



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

INGENIERO MIGUEL CESTERO BRAVO

**PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UNA
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN
PARA LA RED DE TRANSPORTE PENINSULAR
ESPAÑOLA, EN ENTORNO PROTEGIDO A 400 kV
Y COMO PUNTO DE ACCESO DE UN
GENERADOR**

Autor: Miguel Cestero Bravo

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Junio 2017

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. Miguel Cestero Bravo DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte peninsular española, en entorno protegido a 400 kV y como punto de acceso de un generador, 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 22 de junio de 2017.

ACEPTA



Fdo: Miguel Cestero Bravo

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:
Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte
peninsular española, en entorno protegido a 400 kV y como punto de acceso de un generador,
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2016 – 2017 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.: Miguel Cestero Bravo Fecha: 22/06/2017

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO


Fdo.: Matias Juan Sánchez Mingarro

Fecha: 22/06/2017

PROYECTO DE EJECUCIÓN DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN PARA LA RED DE TRANSPORTE PENINSULAR ESPAÑOLA, EN ENTORNO PROTEGIDO A 400 KV Y COMO PUNTO DE ACCESO DE UN GENERADOR.

Autor: Cestero Bravo, Miguel.

Director: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Entidad Colaboradora: Red Eléctrica de España.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se lleva a cabo el diseño de una subestación eléctrica de generación para la evacuación de 1650 MW de potencia desde una central térmica de ciclo combinado a la red de transporte de 400 kV.

A través de los diferentes documentos que conforman el proyecto, se pretende llevar a cabo una descripción del proceso de diseño de la subestación, de los elementos que la componen y de los procesos que se deben seguir en su construcción y puesta en marcha.

La subestación tomará el nombre de Subestación de Caspe y estará situada a 8 km de Zaragoceta (población de la provincia de Zaragoza), que se encuentra en la región del Bajo Aragón - Caspe. La instalación ocupará una superficie total de 3,27 hectáreas dentro de un terreno de 10 hectáreas perteneciente a dicha localidad.

Se construirá en las proximidades una central térmica de ciclo combinado a gas natural, mencionada anteriormente. Dicha central está formada por dos grupos, de 800 y 850 MW, que se componen de un ciclo Rankine y un ciclo Brayton, cada uno.

El objetivo principal en la realización del proyecto es la tramitación, es decir, diseñar una subestación que cumpla con lo requerido por el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITCRAT 01 a 23. Además, se busca que la instalación sea versátil, flexible ante las necesidades eléctricas futuras y que resulte rentable en su construcción y mantenimiento.

En la subestación se empleará tecnología AIS, ya que se encuentra en un ambiente rural, dispone de un terreno suficientemente amplio, no existen condicionantes medioambientales y las condiciones climáticas de la región no son extremas. Por todo ello, se escoge el aislamiento en aire, frente a alternativas como la tecnología GIS o HIS, que supondrían una mayor inversión en este caso.

En cuanto a la configuración, se decide implantar el interruptor y medio, ya que, aun siendo más cara que otras configuraciones, aportará mayor fiabilidad, seguridad y versatilidad a la instalación, para permitir la fácil evacuación de la potencia de los grupos generadores.

Caspe se compondrá de un único parque de 400 kV en configuración de interruptor y medio, que contará con 4 calles y 8 posiciones, dejando 2 de dichas posiciones como reserva para futuras ampliaciones. De las 6 posiciones que estarán equipadas y activas en un comienzo, dos serán de evacuación del ciclo combinado y las 4 restantes serán posiciones de salida a líneas de la red de 400 kV.

Para la elección de la aparamenta se debe tener en cuenta las necesidades eléctricas de la instalación, como la tensión nominal (400 kV), la tensión más elevada del material (420 kV) y la intensidad de cortocircuito (31 kA), además del nivel de aislamiento necesario para dicha aparamenta. Todo ello se detalla en el apartado de cálculos de coordinación de aislamiento.

En base a esos cálculos y a la información obtenida de distintos fabricantes, se decide instalar los siguientes equipos:

- 9 interruptores de potencia trifásicos con ruptura en SF₆ del modelo HPL 420B2 de ABB.
- 18 juegos trifásicos de seccionadores MESA de tres columnas con una central giratoria (modelo SG3C-420/4.000), incorporando 4 de ellos un seccionador de puesta a tierra adicional (modelo SG3CT-420/4.000).
- 6 juegos trifásicos de seccionadores pantógrafos del modelo SPD-420/4.000 de MESA.
- 36 transformadores de intensidad para medida del modelo CA-420 de ARTECHE.
- 18 unidades de transformadores de tensión capacitivos para medida y protección del modelo DFK-420 de ARTECHE.
- 12 autoválvulas EXLIM Q-D 420 de ABB al comienzo de las líneas de evacuación, para proteger frente a sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento.

La red de tierras de la subestación estará formada una red inferior y una red superior. La red inferior se compondrá de una malla subterránea de cable de cobre de 120 mm de diámetro para todo el parque, y la red superior se compondrá de cables de guarda y puntas Franklin, formando una disposición que permita el apantallamiento de toda la aparamenta y embarrados, frente a descargas atmosféricas.

Para la conexión de los distintos elementos y equipos de alta tensión, se dispone de los embarrados. En la subestación se distinguen tres tipos de embarrados:

- Embarrados principales: formados por tubos flexibles de aluminio de 250 mm de diámetro exterior y 228 mm de diámetro interior.
- Embarrados secundarios: formados por tubos flexibles de aluminio de 150 mm de diámetro exterior y 134 mm de diámetro interior.
- Embarrados de tendido alto: formado por conductor flexible dúplex del tipo LAPWING de 38,16 mm de diámetro.

Para el amarre de las líneas y la sujeción del tendido alto, se instalan 10 pórticos con estructura de acero galvanizado, de tipo plano con alma llena. Se utilizarán estructuras metálicas similares, para el soporte de los aparatos y embarrados tubulares, con el objetivo de mantener las distancias de seguridad entre los equipos en tensión y el suelo.

Se realizará una obra civil para preparar el terreno e implantar todo lo necesario para la instalación de los equipos y estructuras de la nueva subestación. Se llevará a cabo el movimiento de tierras y explanación del terreno, una red de drenaje, un sistema de saneamiento y las cimentaciones de los pórticos y estructuras metálicas. Se construirán los accesos, el vallado, el edificio de control y se instalarán tres casetas de relés.

Para la protección de las instalaciones ante una falta y aislamiento de las partes afectadas respecto de las sanas, se configura un sistema de protección, con protección de líneas, protección de barras y protección de interruptor. En el sistema de protección de líneas, se diferencia entre una protección primaria (equipo 7SD5225 de Siemens) y una protección secundaria (equipo 7SD522). Las barras se protegerán con función diferencial (relé SEL-487B). Los interruptores también contarán con un relé de falla (SEL-451).

En el sistema de operación y control de la subestación se distinguen 4 niveles:

Nivel 0: accionamiento manual de los elementos de la subestación en pruebas sin carga.

Nivel 1: operación de los elementos de una calle o posición haciendo uso de un sinóptico.

Nivel 2: control de los mandos de la subestación a través de un ordenador o un sinóptico general.

Nivel 3: control remoto de todos los elementos de mando de la subestación desde el Centro de Control Eléctrico (CECOEL).

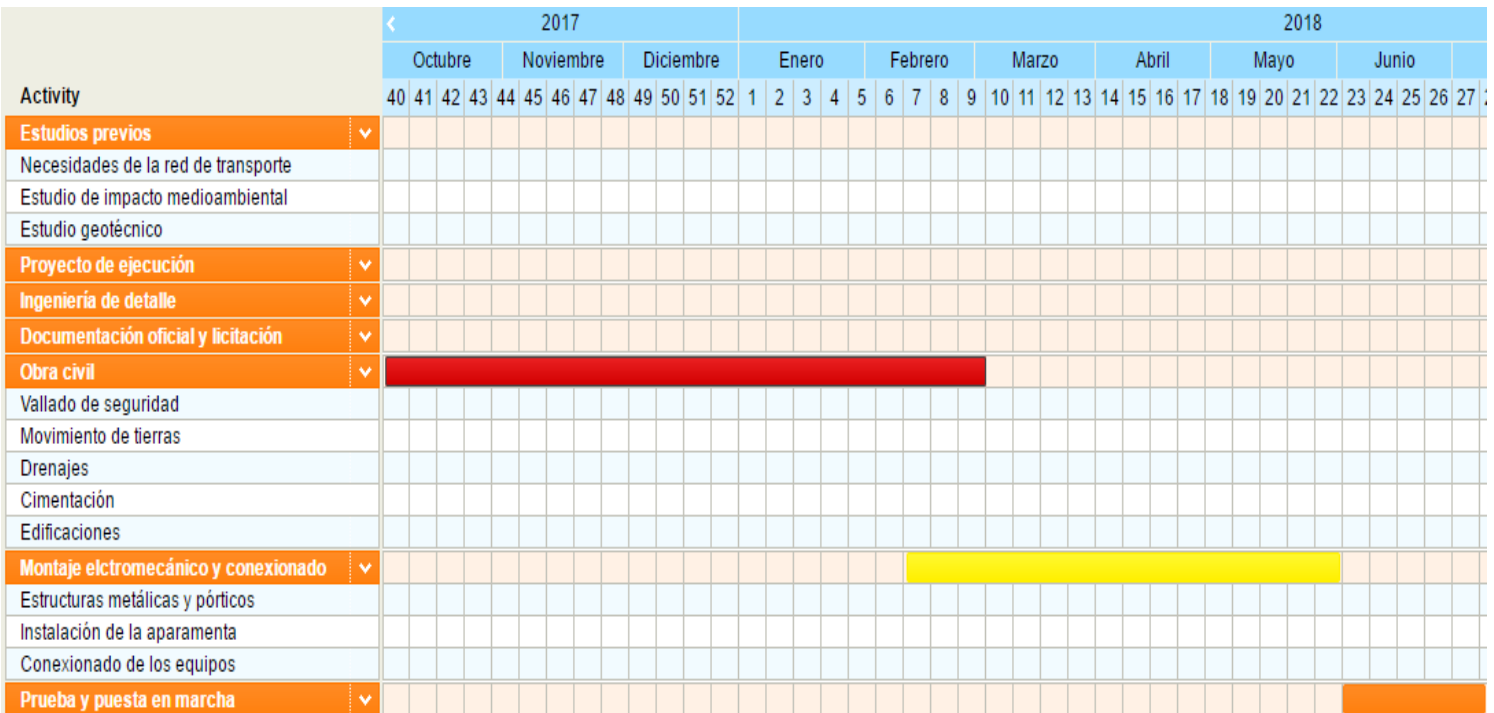
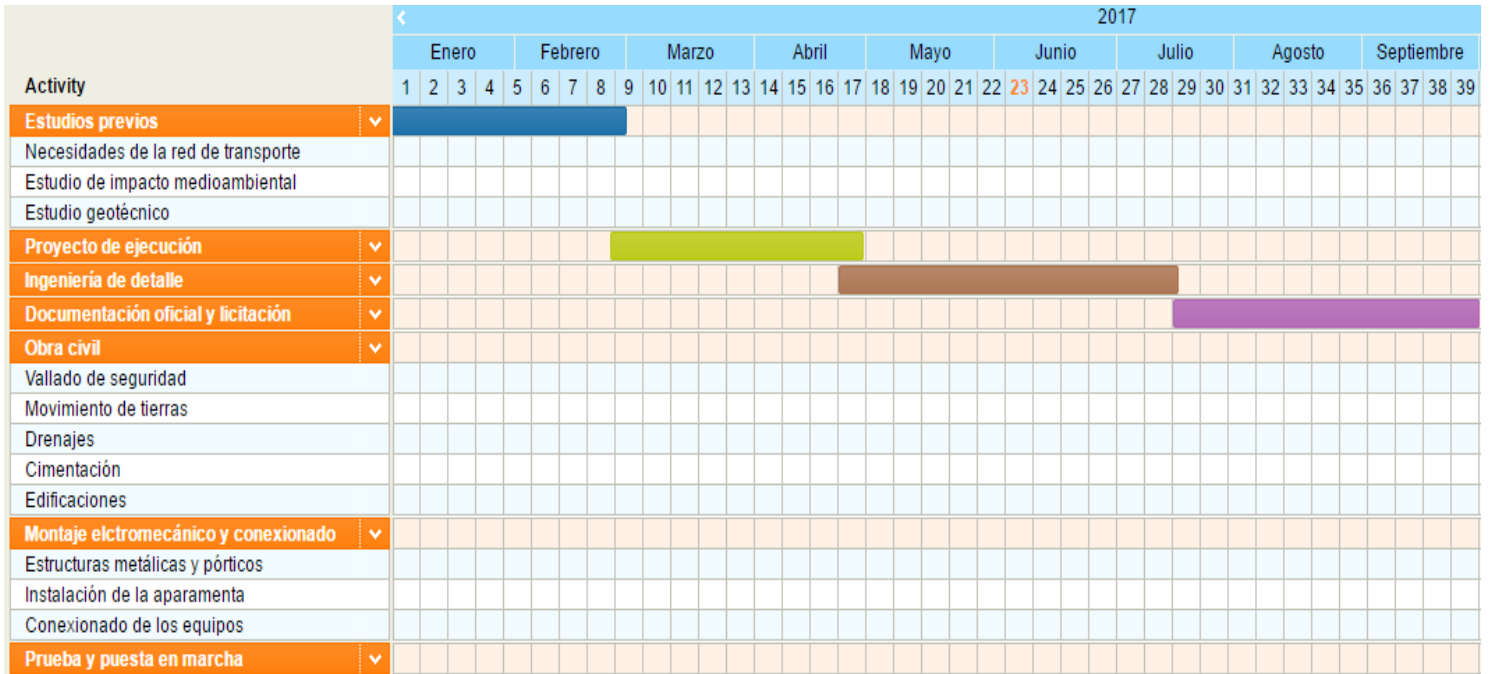
En la subestación se instalará un sistema de servicios auxiliares para el abastecimiento de energía de los equipos de control y telecomunicaciones, la aparamenta y las instalaciones anexas. Se componen de servicios auxiliares de alterna y servicios auxiliares de continua. Los servicios auxiliares de alterna son alimentados desde una línea exterior de media tensión (20 kV) y un centro de transformación (24 kV y 250 kVA), contando con un grupo electrógeno (200 kVA, 400/230 V) como sistema de alimentación secundario. Los servicios auxiliares de continua contarán con un sistema de 125 V, que utilizará dos equipos de rectificador-batería con entrada de 400 V trifásicos y salida de 125 V, y un sistema de 48 V que utiliza dos rectificador-batería con entrada de 400 V trifásicos y salida de 48 V.

