso de aceite, solera de hormigón HM20, los alzados ejecutados en tabique de ladrillo macizo de ½ pie o de hormigón armado HA25, el enfoscado interior, la embocadura de las tuberías afectadas, el marco y tapa metálica con su puesta a tierra completa. Suministro y colocación. Unidad completamente terminada.			
1.1.3.23	Partida	Ud	Tubería GLASSIDUR 110 mm con hormigón	470,50	26,31	12.378,86
			Tubería de polietileno tipo GLASSIDUR de 110 mm. diámetro y 3,2 mm de espesor, para canalizaciones de cables, incluido excavación, recubrimiento con hormigón de 5 cm. de espesor, recibido en tubos de galería, codos y su posterior relleno y compactado del terreno y retirada de material sobrante a vertedero autorizado fuera de la obra hasta 40 km de distancia. Suministro y colocación. Completamente terminado.			
			Total 1.1.3	1,00	127.318,55	127.318,55

1.1.4 RED DE DRENAJE, AGUAS NEGRAS Y OTROS SERVICIOS

1.1.4	Capítulo		RED DE DRENAJE, AGUAS NEGRAS Y OTROS SERVICIOS	1,00	37.500,00	37.500,00
1.1.4.1	Partida		Partida alzada de instalación de drenaje en ST	1,00	31.500,00	31.500,00
			Partida alzada de instalación de drenaje, aguas negras y otros servicios, contemplando Zanjás-dren Glassidren, lámina geotextil alrededor gravilla, colector polietileno doble pared, colector de fundición, arquetas de drenaje, pozos para colectores 1x2m, Receptor de emergencia DPRFV 150m3, incluso excavación por medios mecánicos para receptor de emergencia, losa de hormigón para anclaje de receptor, delimitación del mismo mediante balizas de poliéster y pruebas de estanqueidad a receptores de aceite.			
1.1.4.2	Partida		Depósito de agua 5m3	1,00	2.200,00	2.200,00
			Depósito cilíndrico horizontal con tapa de 5000 litros de capacidad conformado en poliéster reforzado con fibra de vidrio, de diámetro 1600mm. y de altura 2600mm., con las siguientes características: sin mantenimiento, resistentes a la corrosión, agentes atmosféricos, torsión, impactos, tracción, ácidos, álcalis y a fuertes temperaturas (de -40°C a +100°C), incluso excavación por medios mecánicos. Totalmente instalado			
1.1.4.3	Partida		Fosa séptica 5 m3	1,00	3.800,00	3.800,00

			Fosa séptica fabricada en poliéster reforzado con fibra de vidrio, con una capacidad de 5150 L, diámetro 4080 mm., y una longitud de 1300 mm, incluso excavación por medios mecánicos. Totalmente instalado.			
			Total 1.1.4	1,00	37.500,00	37.500,00

1.1.5 RED DE TIERRAS

1.1.5	Capítulo		RED DE TIERRAS	1,00	86.279,35	86.279,35
1.1.5.1	Partida	mL	Tendido cable cobre y excavación 0,40x0,60 m.	3.452,00	21,20	73.182,40
			Conductor de cobre desnudo de 185mm ² de sección, grapas de enlace con tierra de tubo con cable, soldaduras "Caldweld" de unión de cables de cobre, p.p. de picas de acero según NI 50.26.01 y de pequeño material accesorio, incluso p.p. de zanja normalizada tal y como se refleja en planos, totalmente instalada y terminada.			
1.1.5.2	Partida	Ud	Caldweld	284,00	11,63	3.302,92
			Soldadura Cadweld en cruces o derivaciones de la malla de tierra, incluido manipulación del cable, corte, etc.			
1.1.5.3	Partida	Ud	Terminales P.a.T. zanja 40x60 cm =<4 m.	135,00	47,33	6.389,55
			Terminales de P.a.T. Incluye apertura en zanja hasta 4m de longitud en sección de 40x60cm, tendido del cobre, tapado y compactación de las tierras procedentes de la excavación, hasta conseguir el 95% del E.P.M. NOTA:			
1.1.5.4	Partida	Ud	Grapas P. a T. a postes cerramiento	149,00	20,08	2.991,92
			Grapas de unión de la red de P.a.T., a los postes metálicos del cerramiento.			
1.1.5.5	Partida	Ud	Pica bimetálica 2,00 m.	24,00	17,19	412,56
			pica bimetálica de 2,00 m de longitud con conexión del cable con grapa, etc.			
			Total 1.1.5	1,00	86.279,35	86.279,35

1.1.6 VIALES Y CERRAMIENTOS

1.1.6	Capítulo		VIALES Y CERRAMIENTOS	1,00	32.358,00	32.358,00
1.1.6.1	Partida	ml	Cerramiento exterior de ST	358,00	61,00	21.838,00

			Cerramiento exterior de la ST formada por postecillos metálicos y malla galvanizada de 2,40 m de altura, totalmente terminados, incluso p.p. de pequeño material.			
1.1.6.2	Partida	ud	Cerramiento desmontable	10,00	110,00	1.100,00
			Cerramiento desmontable de valla de simple torsión de las mismas características que el resto de cerramiento, incluso cimentaciones, postes metálicos y pequeño material. Totalmente terminado.			
1.1.6.3	Partida	ud	Puertas de acceso ST	1,00	7.120,00	7.120,00
			Puerta de acceso de vehículos compuesta por puerta abatible de 3,7 metros. Puerta peatonal de 1,1 metros, incluso cimentaciones, postes metálicos, recibido de guía de puerta corredera y pequeño material. Totalmente terminado.			
1.1.6.4	Partida	ml	Vial principal hormigón	115,00	20,00	2.300,00
			Vial principal realizado en hormigón armado de 8 m de anchura y ensanchamiento en zona de entrada y aparcamientos. Formado por una capa de sub-base granular, zahorras artificiales mínimo 0,15 cm, con un mínimo de 0,20 cm de pavimento de hormigón H-250 y armadura doble de ME 15x15 D=10-10, totalmente terminado, incluso p.p. de pequeño material.			
			Total 1.1.6	1,00	32.358,00	32.358,00