Se llevará a cabo la instalación de un sistema de telecomunicaciones, para controlar la subestación desde el CECOEL y las comunicaciones entre casetas y edificio de control. Se empleará un doble sistema de comunicación con doble SDH, para dotar al sistema de una mayor seguridad.

Por último, se diseñarán los sistemas de alumbrado y fuerza exterior e interior, los sistemas contra incendios y se establecerán medidas antiintrusismo para evitar la entrada de personas ajenas no autorizadas a la instalación.

En cuanto a los aspectos económicos, la subestación presenta un coste de inversión de 8.655.365 € y tendrá una rentabilidad del 23,5% en la construcción y del 10% en la explotación.

El plan de diseño y construcción de la subestación contará con 7 fases repartidas en 18 meses de trabajo y queda representado en el siguiente diagrama de Gantt.



PROJECT EXECUTION OF A HIGH VOLTAGE SUBSTATION FOR THE SPANISH PENINSULAR TRANSPORT NETWORK, IN PROTECTED ZONE OF 400 KV AND AS AN ACCESS POINT OF A GENERATOR.

Author: Cestero Bravo, Miguel.

Director: Sánchez Mingarro, Matías Juan.

Collaborative entity: Red Eléctrica de España.

ABSTRACT

This Project carries out the design of an electric generation substation for the evacuation of 1650 MW of power, from a combined cycle power generating plant to the 400 kV transport network.

Through the documents composing the project, it is pretended to describe the substation design process, the different components of the substation and the processes for its construction and start-up.

The substation will be called Caspe and will be located 8 km away from Zaragoceta (village placed in Zaragoza province), situated in the Bajo Aragón – Caspe region. The facility will take up 3,27 hectares of a 10 hectares land belonging to that locality.

Caspe will be built in the vicinity of the natural gas thermal power plant previously mentioned. This power plant consist of two groups of 800 and 850 MW and each group is composed by a Rankine cycle and a Brayton cycle.

The main objective of this project is to obtain the necessary authorisations for the construction of this new substation. In order to achieve this aim, it is needed to design a substation that meets all the requirements established in the high voltage regulations (RAT) and its supplementary technical conditions 01 to 23 (ITC-RAT). In addition, the system has to be versatile and adaptable to future changes, and its construction and maintenance have to be profitable.

In the substation it is used AIS technology. As the substation is located in a rural zone that has an enough large plot, there are not environmental determinants and the climate conditions are not extreme; AIS technology is chosen instead of GIS or HIS technology, which will mean a higher investment in this case.

In terms of configuration, it is decided to use a breaker and a half, which supposes more costs than other configurations, but provides higher reliability, security and versatility to enable the power evacuation from the generators.

Caspe will consist of one 400 kV park organised in breaker and a half configuration, composed by 4 lanes and 8 positions, reserving 2 of these positions for future

expansion. Two of the six positions that are active at the beginning, will be evacuation lines of the combined cycle, and the remaining 4 will be exit lines to the transport network of 400 kV.

For the choice of switchgear it is necessary to take into account the electrical needs of the installation, as the nominal voltage (400 kV), the highest voltage of the material (420 kV) and the short circuit current (31 kA), as well as the isolation level required for that switchgear. All this is detailed in the section on calculation of insulation coordination.

Based on these calculations and the information obtained from the different manufacturers, it is decided to install the following equipment:

- 9 three-phase power circuit breakers with cut by SF6 of the model HPL 420B2 from ABB.
- 18 sets of three-phase MESA disconnectors, with three columns and a central rotating column (model SG3C-420/4.000). 4 of these sets will include an additional earthing disconnector (model SG3CT-420/4.000).
- 6 sets of three-phase pantograph disconnectors of the model SPD-420/4.000 from MESA.
- 36 current transformers for measurement of the model CA-420 from ARTECHE.
- 18 capacitive voltage Transformers for measurement and protection of the model DFK-420 from ARTECHE.
- 12 lightning arresters EXLIM Q-D 420 from ABB at the beginning of the evacuation lines, to protect against atmospheric and operating surges.

The grounding system will be composed by a lower system and an upper system. The lower grounding system consist of an underground copper wire mesh, 120 mm in diameter, for all the substation. The upper grounding system uses earth wires and Franklin rods, forming an arrangement that allows the insulation of all the switchgear and busbars, against lightning.

There are used three types of busbars in the substation to connect the different high voltage components and equipment:

- Main busbars: composed by aluminum flexible tubes of 250 mm outside diameter and 228 mm inside diameter.
- Secondary busbars: composed by aluminum flexible tubes of 150 mm outside diameter and 134 mm inside diameter.
- Overhead wires: composed by flexible dúplex LAPWING wire, 38,16 mm in diameter.

To tie up the lines and overhead wires, there will be installed 10 frames with galvanised steel, flat type and full core. Similar Steel structures will be used to support the equipment and busbar tubes, with the aim of maintaining the security distances between the switchgear and the ground.

A civil work will be carried out to prepare the ground and to implement everything that is necessary for the installation of the equipment and structures of the new substation.

The civil work includes: earthmoving and land clearance, a drainage system, a sanitation system, frames and steel structures foundations, construction of accesses, safety fence and the construction of the control building and three relay stands.

In order to protect the substation against an electric failure and to isolate the affected parts, a protection system is configured, with line protections, bar protections and breaker protections. In the line protection system, there is a primary protection (7SD5225 Siemens equipment) and a secondary protection (7SD522 Siemens equipment). The bars will be protected with differential function (SEL-487B relay). Breakers will also have a fault relay (SEL-451).

In the operation and control system of the substation, 4 levels can be distinguished:

Level 0: manual operation of the elements of the substation in tests without load.

Level 1: operation of the elements of a lane or position, using a synoptic.

Level 2: operation of the elements of a lane of the substation through a computer or a general synoptic.

Level 3: remote control of all the command elements of the substation from the Electric Control Center.