1.2 ESTRUCTURA METÁLICA

1.2	Capítulo		ESTRUCTURA METALICA	1,00	86.844,98	86.844,98
1.2.1	Partida	Ud	Pórtico 400kV	1,00	4.230,00	4.230,00
			Estructura de pórtico formada por dos columnas en forma de "V" que formarán el pórtico y una viga para amarre de dicha línea.			
1.2.2	Partida	Ud	Estructura soporte T/t 400 kV	3,00	3.350,00	10.050,00
			Estructura soporte para transformadores de tensión de 400 kV, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.3	Partida	Ud	Estructura soporte seccionador 400kV	1,00	3.000,00	3.000,00

			Estructura soporte para seccionador rotativo de columnas con sistema de p.a.t., incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material. Totalmente terminado y nivelado.			
1.2.4	Partida	Ud	Estructura soporte Interruptor 400kV	3,00	2.600,00	7.800,00
			Estructura de interruptor 400 kV, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.5	Partida	Ud	Estructura soporte T/i 400kV	3,00	3.600,00	10.800,00
			Estructura soporte para transformadores de intensidad de 400 kV, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.6	Partida	Ud	Estructura soporte autoválvulas 400kV	2,00	483,18	966,36
			Estructura soporte 3 autoválvulas de 400kV, incluso placa de anclaje, p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.7	Partida	Ud	Estructura soporte autoválvulas 132kV	9,00	483,18	4.348,62
			Estructura soporte autoválvulas de 132kV, incluso placa de anclaje, p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.8	Partida	Ud	Estructura soporte Interruptor 132kV	3,00	2.100,00	6.300,00
			Estructura de interruptor 132 kV, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.9	Partida	Ud	Estructura soporte T/i 132kV	3,00	2.750,00	8.250,00
			Estructura soporte para 3 transformadores de intensidad de 132 kV, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material, totalmente terminado y nivelado.			
1.2.10	Partida	Ud	Estructura soporte seccionador 132kV	5,00	2.200,00	11.000,00
			Estructura soporte para seccionador de columnas giratorias, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material. Totalmente terminado y nivelado.			
1.2.11	Partida	Ud	Estructura soporte 3 T/t 132 kV	3,00	6.200,00	18.600,00
			Estructura soporte para 3 Transformadores de tensión, incluso placa de anclaje y p.p. de pequeño material. Totalmente terminado y nivelado.			
1.2.12	Partida	Ud	Soporte metálico Transformador SSAA	1,00	1.500,00	1.500,00

			Soporte metálico, realizado en acero galvanizado para colocación de transformador de servicios auxiliares de 100 kVA por fase en exterior, incluso p.p. pequeño material; totalmente terminado y nivelado.			
			Total 1.2	1,00	86.844,98	86.844,98

1.3 INSTALACIÓN ALUMBRADO EXTERIOR

1.3	Capítulo		INSTALACIÓN ALUMBRADO EXTERIOR	1,00	24.285,00	24.285,00
1.3.1	Partida	Ud	Columna Alumbrado	27,00	590,00	15.930,00
			Suministro, acopio e instalación de columna para alumbrado exterior de acero galvanizado, 5 metros de altura y fuste troncocónico, incluso p.p. pequeño material. Totalmente instalado.			
1.3.2	Partida	Ud	Proyector Led	30,00	200,00	6.000,00
			Suministro, acopio e instalación de proyector led de 92W para alumbrado exterior tipo Indio-led asimétrico de la marca Disano o similar, incluso p.p. pequeño material, cableado y conexionado. Totalmente instalado.			
1.3.3	Partida	Ud	Luminaria Led	14,00	120,00	1.680,00
			Suministro, acopio e instalación de luminaria led de 94W para alumbrado exterior tipo Brera-1-Led-Vial de la marca Disano o similar, incluso p.p. pequeño material, cableado y conexionado. Totalmente instalado.			
1.3.4	Partida	Ud	Luminaria de emergencia	27,00	25,00	675,00
			Suministro, acopio e instalación de luminaria led 24W para alumbrado de emergencia exterior tipo Safety de la marca Disano o similar, incluso p.p. pequeño material, cableado y conexionado. Totalmente instalado.			
			Total 1.3	1,00	24.285,00	24.285,00

1.4 OBRA ELECTROMECAÁNICA

1.4	Capítulo		OBRA ELECTROMECAÁNICA	1,00	1.682.442,39	1.682.442,39
1.4.1	Partida	ml	Conductor Al, tipo Gladiolus, ø46,3mm, 765,4 mm ²	78,00	8,22	641,16