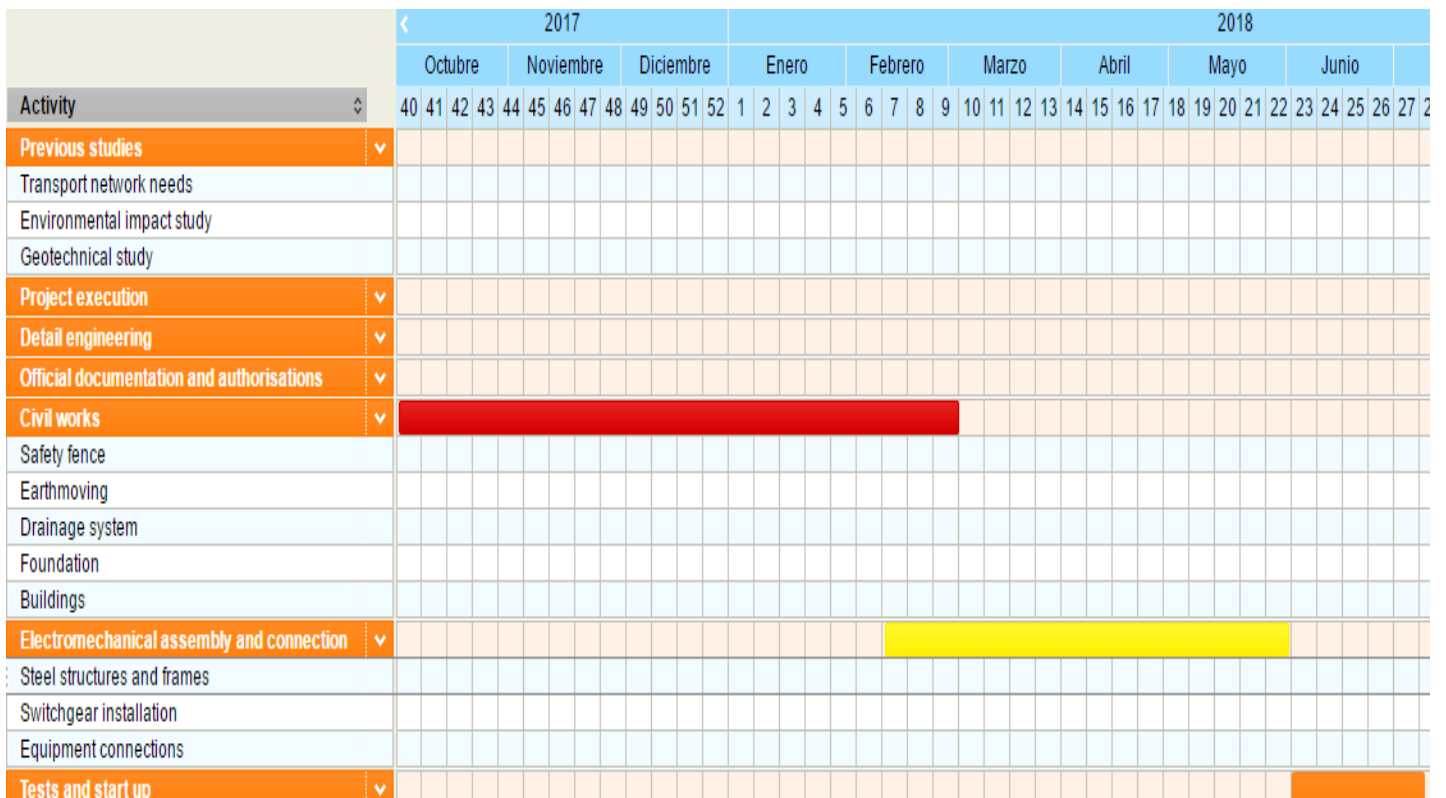
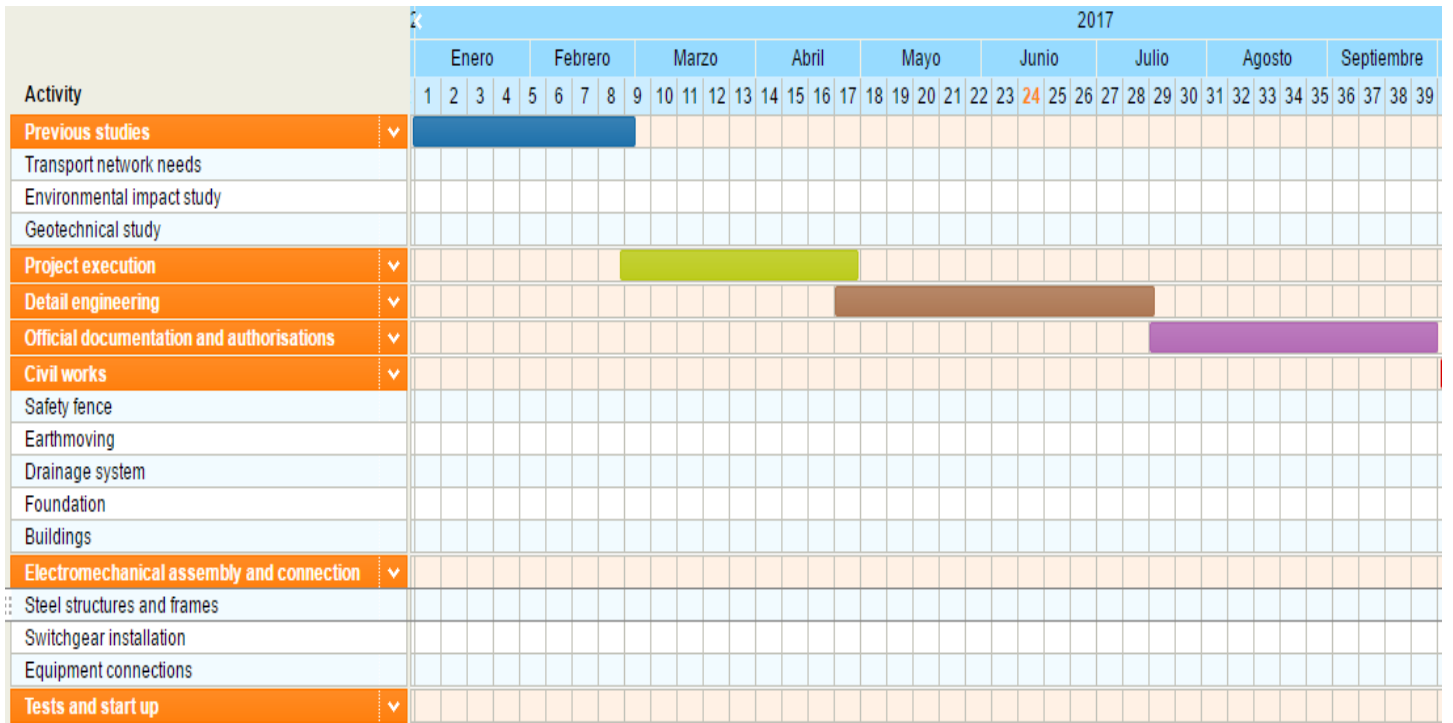
The substation will have installed an auxiliary services system for the energy supply of the control and telecommunication equipment, the switchgear and annexed facilities. These services are composed by auxiliary services of alternating current and auxiliary services of continuous current. A.C. auxiliary services are powered from an external medium voltage line (20 kV) and a transformation center (24 kV and 250 kVA), with a generator set (200 kVA, 400/230 V) as a secondary power supply. C.C auxiliary services will have a 125 V system, which will use two rectifier-battery equipment with input of 400 V three-phase and output of 125 V, and a system of 48 V that uses two rectifier-battery with input of 400 V three-phase and 48 V output.

The installation of a telecommunications system will be carried out to control the substation from the Electric Control Center and the communications between relay stands and the command building. A double communication system with double SDH will be used to give the system a greater security.

Finally, fire systems, lighting and force external and internal systems, will be designed. Also, anti-intrusive measures will be established to prevent the entry of unauthorized people to the substation.

With regard to the economic aspects, the substation has an investment cost of 8.655.365 € and will have a return of 23,5% on construction and 10% during the operation.

The design and construction plan will consist of 7 stages distributed across 18 months of work. The plan is represented in the following Gantt diagram.



Documento nº 1, MEMORIA

1 Memoria descriptiva	pág. 03 a 30	28 páginas
2 Cálculos	pág. 31 a 72	42 páginas
3 Estudio económico	pág. 73 a 76	4 páginas
4 Anejos	pág. 77 a 108	32 páginas

Documento nº 2, PLANOS

1 Listado de planos	pág. 111 a 112	2 páginas
2 Planos	pág. 113 a 125	13 páginas

Documento nº 3, PLIEGO DE CONDICIONES

1 Generales y Económicas	pág. 129 a 143	15 páginas
2 Técnicas y Particulares	pág. 144 a 149	6 páginas

Documento nº 4, PRESUPUESTO

1 Mediciones	pág. 153 a 155	3 páginas
2 Precios Unitarios	pág. 156 a 158	3 páginas
3 Sumas parciales	pág. 159 a 161	3 páginas
4 Presupuesto General	pág. 162 a 163	2 páginas

Documento nº 5, BIBLIOGRAFÍA

1 Bibliografía	pág. 167 a 169	3 páginas
----------------	----------------	-----------

Documento nº 1, MEMORIA

DOCUMENTO Nº 1, MEMORIA ÍNDICE GENERAL

MEMORIA DESCRIPTIVA.....	4
CÁLCULOS.....	32
ESTUDIO ECONÓMICO.....	74
ANEJOS.....	78

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

MEMORIA DESCRIPTIVA

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
1. Antecedentes	6
2. Localización geográfica de la subestación	6
3. Normativa aplicable	7
4. Objeto del proyecto	7
5. Alcance del proyecto	7
6. Configuración de la subestación	8
7. Tecnología de la aparamenta.....	8
8. Descripción de la subestación.....	9
9. Esquema unifilar simplificado.....	9
10. Condiciones ambientales.....	10
11. Necesidades eléctricas de diseño.....	11
12. Aparamenta	12
12.1 Interruptores de potencia.....	12
12.2 Seccionadores trifásicos	13
12.2.1 Seccionadores de columnas giratorias.....	13
12.2.2 Seccionadores pantógrafos.....	13
12.3 Transformadores de intensidad	14
12.4 Transformadores de tensión capacitivos.....	14
12.5 Autoválvulas.....	15
13. Aisladores de apoyo	16
14. Red de tierras.....	16
14.1 Red de tierras inferiores	16
14.2 Red de tierras superiores.....	17
15. Embarrados.....	17
15.1 Embarrados principales	17
15.2 Embarrados secundarios	18
15.3 Embarrados de tendido alto	18
16. Pórticos y estructuras metálicas	19
17. Obra civil y edificación.....	20
17.1 Vallado.....	20
17.2 Movimiento de tierras.....	20
17.3 Drenajes y saneamientos.....	21
17.4 Cimentaciones.....	21

17.5 Accesos	21
17.6 Edificaciones	22
17.6.1 Edificio de mando y control	22
17.6.2 Casetas de relés	22
18. Sistemas de protección.....	23
18.1 Protección de línea.....	23
18.2 Protección de interruptor	24
18.3 Protección de barras	24
19. Operación y control de la subestación	24
20. Servicios auxiliares	25
20.1 Servicios auxiliares de corriente alterna.....	25
20.2 Servicios auxiliares de corriente continua	25
21. Sistema de telecomunicaciones.....	26
22. Sistema de alumbrado y fuerza.....	27
23. Sistema contra incendios.....	28
24. Sistema antiintrusismo	28
25. Planificación de la construcción de la subestación	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tabla de temperaturas.....	10
Figura 2. Diagrama de Gantt.....	29
Figura 3. Diagrama de Gantt.....	30

1. Antecedentes

Se va a llevar a cabo el diseño de una nueva subestación de transporte, cuya construcción ha sido aprobada por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital e incluida en el Plan de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica 2015-2020.

Su función será evacuar la potencia de una central de ciclo combinado a la red de transporte, a 400 kV. La subestación será llamada Caspe y se situará en las inmediaciones de la central de ciclo combinado citada (coordenadas de la central: 41°08'15.4"N 0°01'29.8"W).

La subestación de Caspe estará formada por un único parque de 400 kV y su función será realizar el trasvase de potencia de la central a la red de transporte, de manera fácil, segura y eficiente. La elevación de la tensión de generación a la tensión de transporte se realizará en la central térmica.

La central térmica consta de dos grupos de ciclo combinado a gas natural, compuestos por un ciclo Rankine y un ciclo Brayton cada uno. La potencia total suministrada por la central es de 1650 MW, aportando 800 MW el Grupo 1 y 850 MW el Grupo 2.

2. Localización geográfica de la subestación

La subestación de Caspe estará situada a 8 km de una población de la provincia de Zaragoza, llamada Zaragoceta (coordenadas de la subestación: 41°08'14.5"N 0°01'37.2"W). Zaragoceta se encuentra situado en la región del Bajo Aragón-Caspe, de donde toma su nombre la subestación.

El terreno donde se construirá la subestación, cuenta con una superficie de 10 hectáreas, de las cuales la subestación ocupará 3,27 hectáreas.

Además, este terreno se encuentra muy próximo a la central de ciclo combinado de la que se evacuará la potencia, a la red de transporte.

Se trata de un terreno cercano a una masa de agua, el Embalse de Caspe II, a unos 209 metros sobre el nivel del mar, y las condiciones climáticas no son extremas.

Según se ha determinado investigando un estudio geológico de Caspe, que se incluye en la bibliografía y ha sido realizado por el Instituto Tecnológico Geominero de España (*Mapa Geológico de España, Caspe*), se concluye que el terreno de construcción está mayoritariamente compuesto por calizas blandas, por lo que habrá que retirar tierras y rellenar con terreno adecuado, tal y como se especifica más adelante en el apartado de movimiento de tierras.

3. Normativa aplicable

Para la realización del proyecto, se tendrá en cuenta lo expuesto en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas 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”. También se hará uso de normas UNE, IEC e IEEE, que se nombrarán en el apartado concreto en el que se apliquen.

4. Objeto del proyecto

El objetivo es la tramitación oficial. Se busca diseñar una subestación eléctrica que cumpla todas las características requeridas y conseguir todos los permisos necesarios para su consecución.

Para ello el contenido de cada apartado del proyecto se adecuará a lo que se expone en el Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.

Una vez establecidos los límites de la tramitación, el siguiente objetivo es la versatilidad de la subestación para permitir la fácil evacuación de la potencia de los grupos y que se adapte a las necesidades eléctricas presentes y futuras, seleccionando la configuración y la aparamenta más adecuadas.

Por último, es imprescindible llegar a un equilibrio entre los costes y los dos objetivos anteriores, para que el proyecto resulte satisfactorio y la obra reporte el menor gasto posible.

5. Alcance del proyecto

El proyecto incluye elegir el tipo de configuración, seleccionar la aparamenta e implantar la instalación en el terreno, con sus respectivos planos.

Además, será necesario definir el emplazamiento, los accesos, la implantación, la obra civil, el diseño de los sistemas de protección, las comunicaciones y los servicios auxiliares. También se realizarán cálculos de embarrados, de efecto corona, de coordinación de aislamiento y de red de tierras.

6. Configuración de la subestación

Para la elección de la configuración, se debe tener en cuenta y analizar la versatilidad, seguridad, fiabilidad, capacidad de ampliación y coste de cada una. Siendo en este caso, una subestación conectada a la salida de dos grupos generadores de 800 y 850 MW, es de especial importancia que la instalación sea versátil para evitar interrupciones de suministro.