			Suministro y montaje de conductor de Aluminio 765,4mm ² de sección para embarrado, tipo Gladiolus, totalmente terminado, incluso p.p. de piezas de conexión.			
1.4.2	Partida	Ud	Autotransformador de potencia 420 MVA	1,00	900.000,00	900.000,00
			Autotransformador de 420 MVA. de potencia, en baño de aceite, refrigeración natural tipo ONAN/ONAF, para exterior, de las siguientes características: tensión primaria 400 kV., tensión secundaria 132 kV., conexión YNa0d11; . Equipado con termómetro de contacto, termostato, relé Buchholz, indicador de nivel de aceite y liberador de presión del trafo, incluso p.p. de piezas de conexión del lado de 400 kV, como del lado de 132 kV. Totalmente instalado.			
1.4.3	Partida	Ud	Transformador de Tensión inductivo 400 kV	1,00	36.250,00	36.250,00
			Juego de 3 transformadores de tensión inductivos de intemperie tipo UTF-420 marca Arteche o similar relación de transformación 396000/110, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión, totalmente montados y funcionando.			
1.4.4	Partida	Ud	Seccionador Giratorio 400 kV	1,00	26.000,00	26.000,00
			Seccionador de columna central giratoria de intemperie con sistema de P.A.T. tipo SG3C-420 de 3.150A marca MESA o similar, incluido p.p. de pequeño material, totalmente montados y funcionando.			
1.4.5	Partida	Ud	Interruptor automático 400 kV	3,00	38.000,00	114.000,00
			Interruptor automatico de intemperie en SF6 tipo 3AP2 FI de 2000 A marca Siemens o similar, con mando eléctrico unipolar, contactos auxiliares, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión, totalmente montado y funcionando.			
1.4.6	Partida	Ud	Transformador de intensidad 400kV	3,00	39.000,00	117.000,00
			Transformador de intensidad de intemperie tipo CA-420 marca Arteche o similar, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión, totalmente montado y funcionando.			
1.4.7	Partida	Ud	Pararrayos autovalvular 400kV	6,00	11.000,00	66.000,00
			Pararrayos autovalvular de óxidos metálicos con envolvente polimérica 400 kV, de intemperie tipo PEXLIM-P330-XH420 marca ABB o similar, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión totalmente montados y funcionando.			
1.4.8	Partida	Ud	Transformador de intensidad 132kV	3,00	19.000,00	57.000,00

			Juego de 3 transformadores de intensidad de intemperie tipo CA-145 marca Arteche o similar, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión, totalmente montados y funcionando.			
1.4.9	Partida	Ud	Seccionador Giratorio P.A.T. 132 kV	2,00	32.000,00	64.000,00
			Seccionador tripolar de columnas giratorias de intemperie con sistema de P.A.T. tipo SG3C-145 de 2.000 A marca MESA o similar, incluido p.p. piezas de conexión y de pequeño material, totalmente montados y funcionando.			
1.4.10	Partida	Ud	Transformador de Tensión Inductivo 132 kV	3,00	14.500,00	43.500,00
			Juego de 3 transformadores de tensión inductivos de intemperie tipo UTE-145 marca Arteche o similar relación de transformación 132000/110, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión, totalmente montados y funcionando.			
1.4.11	Partida	Ud	Interruptor automático 132 kV	3,00	36.000,00	108.000,00
			Interruptor automático tripolar de intemperie en SF6 tipo LTB 170D1/B de 3.150 A marca ABB o similar, con mando eléctrico tripolar, contactos auxiliares, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión, totalmente montado y funcionando.			
1.4.12	Partida	Ud	Seccionador Giratorio 132 kV	3,00	23.000,00	69.000,00
			Seccionador tripolar de columnas giratorias de intemperie, tipo SG3C-145 de 2.000 A marca ABB o similar, incluido p.p. piezas de conexión y de pequeño material, totalmente montados y funcionando.			
1.4.13	Partida	Ud	Pararrayos 132 kV	3,00	6.108,94	18.326,82
			Juego de 3 pararrayos autovalvulares de óxidos metálicos con envoltura polimérica, de intemperie tipo PEXLIMQ120-XV145 132 kV marca ABB o similar, incluido p.p. de pequeño material, p.p. de piezas de conexión totalmente montados y funcionando.			
1.4.14	Partida	Ud	Transformador SSAA 100 kVA por fase	3,00	16.000,00	48.000,00
			Transformador de 100 kVA por fase de potencia para SSAA, en baño de aceite, para exterior, de las siguientes características: tensión primaria 132 kV., tensión secundaria 0,420 kV., incluso p.p. de piezas de conexión. Totalmente instalado.			
1.4.15	Partida	Ud	Grupo Electrónico 250 kVA	1,00	14.500,00	14.500,00
			Grupo electrónico de 250 kVA. de potencia, tipo GSW-190I de la marca PRAMAC o similar. Totalmente instalado.			

1.4.16	Partida	Ud	Mediciones de paso y contacto y contrato de mantenimiento	1,00	224,41	224,41
			Mediciones de paso y contacto y contrato anual de mantenimiento.			
			Total 1.4	1,00	1.682.442,39	1.682.442,39

1.5 PROTECCIÓN, CONTROL Y MEDIDA

1.5	Capítulo		PROTECCION, CONTROL Y MEDIDA	1,00	234.840,96	234.840,96
1.5.1	Partida	Ud	Armario PDB	1,00	56.000,00	56.000,00
			Cuadro de control y protección lado 132 kV para PDB, dotado de todas las protecciones indicadas en planos. Incluso p.p de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, pequeño material, probado y funcionando.			
1.5.2	Partida	Ud	Armario Transformador T-1	1,00	28.000,00	28.000,00
			Cuadro de control y protección lado 132 kV para Transformador de Potencia, dotado de todas las protecciones indicadas en planos. Incluso p.p de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, pequeño material, probado y funcionando.			
1.5.3	Partida	Ud	Armario de Repartidor Fibra Óptica	1,00	7.500,00	7.500,00
			Suministro y colocación de armario repartidor de Fibra Óptica, conforme a instrucciones de fabricante del mismo, totalmente terminado, probado y funcionando.			
1.5.4	Partida	Ud	Armario de Comunicaciones	1,00	6.000,00	6.000,00
			Suministro y colocación de armario de comunicaciones de transmisión, conforme a instrucciones de fabricante del mismo, totalmente terminado, probado y funcionando.			
1.5.5	Partida	Ud	Cuadro principal SSAA c.c.	1,00	18.000,00	18.000,00
			Suministro y colocación de Cuadro de Servicios Auxiliares en c.c., conforme a instrucciones de fabricante del mismo, montaje según planos. Totalmente terminado, probado y funcionando.			
1.5.6	Partida	Ud	Cuadro principal SSAA c.a.	1,00	9.500,00	9.500,00
			Suministro y colocación de Cuadro de Servicios Auxiliares en c.a., conforme a instrucciones de fabricante del mismo, montaje según planos. Totalmente terminado, probado y funcionando.			

1.5.7	Partida	Ud	Armario Rectificador-cargador batería	2,00	5.000,00	10.000,00
			Suministro y colocación de Rectificador-Cargador-Batería 125Vcc, conforme a instrucciones de fabricante del mismo, montaje según planos. Totalmente terminado, probado y funcionando.			
1.5.8	Partida	Ud	Armario Protección Línea 132kV	1,00	20.000,00	20.000,00
			Suministro y colocación de Armario de Línea, dotado de todas las protecciones indicadas en planos. Incluso p.p. de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, p.p. de pequeño material, probados y funcionando.			
1.5.9	Partida	Ud	Armario Autotransformador 132kV	1,00	11.000,00	11.000,00
			Cuadro de control y protección lado 132 kV para el autotransformador de Potencia, dotado de todas las protecciones indicadas en planos. Incluso p.p de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, reformas en cuadros existentes, pequeño material, probados y funcionando.			
1.5.10	Partida	Ud	Armario Transformador 400kV	1,00	14.000,00	14.000,00
			Cuadro de control y protección lado 400 kV para Autotransformador de Potencia, dotado de todas las protecciones indicadas en planos. Incluso p.p de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, reformas en cuadros existentes, pequeño material, probados y funcionando.			
1.5.11	Partida	Ud	Armario UCS	1,00	36.840,96	36.840,96
			Cuadro de control y protección para UCS, dotado de todas las protecciones indicadas en planos. Incluso p.p de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, reformas en cuadros existentes, pequeño material, probados y funcionando.			
1.5.12	Partida	Ud	Armario Comprobante de medida	1,00	18.000,00	18.000,00
			Armario para comprobante de medida, Incluso p.p de bornas, cableado interior, cableado de interconexión entre elementos eléctricos hasta cuadros, pequeño material, probados y funcionando.			
			Total 1.5	1,00	234.840,96	234.840,96

1.6 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

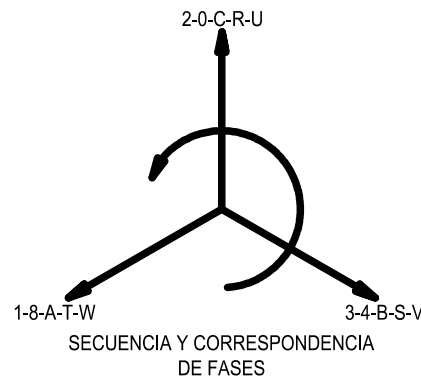
Obra civil y red de tierras	808.405,65
Estructura metálica	86.844,98
Instalación alumbrado exterior	24.285,00
Obra electromecánica	1.682.442,39
Protección, control y medida	234.840,96
TOTAL	2.836.818,98

DOCUMENTO 4:

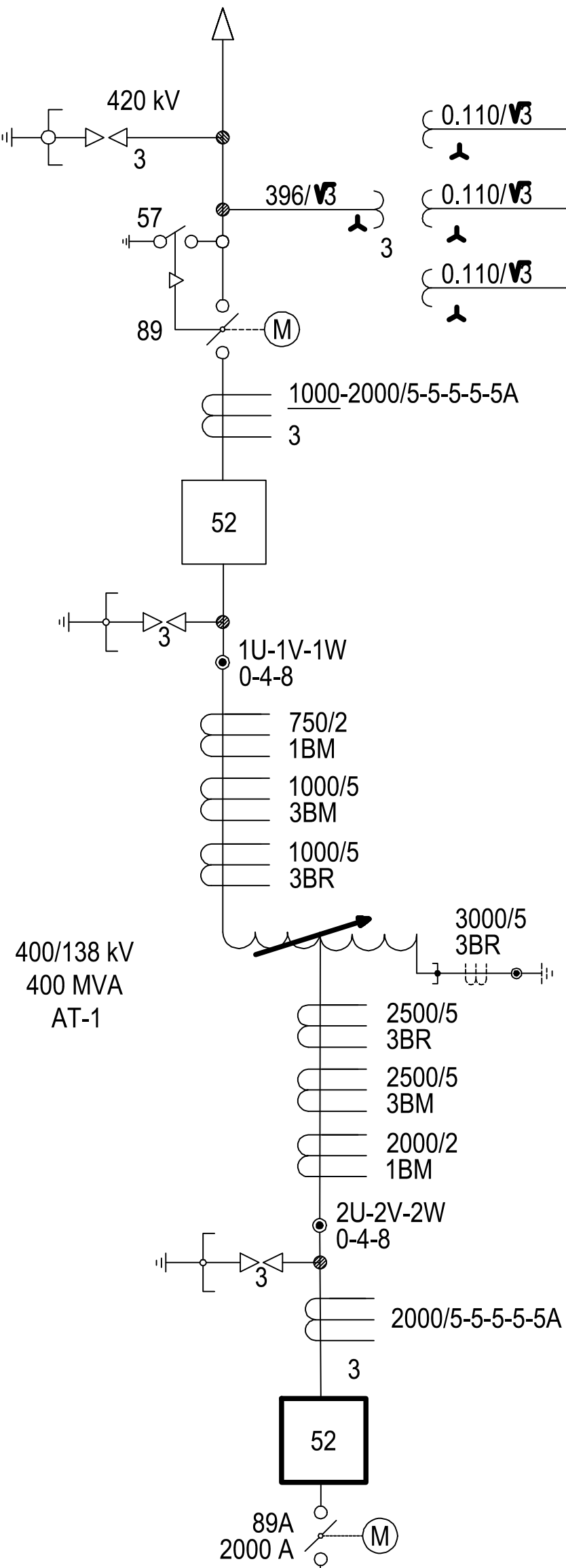
PLANOS

Índice de planos

1. Esquema unifilar simplificado sistema 400/132 kV
2. Planta general sistema 400/132 kV
3. Alzados por secciones sistema 400/132 kV
4. Esquema unifilar SSAA en c.a.
5. Edificio de control y celdas implantación de equipos



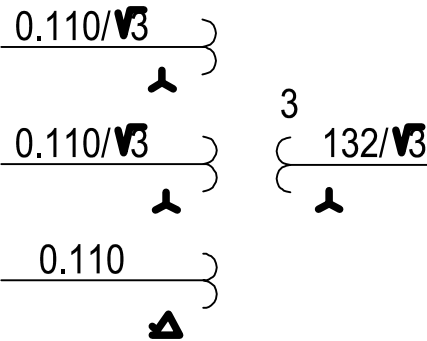
L.A.A.T. 400 kV LA-280 HAWK (DUPLEX) + OPGW-15 + OPGW-15 (20'986 Km)



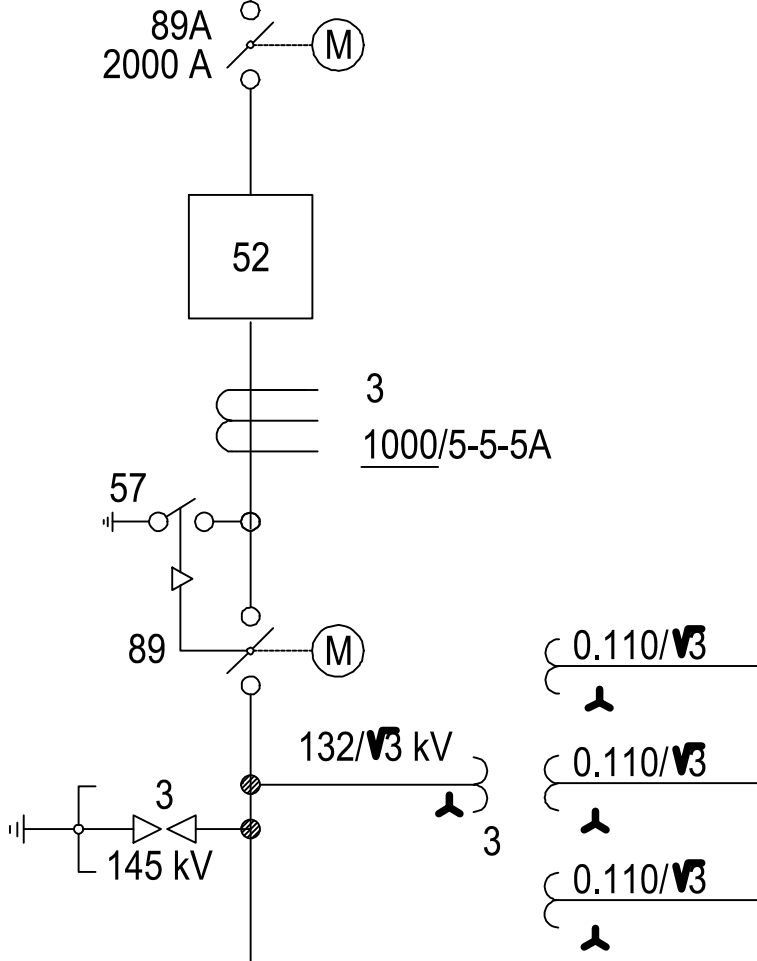
SISTEMA DE 400 kV

LEYENDA	
	Pararrayos
	Transformador de tensión
	Seccionador de puesta a tierra
	Transformador de corriente
	Interruptor
	Seccionador
	Autotransformador

SISTEMA DE 132 kV



XLPE 76/132 (145) kV 3(1X1.200) mm² Al + H172 (2.960 m)