Se tendrá en cuenta, para esta decisión, el valor de potencia de cortocircuito es de 24.000 MW (intensidad de cortocircuito de 31 KA).

Se decide utilizar una configuración de interruptor y medio. Éste es un tipo de subestación de uso muy extendido, ya que, aunque supone un coste mayor, es segura y permitirá la fácil evacuación de la potencia de los grupos generadores.

Otras configuraciones como barra simple, no se pueden utilizar, ya que un fallo en barras o en un interruptor, deja fuera de servicio toda la subestación. Los sistemas con barra de transferencia o bypass, tampoco se contemplan, porque ya no es necesario realizar un mantenimiento frecuente ni tantas reparaciones.

La configuración en anillo, sería una buena solución para una subestación con dos entradas de grupos de generación y dos líneas de evacuación. No obstante, esta configuración no tiene ninguna capacidad de ampliación, por lo que la subestación solo podría usarse para generación y no valdría para transporte.

En cuanto a la doble barra, supone menores costes, pero es menos versátil que el interruptor y medio. Siendo la subestación en cuestión, una instalación cuya principal característica debe ser la versatilidad para permitir la fácil evacuación de la potencia de los grupos generadores.

La configuración de doble barra doble interruptor, es la más fiable, versátil, segura y con capacidad de ampliación. No obstante, sus costes son muy elevados y se considera suficiente la utilización de la configuración de interruptor y medio.

7. Tecnología de la aparamenta

En la subestación se empleará tecnología AIS.

Al estar situada en un terreno que dispone de una superficie de 10 hectáreas y en un ambiente rural, el aislamiento por aire es la mejor opción. Además, las condiciones climáticas que se dan en Zaragoceta no son extremas y no hay condicionantes medioambientales que impidan usar este tipo de tecnología, según se expone en el anejo 11 de Impacto ambiental. En cuanto a los costes, el uso de una tecnología GIS o HIS supondría una inversión más elevada.

Por todo ello, se considera la tecnología AIS como la más adecuada para la subestación de Caspe.

8. Descripción de la subestación

La subestación de Caspe se compondrá de un parque de 400 kV, con configuración de interruptor y medio, que dispondrá de 4 calles y 8 posiciones, siendo 2 de ellas, posiciones de reserva para una posible futura ampliación.

Interruptores:

Calle 1.-

Interruptor 11: Conexión con el grupo generador 1.

Interruptor 21: Conexión con el grupo generador 2.

Calle 2.-

Interruptor 12: Línea 1

Interruptor 22: Línea 2

Calle 3.-

Interruptor 13: Línea 3

Interruptor 23: Línea 4

Calle 4.-

Interruptor 14: Posición de reserva.

Interruptor 24: Posición de reserva.

9. Esquema unifilar simplificado

El esquema unifilar simplificado se encuentra en el apartado de planos e incluye una visión esquemática de toda la aparamenta y las edificaciones de la subestación, donde se puede apreciar claramente la configuración de interruptor y medio.

Como se ha comentado anteriormente, se representan 4 calles y 8 posiciones, con 2 de ellas reservadas para una posible ampliación futura.

En la calle 1 se representa la conexión entre la subestación y la central de ciclo combinado. A través de estas dos posiciones, se evacuará la potencia a las barras de la subestación y de ahí a las líneas de transporte de las calles 2 y 3. Como también se ha comentado anteriormente, el transformador elevador (de la tensión de generación a la tensión de transporte) se encuentra en el conjunto de la central de ciclo combinado y los interruptores de potencia también, por lo que en las ramas de conexión entre la subestación y la central sólo se muestran dos seccionadores, como dispositivos protección.

10. Condiciones ambientales

En este apartado se busca determinar, según características ambientales y climáticas, la aptitud de la zona establecida para la instalación de la subestación.

Los valores límites de las condiciones ambientales establecidas en la norma son:

- Temperatura ambiente máxima 40^o C
- Temperatura ambiente mínima -10^o C
- Humedad relativa máxima 95 %
- Altitud máxima 1.000 m.s.n.m
- Velocidad máxima del viento 140 km/h

El clima de Zaragoza es mediterráneo, con marcada influencia continental, caracterizado por escasas precipitaciones (320 mm anuales) y temperaturas en promedio moderadas (15,3^o C). Como temperatura mínima se pueden llegar a alcanzar los 5^o C y como temperatura máxima los 40^o C.

En la siguiente tabla se muestran datos de temperatura media, temperatura media de las máximas y temperatura media de las mínimas durante todo el año, según datos recogidos entre 1971 y 2010.

	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>M</u>	<u>A</u>	<u>My</u>	<u>Ju</u>	<u>Jl</u>	<u>A</u>	<u>S</u>	<u>O</u>	<u>N</u>	<u>D</u>	<u>Año</u>
T ^o C Media	6,6	8,7	11,3	13,4	17,6	21,7	24,9	24,7	21,0	15,8	10,3	7,3	15,3
T ^o C Max	10,5	13,5	16,9	19,1	23,6	28,3	31,9	31,4	27,1	21,0	14,6	10,9	20,7
T ^o C Min	2,8	3,9	5,6	7,7	11,5	15,1	17,8	17,9	14,9	10,5	6,0	3,8	9,8

Figura 1. Tabla de temperaturas

La humedad relativa de la zona es del orden del 60 %.

La velocidad del viento llega a ser muy alta en esta zona, siendo algunas veces, superior a 100 km/h. Para los cálculos del proyecto, dado que la parcela se encuentra a 209 metros sobre el nivel del mar, se tiene en cuenta una velocidad máxima de 140 km/h, ya que se correspondería con Zona A (según RLAT).

Según los valores límite establecidos anteriormente, el emplazamiento de Caspe se encuentra dentro del rango de condiciones ambientales normales de servicio.

En cuanto a la actividad sísmica, la provincia de Zaragoza tiene un coeficiente de aceleración sísmica básica entre 0,04 g y 0,08 g (siendo g la aceleración de la gravedad), por lo que se considera una zona de actividad sísmica moderada.

La zona de instalación de la subestación se corresponde con un nivel de contaminación medio según el Artículo 4.4 de ITC-LAT 07.

11. Necesidades eléctricas de diseño

El diseño de esta instalación eléctrica se llevará a cabo tomando como referencia el *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 ITCRAT 01 a 23.*

Tensión nominal	400 kV
Tensión más elevada del material	420kV
Frecuencia	50Hz
Intensidad de cortocircuito trifásica	31 kA

Coordinación de aislamiento.-

Diseño del aislamiento de la aparatamenta para soportar sobretensiones a frecuencia industrial, a impulso tipo rayo y a impulso tipo maniobra.

Tensión a impulso tipo maniobra	1.050 kV
Tensión a impulso tipo rayo	1.425 kV

Por tanto, se corresponde con un nivel de aislamiento de Grupo C, por ser la tensión más elevada del material mayor de 245 kV, según la ITC-RAT-12.

Distancias mínimas de aislamiento.-

Una vez diseñado el aislamiento, se pueden obtener distancias mínimas de aislamiento en aire, haciendo uso de los valores establecidos en la ITC-RAT-12.

Distancia mínima fase-tierra:

Conductor/estructura	2.600 mm
Punta/estructura	3.400 mm

Distancia mínima entre fases:

Conductor/conductor (paralelos)	3.600 mm
Punta/conductor	4.200 mm

Distancias en la subestación de Caspe.-

Altura del embarrado rígido principal	13,5 m
---------------------------------------	--------

Altura del embarrado rígido secundario	7,5 m
Altura del embarrado tendido	20 m
Ancho de calle	20 m
Distancia entre fases	6 m
Distancia entre apartamenta	5 m

12. Apartamenta

En la subestación se instalará la siguiente apartamenta:

- Interruptores de potencia.
- Seccionadores de columnas giratorias.
- Seccionadores pantógrafos
- Transformadores de intensidad.
- Transformadores de tensión capacitivos.
- Autoválvulas.

12.1 Interruptores de potencia

Se instalarán 9 interruptores de potencia trifásicos con ruptura en SF6, que deben cumplir con lo que se expone en la ITC-RAT-06.

Se escoge el modelo HPL 420B2 de ABB, que cuenta con las siguientes características:

- Operación monopolar.
- Tensión nominal: 420 kV.
- Corriente nominal de servicio: 4kA.
- Corriente nominal de servicio en cortocircuito: 63 kA.
- Nivel de aislamiento:
 - Nivel soportado a frecuencia industrial:
 - A tierra y entre fases: 520 kV
 - A través de polo abierto: 610 kV
 - Nivel soportado a impulso tipo atmosférico:
 - A tierra y entre fases: 1.425 kV
 - A través de polo abierto: 1.425 (+240) kV
 - Nivel soportado a frecuencia industrial:
 - A tierra y entre fases: 1.050/1.575 kV
 - A través de polo abierto: 900 (+345) kV
- Frecuencia nominal: 50 Hz.
- Línea de fuga: 44 mm/kV (25 mm/kV entre fases)
- Mecanismo de accionamiento: interruptor operado por mecanismos de operación de resorte cargado por motor.
- Número de accionamientos por interruptor: se utilizan 3 mecanismos de operación, para operación monopolar.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

- Tiempo de corte: 33 ms.
- Duración de corriente admisible de corta duración: 3 s.
- Secuencia de operación nominal: O-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO

12.2 Seccionadores trifásicos

Los seccionadores deben cumplir con lo expuesto en la ITC-RAT-06.

12.2.1 Seccionadores de columnas giratorias

Se van a emplear 14 juegos trifásicos de seccionadores de tres columnas con una columna central giratoria, y 4 juegos trifásicos de seccionadores de tres columnas con columna central giratoria y con seccionador de puesta a tierra. Se instalarán para conexión y desconexión entre una zona y otra del embarrado secundario y su función más importante es hacer visible el aislamiento.

Se eligen los modelos SG3CT – 420/4.000 y SG3C – 420/4.000 de MESA.

Características:

- Tensión nominal: 420 kV.
- Intensidad nominal: 4.000 A.
- Tipo de aislador: C6-1.550.
- Intensidad de corta duración:
 - o Valor eficaz: 50 kA.
 - o Valor de cresta: 125 kA.
- Tensiones de ensayo:
 - o A tierra y entre polos:
 - A frecuencia industrial: 520 kV.
 - A impulso tipo rayo: 1.425kV.
 - A impulso tipo maniobra: 1.050 kV.
 - o Sobre la distancia de seccionamiento:
 - A frecuencia industrial: 610 kV.
 - A impulso tipo rayo: 1.665kV.
 - A impulso tipo maniobra: 1.245 kV.

12.2.2 Seccionadores pantógrafos

Se usan 6 juegos trifásicos de seccionadores pantógrafos, del modelo SPD-420/4.000 de MESA. Estos estarán situados en las zonas de unión entre los embarrados principal y secundario, para su conexión y desconexión.

Características:

- Tensión nominal: 420 kV.
- Intensidad nominal: 4.000 A.
- Tipo de aislador: C6-1.550.
- Intensidad de corta duración:

- Valor eficaz: 50 kA.
- Valor de cresta: 125 kA.
- Tensiones de ensayo:
 - A tierra y entre polos:
 - A frecuencia industrial: 520 kV.
 - A impulso tipo rayo: 1.425kV.
 - A impulso tipo maniobra: 1.050 kV.
 - Sobre la distancia de seccionamiento:
 - A frecuencia industrial: 610 kV.
 - A impulso tipo rayo: 1.665kV.
 - A impulso tipo maniobra: 1.245 kV.

12.3 Transformadores de intensidad

Se instalan 36 de transformadores de intensidad monofásicos para medida. Su función reside en transformar la intensidad de los embarrados a un valor menor para medir.

Cumplirán con lo prescrito en las normas de la serie UNE-EN 60044 y en la ITC-RAT-08.

Se escoge el modelo CA-420 de Artech.