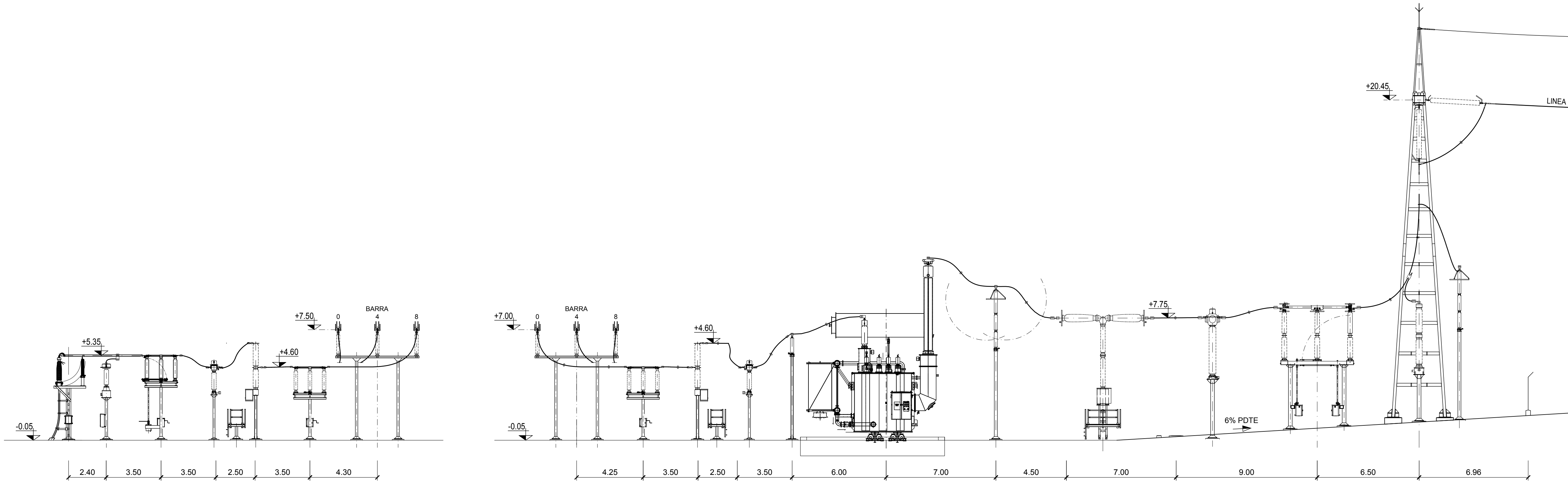


XLPE 76/132 (145) kV 3(1X1.200) mm² Al + H172 (2.960 m)

I.C.A.I.

Ref. CAD : UNIFILAR.DWG		PROYECTO : Subestación colectora 400/132 kV	
ESCALA : S/E		TITULO DEL PLANO : ESQUEMA UNIFILAR SIMPLIFICADO SISTEMA 400/132 kV	
Número de plano : 1		Dibujado : Nuño Carrasco Díaz	
ORIGINAL SIZE A1		ELEMENTO DE CONFIGURACIÓN -	Fecha 23/07/21



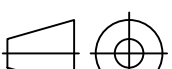


SECCIÓN C-C'

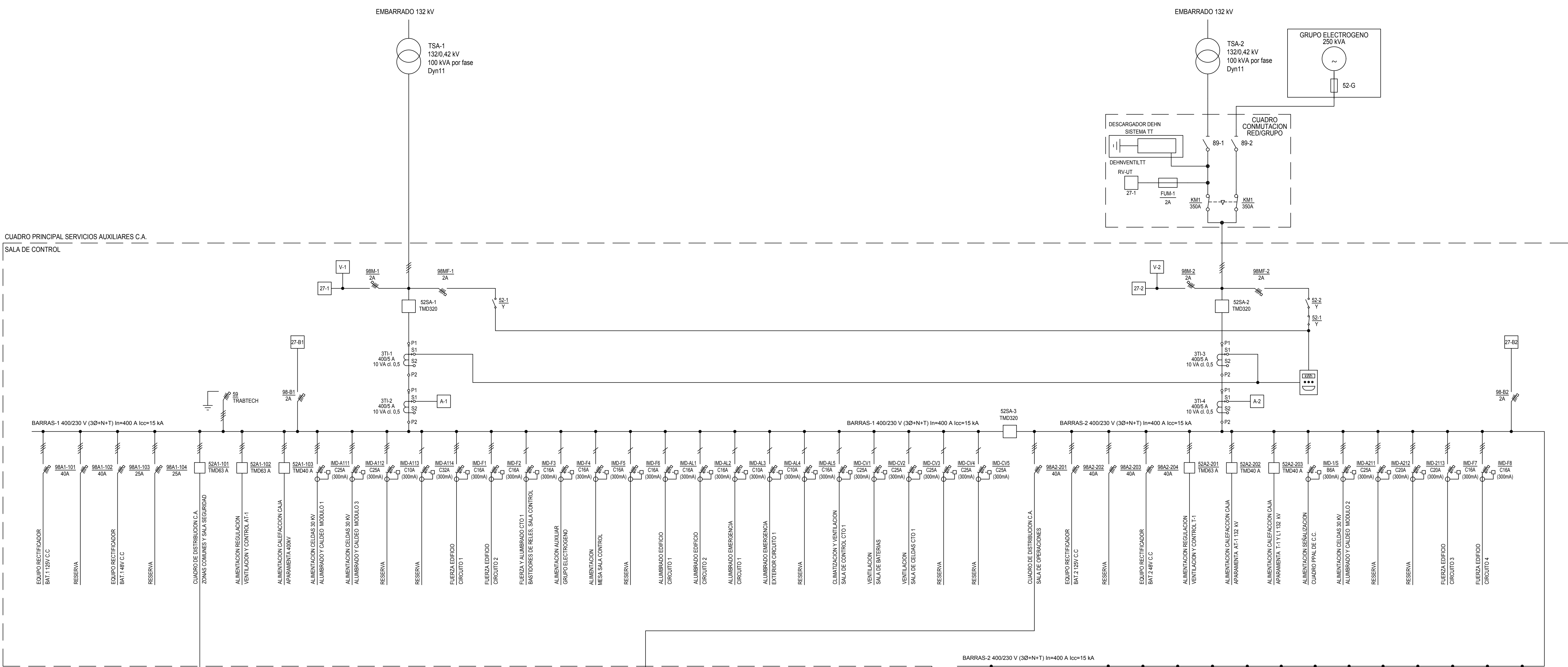
SECCIÓN A-A'

SECCIÓN B-B'