Características:

- Aislamiento papel-aceite.
- Frecuencia nominal: 50 Hz.
- Tensión máxima de servicio: 420 kV.
- Línea de fuga estándar: 10.500 mm.
- Aislamiento:
 - Sobretensión a frecuencia industrial: 630 – 575 kV.
 - Sobretensión a impulso tipo rayo: 1.425 – 1.300 kV.
 - Sobretensión a impulso tipo maniobra: 1.050 kV.
- Intensidad de cortocircuito: puede soportar hasta 120 kA/ 1 s.
- Relaciones de transformación: 3.000 - 2.000 / 5A.
- Clase y potencia de precisión: 30 VA Cl 0,2s.
- Rango de temperaturas de servicio: -55 °C - +55 °C.
- Altura de servicio máxima: 1.000 m.s.n.m.

12.4 Transformadores de tensión capacitivos

Se instalan 18 unidades de transformadores de tensión capacitivos para medida y protección. Se situarán al comienzo de las líneas de evacuación de potencia y en barras, para protección de las líneas y de la subestación. Además, los transformadores de tensión capacitivos separan del circuito de alta tensión los instrumentos de medida, y reducen las tensiones a valores manejables.

Cumplirán con lo prescrito en las normas de la serie UNE-EN 60044 y en la ITC-RAT-08.

Se escoge el modelo DFK-420 de Artech.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Características:

- Aislamiento papel-aceite.
- Frecuencia nominal 50 Hz.
- Tensión máxima de servicio: 420 kV.
- Línea de fuga estándar: 10.500 mm.
- Aislamiento:
 - o Sobretensión a frecuencia industrial: 630 – 575 kV.
 - o Sobretensión a impulso tipo rayo: 1.425 – 1.300 kV.
 - o Sobretensión a impulso tipo maniobra: 1.050 kV.
- Clases y potencia de precisión:
 - o Primer núcleo: CI 0,5 – 3P; 75 VA.
 - o Segundo núcleo: CI 0,5 – 3P; 75 VA.
- Tensión nominal del primario: $396/\sqrt{3}$ kV.
- Tensión nominal del secundario: $110/\sqrt{3}$ V.
- Rango de temperaturas de servicio: -55 °C - +55 °C.
- Altura de servicio máxima: 1.000 m.s.n.m.
- Factor de tensión: 1,2
- Capacidad estándar: 3.500 pF
- Alta capacidad: 7.700 pF

12.5 Autoválvulas

Se instalan 12 autoválvulas del modelo EXLIM Q-D 420 de ABB.

Cumplirán lo prescrito en la norma UNE 21087.

Su función será proteger contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento, y se situarán al comienzo de las líneas de evacuación. Las autoválvulas son necesarias ya que, como se demuestra más adelante, en el apartado de Cálculos de Red de tierras superiores, se precisa la implantación de un sistema de protección ante rayos en la zona donde se construye la subestación.

Características:

- Tensión nominal: 330 kV.
- Tensión de funcionamiento continuo: 264 kV.
- Corriente de descarga nominal normalizada: 20 kA.
- Clase: 4
- Tensión residual: 854 kV.
- Tipo de conexión del neutro: Rígido a tierra.
- Margen de protección: Valor mínimo recomendado de 1,2.
- Capacidad frente a sobretensiones temporales (TOV): 382 kV.
- Distancia máxima entre la autoválvula y el punto de protección: 50 m.

13. Aisladores de apoyo

Se instalan para soportar los tubos de los embarrados principales y secundarios de la subestación, si se supera el límite de vano libre de los tubos instalados.

Cumplirán lo que se expone en las normas IEC 60815 e IEC 60137.

En el embarrado principal no será necesario instalar aisladores de apoyo ya que no se supera en ningún momento los 20 metros de vano establecidos.

En el embarrado secundario, sí será necesaria la instalación de aisladores de apoyo, ya que en el caso de la fase más alejada, se supera el vano establecido de 15 metros. Se instalarán 6 aisladores de apoyo.

En los tramos del vano B, correspondientes a las barras secundarias, se instalan aisladores del modelo C8-1425 de Poinsa, de las siguientes características:

Carga de rotura a flexión	8.000 N
Carga de rotura a torsión	4.000 N
Altura del aislador	3.150 mm
Altura de la pieza soporte	170 mm
Línea de fuga mínima (20mm/kV)	8.400 mm

14. Red de tierras

14.1 Red de tierras inferiores

La red de tierras inferiores es toda ligazón metálica directa entre dos puntos de la subestación y uno o varios electrodos enterrados en el suelo.

Tiene como función forzar la derivación a tierra de las corrientes que se puedan formar, proporcionando un circuito de baja impedancia. Además, la puesta a tierra, establece un potencial de referencia permanente, evitando las diferencias de potencial entre dos puntos, debido a la circulación de dichas corrientes.

Para la puesta a tierra se tendrá en cuenta lo expuesto en el Reglamento de Alta Tensión, en su ITC-RAT 13, así como la norma IEEE-80-2000: "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

El electrodo de puesta a tierra de la subestación estará formado por una malla que abarcará la superficie de toda la subestación, con una retícula de 10 metros y que será enterrada a una profundidad de 0,8 metros.

Para el electrodo de puesta a tierra se utilizará un conductor de cobre de sección 120 mm².

La resistividad del terreno natural existente resulta ser de 250 Ω.m, según lo comentado en el apartado de localización geográfica. Dentro de la subestación, se ha mejorado el terreno, resultando una resistividad de 100 Ω.m.

La subestación estará cubierta por una capa de grava de 10 centímetros de espesor, excepto en los viales, donde se aplicará una capa de asfalto de 5 centímetros. Por tanto, la resistividad de la capa superficial será de 5.000 $\Omega \cdot m$ en viales y de 3.000 $\Omega \cdot m$ en el resto de la subestación.

14.2 Red de tierras superiores

La red de tierras superiores se compone de cables de guarda y puntas Franklin, que tienen como objetivo proteger al personal y a los equipos de la subestación frente a descargas atmosféricas.

Para el diseño de la red de tierras superiores se ha adoptado el modelo electro geométrico de las descargas atmosféricas.

Con la red de tierras superiores, se busca llevar a cabo el apantallamiento de los embarrados y aparos, para que todas las descargas que superen el nivel de aislamiento de la subestación, sean captadas por los cables de guarda y puntas Franklin y desviadas al electrodo de tierra por el camino de menor impedancia posible.

Para ello es necesario planear una disposición de los cables de guarda y las puntas Franklin, de modo que se asegure la protección de todas las zonas bajo tensión.

15. Embarrados

Los embarrados son el conjunto de tubos o conductores flexibles que se usan en las subestaciones para conectar los distintos elementos de alta tensión.

15.1 Embarrados principales

Son tubos de aluminio huecos que constituyen las barras de la subestación e incluyen un cable en su interior para reducir las vibraciones.

Características:

Aleación	6063-T6 (AlMgSi0,7)
Diámetro exterior (D) interior (d)	250/228 mm
Espesor de la pared (e)	11 mm
Peso propio unitario (P_{pt})	22,30 kg/m
Sección (A)	8.259 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	5910 cm ⁴
Momento resistente (W)	473 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²

Límite de fluencia mínimo del material (R_{po2})	170 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima ¹	5.014 A.

15.2 Embarrados secundarios

Los embarrados secundarios están constituidos por tubos huecos de menor diámetro que los principales, que se usan como unión entre la aparamenta de la subestación. También incluyen en su interior un cable para reducir las vibraciones.

Características:

Aleación	6063-T6 (AlMgSi0,7)
Diámetro exterior (D) interior (d)	150/134 mm
Espesor de la pared (e)	8 mm
Peso propio unitario (Ppt)	9,63 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	902 cm ⁴
Momento resistente (W)	121 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (R_{po2})	170 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima ¹	3.250A.

15.3 Embarrados de tendido alto

Este tipo de embarrado está constituido por conductores flexibles para llevar a cabo las funciones de interconexión.

Características:

Tipo de conductor	Dúplex LAPWGIN
Diámetro del conductor	38,16 mm
Sección del conductor	861,3 mm ²
Peso propio del conductor	2,666 kg/m
Módulo de elasticidad	70.000 N/mm ²
Intensidad admisible permanente a 35° C	

¹ Calculada s/fabricante (DIN 43670) a Ambiente = 30°C y Tconductor = 65 ° C.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

de temperatura ambiente y 75º C en conductor	2.129 A
Intensidad admisible permanente a 10º C de temperatura ambiente y 75º C en conductor	3.205 A
Tensión máxima	1.050 kg a 50ºC (10.300,5 N)
Flecha máxima	3% (1,4 m)

El amarre de estas conexiones tendidas a los pórticos se realizará mediante cadenas de aisladores, cada una con 22 aisladores de vidrio templado (el cálculo de las cadenas de aisladores se especificará en los Anejos).

16. Pórticos y estructuras metálicas

Los pórticos son apoyos metálicos que se disponen para el amarre de las líneas (pórticos de entrada) o para la sujeción del tendido alto (pórticos intermedios).

En la subestación de Caspe se instalarán 12 pórticos, ya que, por tener configuración de interruptor y medio, se dispone de dos apoyos por cada posición.

En cuanto a sus características, los pórticos que se van instalar son estructuras planas de alma llena y hechas de acero galvanizado para proteger contra la corrosión. Estos apoyos tendrán una altura de 22 metros, mayor de la mínima exigida por el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión (RLAT), en su ITC-07.

Distancia del apoyo al terreno:

Se considera, según se indica en el RLAT, que debe haber una distancia mínima de cruce entre los embarrados principales y el tendido alto. Se procurará que el cruce se efectúe en la proximidad de uno de los apoyos de la línea más elevada. La distancia entre los tubos inferiores y las partes más próximas de los apoyos de la línea superior no deberá ser inferior a:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} \text{ (m)}$$

Con un mínimo de 7 metros para líneas de tensión de 400 kV.

Por lo tanto, dado que los embarrados principales se situarán a 13,5 metros del suelo y se precisa una distancia mínima de 7 metros entre embarrado y tendido alto, la altura mínima de los pórticos será de 20,5 metros.

Se toma una altura final de apoyo de 22 metros.

Por otro lado, se tienen los soportes metálicos de los aparatos y embarrados tubulares. Éstos serán soportes tripolares, que cuentan también con estructuras y materiales

similares a los de los pórticos. Su función es mantener una altura de seguridad entre los aparatos en tensión y el suelo.

Para determinar la altura de estos soportes, se tiene en cuenta lo indicado en las ITC-RAT-12 y 15 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión.

En estos apartados se determina que la altura mínima de los elementos en tensión no protegidos que se encuentran sobre los pasillos, deberán estar a una altura mínima "H".

Dicha altura se determina como: $H = 250 + d$ (cm)

Siendo "d" la distancia de las tablas 1, 2 y 3 de la ITC-RAT-12 (*Figura 2*), en función de la tensión soportada a impulsos tipo rayo adoptada por la instalación, que en este caso será: $d = 260$ cm

Por tanto, la altura mínima a tener en cuenta para dichos soportes será de 5,1 metros.

La altura tomada para estos soportes metálicos en la subestación de Caspe es de 7,5 metros.

17. Obra civil y edificación

17.1 Vallado

La subestación será rodeada por una valla metálica de acero galvanizado para su protección. La valla tendrá una altura de 2,5 metros de altura, cumpliendo así con la altura mínima de 2,20 metros que se dispone en el MIE – RAT ITC 15. La valla será provista de señales de advertencia de peligro por alta tensión, con el objetivo de advertir sobre el peligro a las personas ajenas al servicio.

Además, se dispondrán dos puertas de entrada al recinto, una puerta de peatones y otra de vehículos (con posibilidad de entrada de vehículos de mantenimiento de mayores dimensiones).

17.2 Movimiento de tierras

El terreno de la subestación será explanado de manera que se facilite la evacuación de agua, mediante una pendiente adecuada y un sistema de drenaje. Además se evitará la emanación de polvo mediante la utilización de suelo de grava, asfáltico, hormigón. Se eliminará la vegetación del terreno, sin necesidad de llevar a cabo medidas compensatorias con el medio ambiente, tal y como se explica en el apartado 4 del anejo 11, dedicado al Impacto ambiental de la subestación.