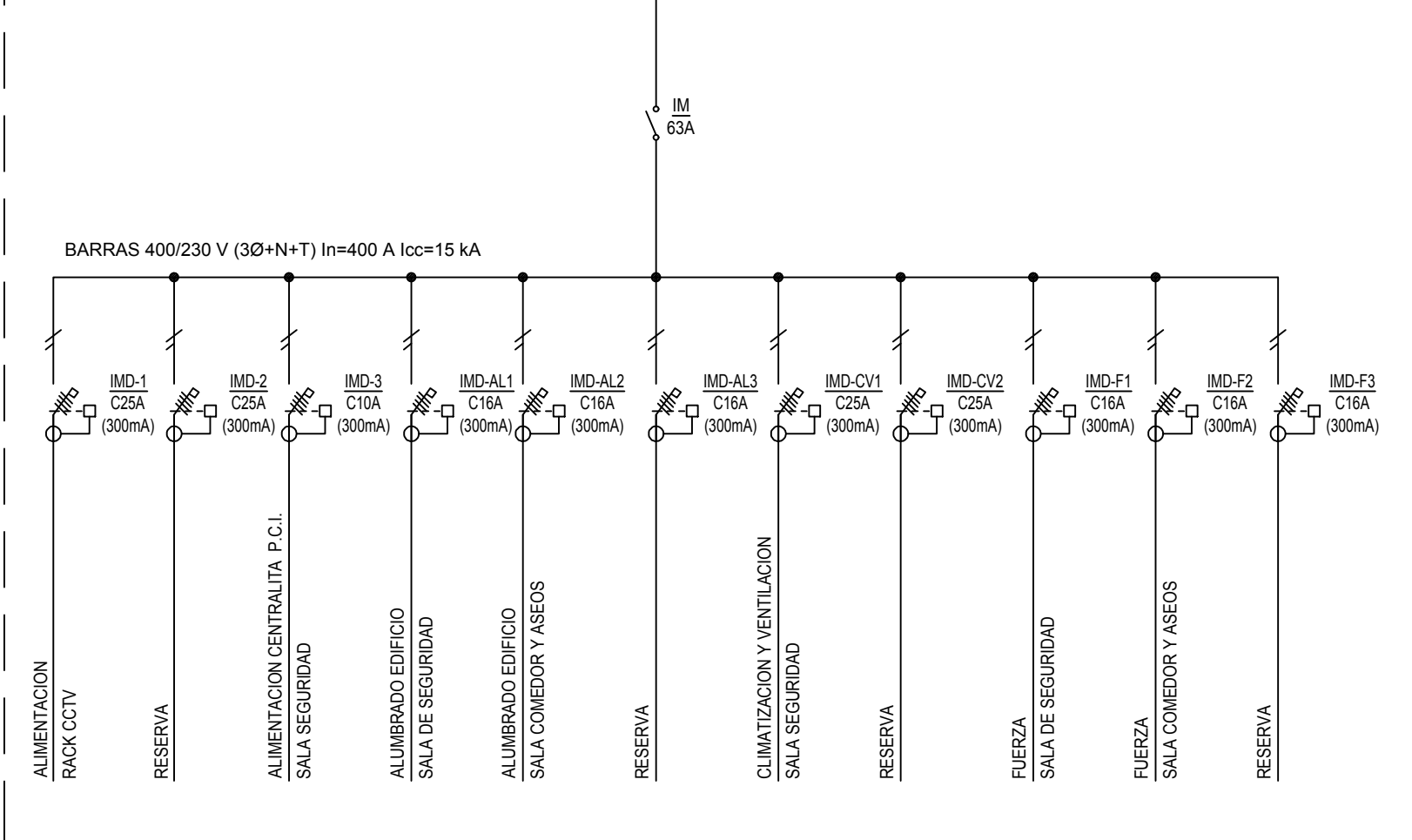
I.C.A.I.

Ref. CAD : ALZADO.DWG			PROYECTO : Subestación colectora 400/132 kV	
ESCALA : 1:200			TITULO DEL PLANO : ALZADOS POR SECCIONES SISTEMA 400/132 kV	
Número de plano: 3				
ORIGINAL SIZE A2		ELEMENTO DE CONFIGURACION -	Dibujado: Nuño Carrasco Díaz	Fecha: 23/07/21