Se tendrá en cuenta la naturaleza del suelo para llevar a cabo el movimiento de tierras, ya que puede haber diferentes estratos a distintas profundidades. Para ello, se considerará el estudio geológico del terreno que se realiza previamente al proyecto. En nuestro caso, se tomará como ejemplo el estudio geológico mencionado anteriormente en el apartado de Localización geográfica. Según dicho estudio, se considera necesario realizar una excavación de 3 metros de profundidad y rellenar con terreno adecuado, para conseguir formar un terreno plano y estable para la subestación.

Tal y como se expone en el artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), se considera terreno adecuado, el que cumple las siguientes características:

- Contenido en materia orgánica < 1%.
- Contenido en sales solubles < 0,2%.
- Tamaño máximo ≤ 100 mm.
- Pasa por el tamiz 2 UNE < 80%, por el tamiz 0,080 UNE < 35%.
- Límite líquido < 40, y en el caso que LL > 30, tendrá que cumplirse también que el índice de plasticidad > 4.

17.3 Drenajes y saneamientos

En la subestación se dispondrá de una red de drenaje formada por tubos, distribuidos por toda la parcela, que evacuarán las aguas hacia el exterior de la subestación para evitar acumulaciones y encharcamientos.

Se instalará un sistema de saneamiento para evacuar aguas residuales desde el edificio de control hasta una fosa séptica y de ahí a un pozo filtrante.

Las aguas de drenaje y las de residuos no serán vertidas en conjunto, sino que seguirán caminos separados.

17.4 Cimentaciones

Según el estudio geológico, el tipo de terreno donde se construye la subestación está formado mayoritariamente por calizas blandas, por lo que se considera una capacidad de carga entre 1 y 4 kg/cm².

Dada esta capacidad de carga, se decide utilizar cimentación por losas armadas para los soportes metálicos de la aparamenta. Las losas armadas son cimentaciones superficiales que se disponen en plataforma, para transmitir las al terreno y así distribuir los esfuerzos uniformemente. Se dejarán embebidas las canalizaciones prefabricadas de hormigón de los cables.

Para los apoyos o pórticos, se llevará a cabo una cimentación monobloque de pata de elefante, que es la recomendada en el Reglamento de Líneas de Alta Tensión para terrenos en los que no se detecta roca sana. Se toma un coeficiente de estabilidad de 1,5 (condiciones normales) y un ángulo de arranque de 30º (para terreno normal).

Dado que los esfuerzos transmitidos al terreno por las cimentaciones no serán muy grandes, se utilizará la estabilidad al vuelco como criterio de diseño.

17.5 Accesos

Como se ha explicado anteriormente, existirán dos accesos, uno para peatones y otro para vehículos. Además, será necesario establecer un acceso desde la carretera A-221 hasta la subestación. Todos los accesos estarán adecuadamente asfaltados y acondicionados.

Los viales de la subestación y los de acceso a la misma, deben tener en cuenta los puntos para el mantenimiento y los radios de giro requeridos por los vehículos.

17.6 Edificaciones

17.6.1 Edificio de mando y control

Se dispone de un edificio de dimensiones 30 x 15 metros desde el cual se gestiona la subestación. El edificio de mando y control reúne equipos de comunicación, los cuadros de servicios auxiliares de alterna y de continua, talleres, archivo, almacenes y centralitas de los sistemas de seguridad y antiintrusismo.

Dispondrá también de una zona de vestuarios y aseos para uso del personal de la subestación.

El edificio será de estructura y cerramiento prefabricado de hormigón y con cimentaciones de hormigón según las cargas propias y las condiciones de cimentación que determine el estudio geológico.

Se deben prever dispositivos de ventilación en todas las dependencias de los edificios. Se instalarán rejillas para ventilación natural en todas las salas excepto en la sala de control. En el aseo se instalará además un extractor. En la sala de control se dispondrá de los equipos de climatización necesarios, que serán los encargados de mantener constante la temperatura interior de la sala. Los drenajes de estos equipos se conectarán a la red de pluviales de la subestación. Es imprescindible que ante un corte de corriente (conmutación de servicios auxiliares, etc.) los equipos continúen funcionando sin necesidad de reconexión manual.

Se deberán dejar unos orificios a nivel del suelo en las paredes del edificio de control, para llevar a cabo el conexionado por cable del edificio de mando y control y las casetas de relés.

Por estar situada a 8 km de la población más cercana, se dispondrá de un depósito propio de aguas de 12 m³ y un sistema para aprovechar las aguas pluviales, ya que resultaría más complejo realizar una conexión con la red de agua del municipio.

17.6.2 Casetas de relés

Se van a construir 3 casetas de relés prefabricadas de 4 x 10 metros, del fabricante Aplihorsa, distribuidas por el parque. En concreto, habrá una caseta de relés por cada calle del parque, donde se ubicarán los bastidores de relés (un bastidor de celda central y un bastidor por cada línea y celda lateral), las unidades de protección diferencial de barras (dos en total para toda la subestación), los cuadros de servicios auxiliares de corriente alterna, un armario de comunicaciones y otro equipamiento secundario asociado a las posiciones más próximas.

El edificio será de estructura y cerramiento prefabricado de hormigón y con cimentaciones de hormigón según las cargas propias y las condiciones de cimentación que determine el estudio geológico. Además, el diseño de las casetas permitirá el paso de los cables de conexión a través de las paredes.

En cuanto a la climatización, se instalarán radiadores eléctricos con termostato y un equipo de aire acondicionado.

18. Sistemas de protección

Los sistemas de protección tienen la función de proteger las instalaciones de la subestación (líneas, barras, aparatos y otros equipos) ante una falta y aislar las partes afectadas de las sanas. Estos sistemas cumplirán con lo prescrito en la ITC-RAT-09.

Estos sistemas detectan las condiciones anormales del Sistema Eléctrico de Potencia y toman de forma automática las medidas para restablecer la operación normal.

Tienen como función la creación de un Sistema Eléctrico de Potencia de buena calidad y sin interrupciones. La adecuada regulación de voltaje ($\pm 5\%$) y de frecuencia (banda de $\pm 2\%$), además de una cantidad mínima de interrupciones.

Un sistema de protecciones bien integrado debe estar correctamente coordinado y ser flexible frente a futuras ampliaciones del sistema.

Las características que debe tener un sistema de protección son:

- Propiedades de los relés de protección.
 - Seguridad: probabilidad de que el relé no actúe cuando no debe actuar.
 - Obediencia: probabilidad de que el relé actúe cuando debe actuar.
 - Fiabilidad: probabilidad de que el relé actúe cuando debe actuar.
- Selectividad: consiste en aislar únicamente el equipo que ha fallado.
- Rapidez: mínimo tiempo de operación de la protección.
- Exactitud: operar con la mínima desviación sobre la magnitud de ajuste.
- Zonas de operación: no pueden quedar sectores sin proteger.
- Sensibilidad: capacidad de operar ante el menor fallo en su zona o ante la menor variación de la magnitud controlada respecto de la magnitud de referencia.
- Respaldo: si una protección no actúa cuando debe, es necesario que haya otra que detecte y aisle el fallo.

Para las protecciones de la subestación de Caspe se seguirá el criterio de protecciones de Red Eléctrica de España.

El sistema general de protección de Caspe es 2P2C. Este esquema se compone de dos sistemas de protección (87L & 21) y un sistema de comunicación doble, constituido por un doble camino de fibra óptica.

18.1 Protección de línea

La protección de una línea de tensión se compone de una protección primaria y una secundaria. El objetivo es el disparo de los extremos de la línea en falta, y en tiempo inferior al máximo admisible.

- Protección primaria o principal:
Debe incluir las siguientes funciones de protección: diferencial de línea (87L), función de distancia (21), sobreintensidad de neutro (67N), reenganche (79), térmica (49), localizador de falta, oscilografía y función instantánea de sobreintensidad (50C).

Se utilizará el modelo SIPROTEC 7SD5225 de Siemens.

- Protección Secundaria:

Debe incluir las siguientes funciones de protección: diferencial de línea (87L), función de distancia (21), de sobreintensidad de neutro (67N), reenganche (79), sobretensión de c.a (59), localizador de falta y oscilografía.

Se utilizará el equipo SIPROTEC 7SD522 de Siemens.

18.2 Protección de interruptor

Debe incluir las siguientes funciones de protección: fallo interruptor (50S-62), función de cierre o arranque con tiempo de retraso (2), función de sincronismo (25), función protección interruptor que sirve para dar el permiso de sincronismo de reenganche, función de mínima tensión de c.a (27) y oscilografía.

Se utilizará el relé de falla de interruptor de SEL, SEL- 451.

18.3 Protección de barras

Las barras se deben proteger con función diferencial debido a que, en las faltas en barras, se aporta mucha intensidad a la falta y si se despeja mal puede afectar y dejar fuera de servicio a muchos elementos.

Se utilizarán dos relés diferenciales de barras y de falla de interruptor SEL- 487B, para cada barra.

19. Operación y control de la subestación

Se diferencian tres niveles jerárquicos de operación de la subestación:

- Nivel 0 o nivel de campo: se trata de accionar los elementos de la subestación de manera manual, cosa que se realiza únicamente en pruebas sin carga. Se habilitará con un selector local/remoto, en la posición de local.
- Nivel 1 o de posición: se basa en la operación de los elementos de una calle o posición, a través de un sinóptico. Se utilizarán 5 equipos UCL de SAC por cada posición. Se dispondrá también, de un selector local/remoto para poder ejercer el mando desde un nivel superior.
- Nivel 2 o nivel de subestación: se basa en la operación de todos los mandos de la subestación a través de un ordenador (SCADA) o un sinóptico general. Se dispone de un selector local/remoto para permitir el mando al nivel jerárquico superior.
- Nivel 3 o nivel de despacho: constituido por el Centro de Control Eléctrico (CECOEL), donde se centraliza la operación del sistema. Desde allí se puede controlar de forma remota todos los elementos de mando de la subestación.
Se dispondrá de enclavamientos eléctricos, mecánicos y operacionales, para poder maniobrar con mayor seguridad los equipos de la subestación.

20. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares están formados por las fuentes de alimentación y los sistemas de distribución de energía, para asegurar el funcionamiento de los sistemas secundarios.

Se dispondrá de servicios auxiliares de corriente alterna y de corriente continua.

Su función se basa en distribuir la energía a la aparamenta, los equipos de mando y control y las instalaciones anexas, asegurando calidad de servicio y seguridad para su funcionamiento fiable.

20.1 Servicios auxiliares de corriente alterna

Tienen como tensión de distribución 400/230 V, 50Hz.

Al tratarse de una subestación sin transformación, la alimentación a los servicios auxiliares de corriente alterna se realizará desde sistemas eléctricos externos a la subestación.

Se alimentará desde una línea de media tensión (20 kV) a un centro de transformación exclusivo de la subestación. Se instalará un centro de transformación prefabricado de Ormazabal, tipo CTR-2, 24 kV y 250 kVA, para reducir la tensión a 400V trifásicos.

Además, se cuenta con un grupo electrógeno de 200 kVA, 400/230V, 50 Hz, con depósito de combustible diésel para tener una autonomía de 48 horas.

Estos dos medios de alimentación abastecerán a los siguientes sistemas:

- Cuadro principal de corriente alterna:
Será instalado en la sala de servicios auxiliares del edificio de control.
La configuración del cuadro será de simple barra partida.
- Cuadros de distribución del edificio de control:
Se alimentarán desde el cuadro general.
Dentro de los cuadros de distribución se distinguen:
 - Cuadro general de alumbrado interior y exterior.
 - Cuadro de fuerza y climatización (barras separadas).
 - Cuadro de la sala de comunicaciones.
- Cuadros de distribución de casetas de relés:
Habrá un cuadro de servicios auxiliares en cada caseta de relés.

20.2 Servicios auxiliares de corriente continua

Se distinguen dos sistemas:

- Sistema de 125 V:
Para la alimentación de los equipos de protecciones, señalización, control y sistema de fuerza de corriente continua.

Se utilizarán dos equipos rectificador-batería con entrada de 400 V trifásicos y salida de 125 V de continua. Estarán situados en la sala de servicios auxiliares del edificio de control y tendrán capacidad, cada uno, para alimentar el cuadro general de corriente continua. El cuadro de 125 V tendrá una configuración de barra partida, estando cada tramo de barras alimentado desde un rectificador-batería.

Estos equipos, rectificador- batería, tendrán una autonomía de unas 4 horas, para dar tiempo a la reposición del servicio de alterna o realizar un cero controlado de la subestación.

- Sistema de 48 V:
Para alimentar los equipos de telecomunicaciones y telecontrol.

Este sistema se alimenta de dos equipos rectificador-batería con entrada de 400 V trifásicos y salida de 48 V de continua. El cuadro de 48 V está formado por dos barras independientes, alimentadas cada una desde un rectificador-batería.

21. Sistema de telecomunicaciones

El sistema de comunicaciones tiene como función permitir el mando y la monitorización en remoto de la subestación desde el Centro de Control Eléctrico (CECOEL), así como establecer los medios para la comunicación entre casetas y el edificio de control dentro de la subestación.

Deberá permitir el funcionamiento de los servicios de telemando, teleseñalización, telegestión, teled medida y teleprotección.

Los servicios mencionados consisten en:

- Telemando:
Envío de órdenes de maniobra, como la apertura o cierre de interruptores.
- Telegestión:
Monitorización el estado de los elementos de la subestación y aviso de alarmas e incidencias en los mismos.
- Teled medida:
Uso de la red de fibra óptica para recopilar datos de equipos a distancia y gestionar las medidas a tomar.
- Teleseñalización:
Conocimiento del estado de la subestación y control desde el edificio de mando.
- Teleprotección:
Comunicación entre las protecciones de la subestación, las casetas de relés y el edificio de control.

Para dar respuesta a los servicios requeridos se emplearán:

- Doble sistema de comunicación con doble SDH, para una mayor seguridad.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

-
- En la sala de control del edificio de mando de la subestación se instalará un armario para la realización de comunicaciones remotas.
 - Una red de fibra óptica multimodo dentro de la subestación, con repartidores de fibra óptica en todas las casetas y en el edificio de control.
 - o Comunica las protecciones primarias y secundarias de línea con las casetas de relés y el edificio de control.
 - o Permite la interconexión de las diferentes UCL (Unidades de Control Local) con el CCS (Centro de Control de Subestación).
 - Red de telefonía y datos con protocolo IP para todas las casetas y el edificio de control.
 - o La telegestión de equipos se realizará a través de IP.
 - o En la red IP se integrará una central telefónica para la subestación.
 - o Se instalará un cableado desde el armario de comunicaciones del edificio de control a todas las casetas de la subestación.
 - Cable de tierra OPGW en las líneas de transporte, que lleva dentro fibra óptica para tener un mínimo de dos vías de transporte independientes de la subestación.

22. Sistema de alumbrado y fuerza

Se instalará un sistema de alumbrado interior y otro exterior, para poder llevar a cabo intervenciones en una instalación, en cualquier situación, y para dar seguridad.

Alumbrado y fuerza exterior.-

El nivel de iluminación medio para los viales será de 20 lux para viales.

Se emplearán luminarias esféricas con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 110 W y 230 V, en columnas de acero galvanizado de 3,5 metros. La alimentación se realizará en corriente alterna, procedente del cuadro de corriente alterna del edificio.

El encendido de este alumbrado será manual o automático, por medio de un una célula fotoeléctrica.

En zonas donde se realicen operaciones de maniobra o mantenimiento frecuentes, se instalará un sistema de alumbrado intensivo para conseguir un nivel luminoso de 200 lux. Para ello, se utilizarán columnas de acero galvanizado de 1,2 metros de altura con proyectores dobles orientables, con lámpara de vapor de sodio de alta presión de 400 W, 230 V.

El control de este alumbrado intensivo se realizará desde una caja exterior que contendrá además una toma de fuerza trifásica de 16 A.

Alumbrado y fuerza interior.-

El interior del edificio de mando irá dotado de iluminación a base de lámparas y luminarias fluorescentes distribuidas en varios circuitos.

Se considerarán los siguientes valores de iluminación mínimos:

- Sala de control y comunicaciones: 500 lux.
- Sala de servicios auxiliares, taller y casetas de relés: 300 lux.

Las luminarias seleccionadas estarán dotadas de doble tubo fluorescente de 36 W. La alimentación se realizará mediante corriente alterna, procedente del cuadro de corriente alterna del edificio.

Alumbrado de emergencia.-

Se contará también con un alumbrado de emergencia que no dependerá de fuentes externas a la subestación.

Se instalarán los elementos necesarios para obtener un nivel luminoso mínimo de 5 lux, teniendo en cuenta que en cada salida existirá un elemento. Los equipos tendrán una autonomía de al menos una hora.

Como se ha explicado anteriormente, la conmutación entre el alumbrado permanente y el de emergencia se realizará automáticamente.

23. Sistema contra incendios

Su función será detectar de manera automática los incendios que se puedan producir en la subestación y señalar estas situaciones con alarmas.

Este sistema cumplirá las especificaciones de la ITC-RAT-14, para las zonas interiores de la subestación, y lo expuesto en la ITC-RAT-15, para las zonas exteriores.

Se instalarán los siguientes equipos:

- Detectores ópticos, tanto en interior como en exterior.
- Detectores iónicos en la sala de servicios auxiliares, sala de comunicaciones, edificio de control y en casetas de relés.
- Detectores termovelocimétricos en el edificio de control y la sala de almacén.
- Componentes adicionales como: pulsadores manuales de alarma, pilotos de señalización, sirena de alarma, señalizaciones fotoluminiscentes en las vías de evacuación, extintores polivalentes (6 kg.) y extintor móvil de polvo (25 kg).

24. Sistema antiintrusismo

Su función será detectar y evitar la entrada de personas no autorizadas a la instalación.

- Detectores volumétricos, infrarrojos y microondas. Se instalarán en el edificio de control.
- Sirena Exterior.
- Contactos magnéticos en el edificio de control y las casetas de relés.
- Acreditación magnética. La utilizarán los empleados de la subestación para acceder a la misma y a todos los edificios.
- Sistema de video-vigilancia.

25. Planificación de la construcción de la subestación

A continuación se muestra un diagrama de Gantt con cada una de la etapas que se van a llevar a cabo en la construcción de la subestación, que abarcará un periodo de 18 meses, desde el diseño de la instalación hasta la puesta en marcha de la subestación.