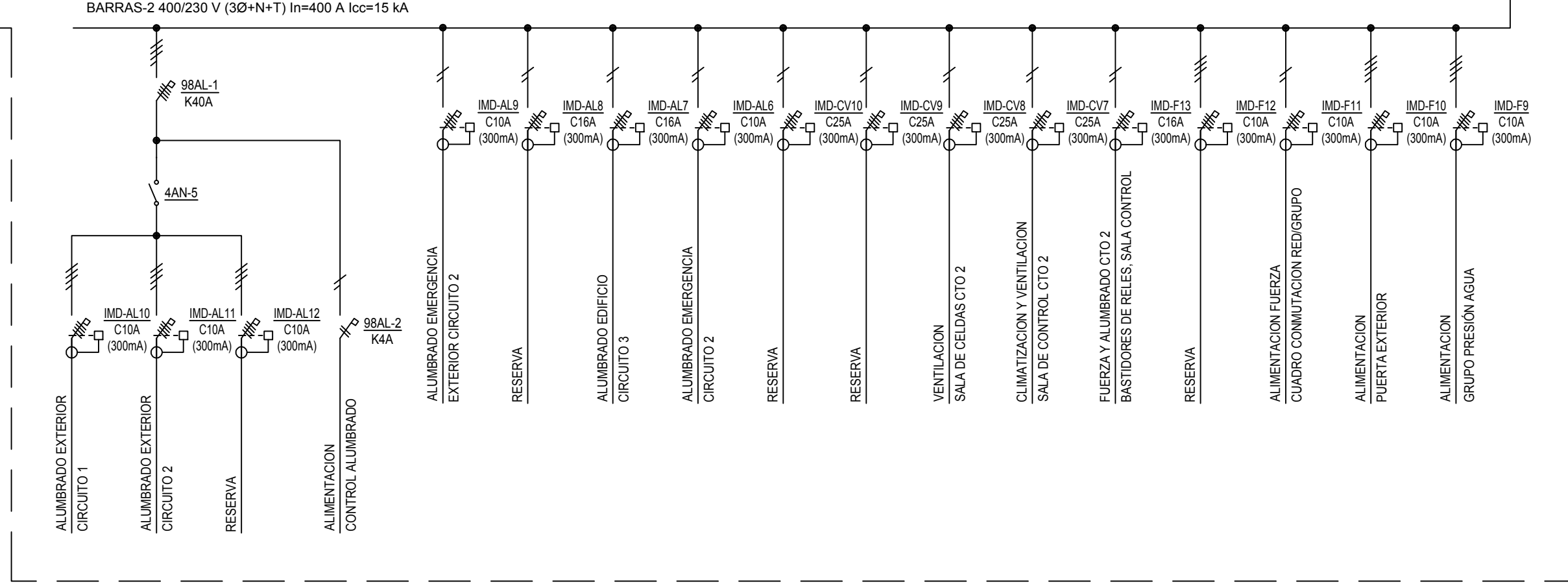
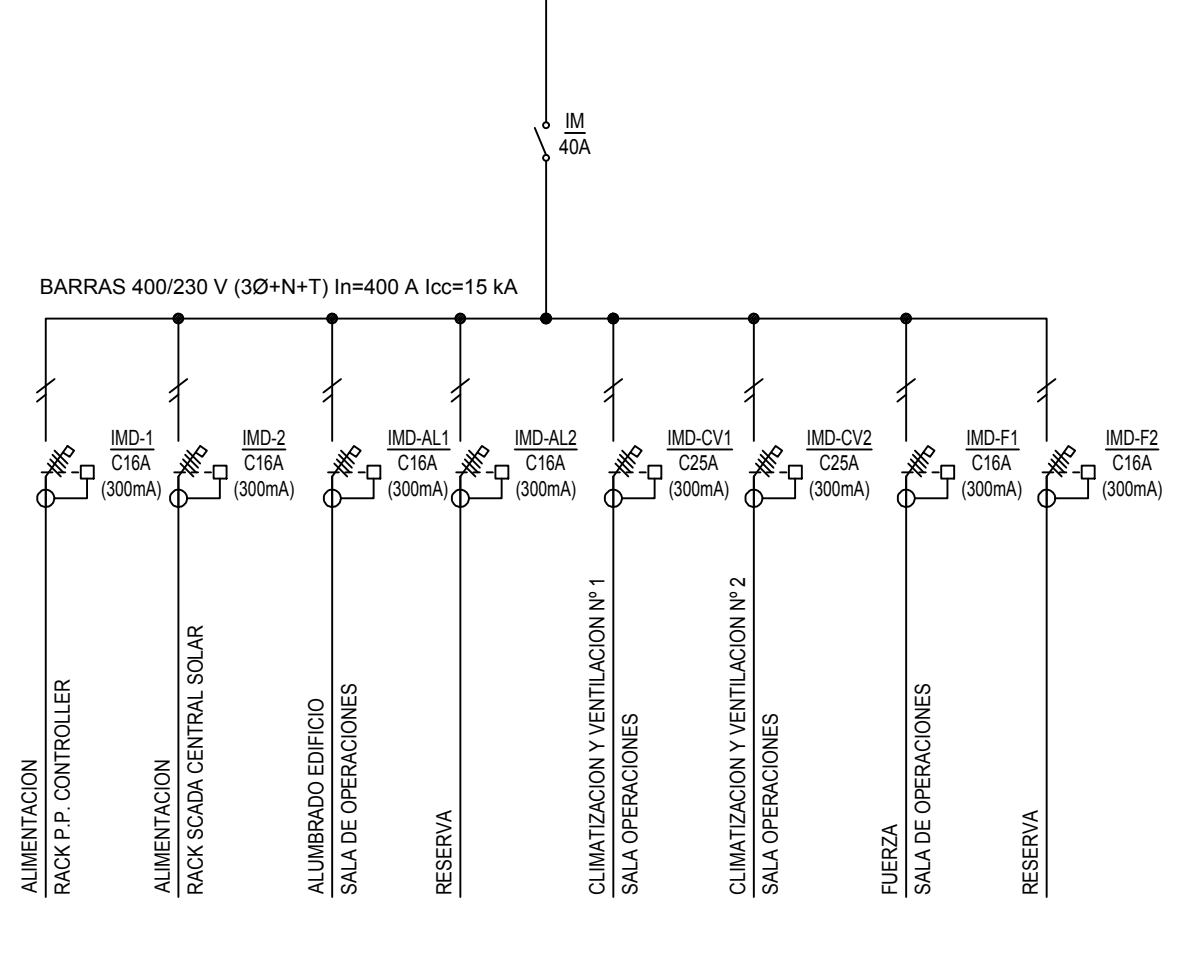
CUADRO PRINCIPAL SERVICIOS AUXILIARES C.A.
SALA DE CONTROL



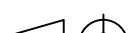
CUADRO DISTRIBUCION C.A.
ZONAS COMUNES Y SALA DE SEGURIDAD



CUADRO DISTRIBUCION C.A.
SALA DE OPERACIONES



I.C.A.I.

Ref. CAD : CUADRO_SSAA.DWG		PROYECTO : Planta solar fotovoltaica Mula 493 MWp		
ESCALA : S/E		TITULO DEL PLANO : ESQUEMA UNIFILAR SS.AA. CORRIENTE ALTERNA		
Número de plano: 4				
ORIGINAL SIZE A1		ELEMENTO DE CONFIGURACION -	Dibujado : Nuño Carrasco Díaz	Fecha: 23/07/21