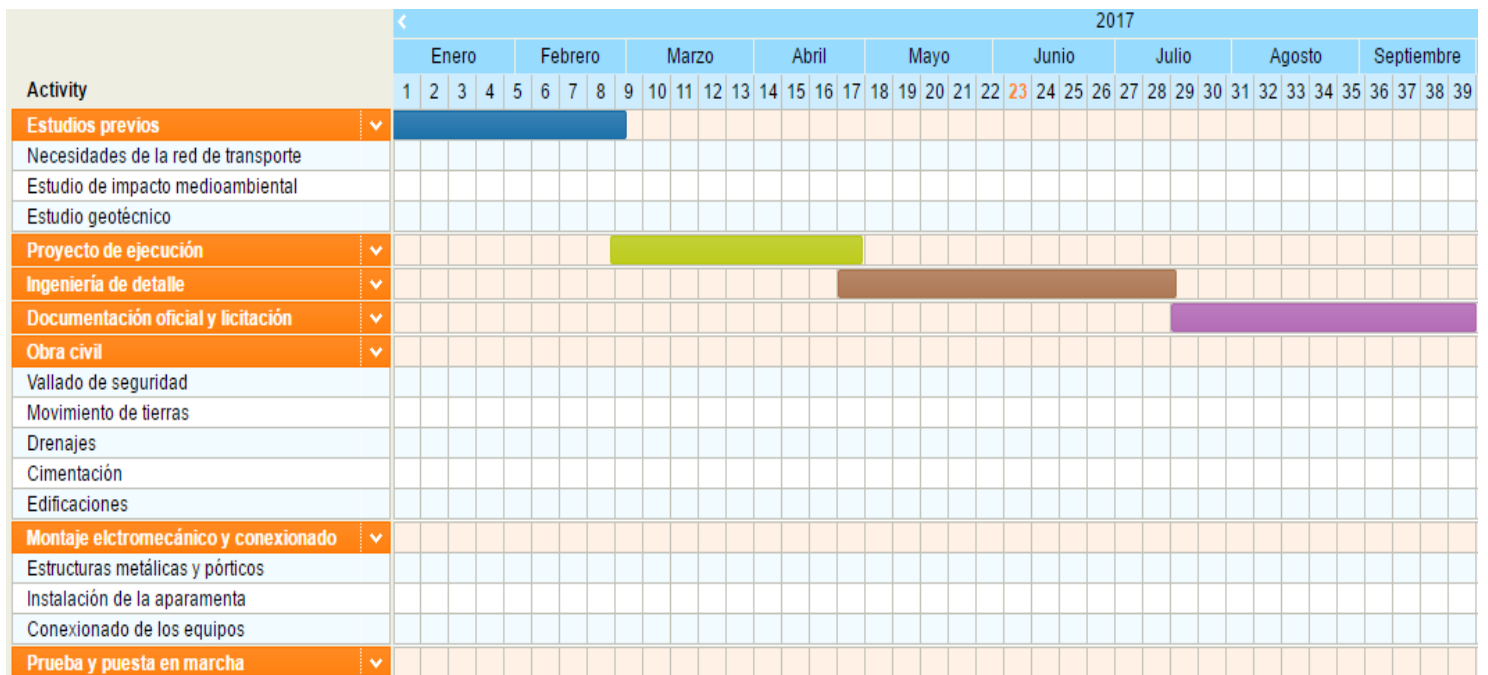


Figura 2. Diagrama de Gantt

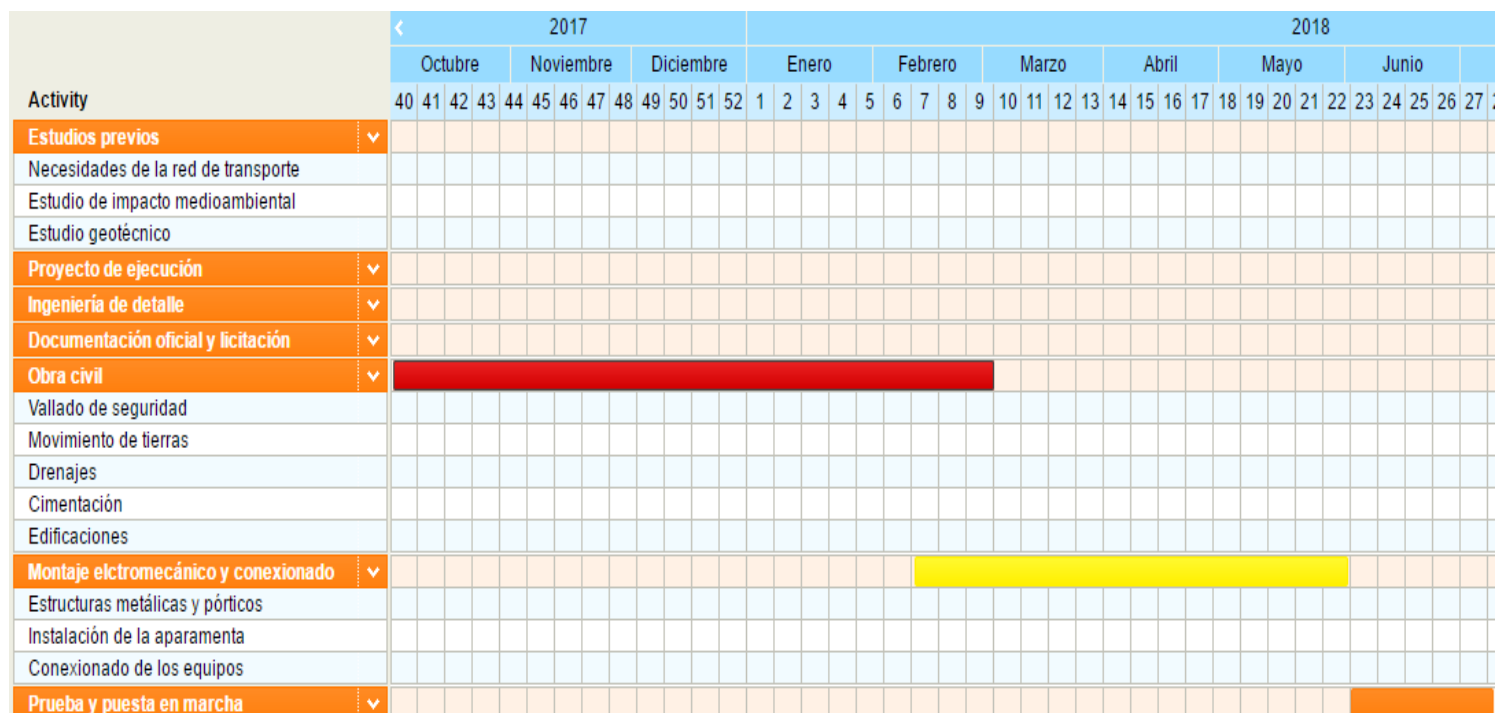


Figura 3. Diagrama de Gantt

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

CÁLCULOS

CÁLCULOS**ÍNDICE**

ÍNDICE DE FIGURAS.....	33
1. Objeto.....	34
2. Cálculo mecánico de embarrados rígidos.....	34
2.1 Hipótesis de diseño.	34
2.2 Condiciones de la instalación.....	35
2.3 Normativa aplicable	35
2.4 Características de los materiales / equipos a instalar	36
2.5 Cálculo mecánico del embarrado principal	37
2.5.1 Corriente de cortocircuito.....	37
2.5.2 Tensión en el tubo	38
2.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte	40
2.5.4 Flecha en el tubo	41
2.5.5 Elongación del embarrado	42
2.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.	42
2.5.7 Intensidad nominal de las barras.	42
2.6 Cálculo mecánico del embarrado secundario.....	43
2.6.1 Corriente de cortocircuito.....	43
2.6.2 Tensión en el tubo	43
2.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte	46
2.6.4 Flecha en el tubo	47
2.6.5 Elongación del embarrado.....	47
2.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.....	47
2.6.7 Intensidad nominal de las barras.....	48
3 Cálculo de coordinación de aislamiento.....	48
3.1 Sobretensiones debidas a impulsos tipo rayo	48
3.2 Sobretensiones debidas a impulsos tipo maniobra	49
4 Cálculo de efecto corona	49
4.1 Cálculo de la tensión disruptiva.	49
5. Determinación de las distancias mínimas en embarrados tendidos	51
5.1 Hipótesis de diseño	51
5.2 Normativa aplicable	52
5.3 Desplazamiento del vano con viento	52
5.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito.....	53

5.4.1 Dimensiones y parámetros característicos.....	53
5.4.2 Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito	56
5.5 Aproximación de conductores	56
5.6 Distancia mínima.....	57
5.7 Distancias mínimas a adoptar.....	58
6 Selección de autoválvulas.....	58
7 Red de tierras inferiores.....	60
7.1 Criterios de cálculo.....	60
7.2 Cálculo de las resistividades aparentes superficiales:.....	61
7.3 Cálculo de las tensiones de paso y de contacto.....	62
7.4 Resistencia de puesta a tierra.....	63
7.5 Intensidad de defecto a tierra.....	63
7.6 Evaluación de tensiones de paso y contacto	64
7.7 Conductor	67
8 Red de tierras superiores.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resistividad del terreno	60
Figura 2. Tensión de contacto aplicada admisible en función de la duración de falta	61
Figura 3. Gráfica para determinar el factor Sf.....	64
Figura 4. Malla rectangular y malla en L	66
Figura 4. Esquema de apantallamiento de la subestación.....	69
Figura 5. Mapa de densidad de impactos de rayos en España.....	70
Figura 6. Esquemas de la superficie de captura de descargas	70
Figura 7. Tabla de coeficientes para el cálculo de la frecuencia esperada de impactos.....	71
Figura 8. Tabla de coeficientes para el cálculo de la frecuencia admisible de impactos	71
Figura 9. Nivel de protección en función de la eficiencia requerida	72

1. Objeto

El objeto de este documento es justificar, desde el punto de vista técnico, las soluciones adoptadas en la subestación para los elementos más críticos de la configuración adoptada y, así mismo, para permitir la entrada y salida de la línea en la subestación.

Este documento incluye la justificación de los siguientes elementos:

- Cálculo mecánico de embarrados rígidos.
- Cálculo de coordinación de aislamiento.
- Determinación del efecto corona.
- Determinación de distancias eléctricas mínimas en embarrados tendidos.
- Selección de autoválvulas.
- Red de tierras inferiores.
- Red de tierras superiores.

Cada apartado contiene la normativa aplicable en cada caso, las hipótesis de diseño, los cálculos justificativos, criterios de validación y conclusiones.

2. Cálculo mecánico de embarrados rígidos

2.1 Hipótesis de diseño.

La corriente de cortocircuito trifásica prevista es de 31 kA. Para permitir evoluciones futuras del sistema eléctrico sin impacto en la nueva subestación, se adoptan los siguientes valores de diseño:

$$I_{cc3} \text{ (simétrica)} = 40 \text{ kA}$$

$$R/X \text{ (sistema)} = 0,07$$

Duración del cortocircuito; 0,2 s.

Conductor rígido.

Se van a realizar interconexiones con dos tipos de tubos de Al:

A) Tubo 250/228 mm \varnothing en barras principales

B) Tubo 150/134 mm \varnothing en embarrados bajos

Condiciones del vano.

El vano es la distancia entre dos apoyos, unidos por tubos rígidos. Se estudian las características de los vanos formados por tubos rígidos, tanto en el embarrado primario como en el secundario.

La geometría y apoyos en los extremos de los son las siguientes:

Vano A, correspondiente al embarrado principal:

Longitud de vano:	20 m
Distancia entre fases:	5 m
Apoyos:	Fijos y aislados

Vano B, correspondiente al embarrado secundario:

Longitud de vano:	15 m
Distancia entre fases:	5 m
Apoyos:	Aparamenta o soportes fijos para evitar superar 15 metros de vano

2.2 Condiciones de la instalación

La subestación se encuentra en una parcela a 209 metros sobre el nivel del mar (Zona A según RLAT). Por lo tanto se consideran las siguientes condiciones climatológicas:

Viento: Presión de viento a 140 km/h = 95,3 DaN/m

Hielo: No aplica, por ser zona A.

El rango de temperaturas de la zona se encuentra entre -5°C y 40°C.

La zona de instalación de la subestación no se corresponde con una zona de movimientos sísmicos.

En cuanto al nivel de contaminación, según el Artículo 4.4 de ITC-LAT 07, se considera un nivel medio de contaminación.

2.3 Normativa aplicable

Los cálculos que se realizan a continuación cumplen con la normativa vigente en España referente a este tipo de instalaciones y está basado en las siguientes Normas y Reglamentos:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.
- Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.- Real

- Decreto 223/2008 de 15 de febrero de 2008.
- Norma CEI 865 de 1986, “Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito”.
 - Norma UNE EN 60865-1, “Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo”.
 - Norma CEI 909-1988, “Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica”.
 - Norma VDE 0102.
 - Norma DIN 43670.

Si al aplicar las normas y reglamentos anteriores se obtuviesen valores que discrepasen con los que pudieran obtenerse con otras normas o métodos de cálculo, se considerará siempre el resultado más desfavorable, con objeto de estar siempre del lado de la seguridad.

2.4 Características de los materiales / equipos a instalar

Tubo 250/228

Aleación	6063-T6 (AlMgSi0,7)
Diámetro exterior (D) interior (d)	250/228 mm
Espesor de la pared (e)	11 mm
Peso propio unitario (P_{pt})	22,30 kg/m
Sección (A)	8.259 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²
Momento de inercia (J)	5910 cm ⁴
Momento resistente (W)	473 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material ($R_{p0.2}$)	170 N/mm ²
Coeficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	5.014 A.

Tubo 150/134

Aleación	6063-T6 (AlMgSi0,7)
Diámetro exterior (D) interior (d)	150/134 mm
Espesor de la pared (e)	8 mm
Peso propio unitario (Ppt)	9,63 kg/m
Sección (A)	3.569 mm ²
Carga de rotura del material (a_R)	195 N/mm ²

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Momento de inercia (J)	902 cm ⁴
Momento resistente (W)	121 cm ³
Módulo de elasticidad (Young) (E)	70.000 N/mm ²
Límite de fluencia mínimo del material (Rpo2)	170 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal (s)	0,023 mm/m°C
Intensidad máxima	3.250A.

Características de los aisladores soporte.-

La zona de instalación de la subestación se corresponde con un nivel medio de contaminación y por lo tanto la línea de fuga será de 20mm/kV, es decir, de 8.000 mm.

En los tramos del vano A, correspondientes a las barras principales, no se instalan aisladores.

En los tramos del vano B, correspondientes a las barras secundarias, se instalan aisladores C8-1425, de las siguientes características mecánicas:

Carga de rotura a flexión	8.000 N
Carga de rotura a torsión	4.000 N
Altura del aislador	3.150 mm
Altura de la pieza soporte	170 mm

2.5 Cálculo mecánico del embarrado principal

2.5.1 Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico (Icc) a efectos de diseño es de 40 kA.

La intensidad de cresta, (S/ CEI 909) vale:

$$I_p = \chi \times \sqrt{2} \times I_{cc}$$

con:

$$\chi = 1,02 + 0,98 \times e^{-3R/X}$$

R/X es la relación de impedancias equivalentes del sistema en el punto de cortocircuito que, para la red de transporte en este nivel de tensión, vale típicamente 0,07.

Así, $\chi = 1,814$ con lo que $I_p = 102,6$ kA, para $I_{cc}=40$ kA.

2.5.2 Tensión en el tubo

Esfuerzos por viento:

$$F_v = 953 * 250 (\varnothing \text{ tubo mm}) * 10^{-3} = 238,2 \text{ N/m}$$

Esfuerzos por peso propio:

$$F_{pp} = 218,5 \text{ N/m (PESO TUBO)}$$

Peso Cable amortiguador = (Lapwing) = 2,671 kg/m en los 4/3 del vano, equivalentes con: $4/3 * 2,671 * 9,8 = 34,9 \text{ N/m}$

$$\text{En total: } F_p = F_{pp} + \text{Peso cable amortiguador} = 253,4 \text{ N/m}$$

Esfuerzos por cortocircuito:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión:

$$F_s = 0,866 \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot l$$

Donde: I_p = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico μ_0 = permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$).

a = Distancia media entre fases (5 m)

l = longitud del vano

Sustituyendo y operando: $F_s = 7293,15 \text{ N}$

Los esfuerzos dinámicos dependen a su vez de la frecuencia de vibración propia del tubo, que es función del tubo, el vano y los apoyos, y que permite calcular dos coeficientes que determinan el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el tubo:

 $V\sigma$ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico V_r = factor que tiene en cuenta el reenganche

La frecuencia de vibración de un tubo vale, S/ CEI 865:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \times \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

Donde: I = inercia de la sección del tubo

m = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

E = Módulo de Young del material

l = longitud del vano

γ = coeficiente del tubo y los apoyos: 1,57 en este caso.

Sustituyendo y operando:

$$f_c = 1,61 \text{ Hz}$$

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema establece los valores de V_σ y V_r :

$$f_c/50 = 0,032$$

En estas condiciones:

$$V_\sigma = 0,756 + 4,49 \times e^{-1,45 \times k} + 0,54 \times \log \frac{f_c}{f} = 0,254$$

$$V_r = 1 - 0,615 \times \log \frac{f_c}{f} = 1,92$$

La tensión de trabajo en el tubo por esfuerzo dinámico de cortocircuito, vale:

$$\sigma_m = V_\sigma \times V_r \times \beta \times \frac{F_s \times l}{8 \times z}$$

Donde: $\beta = 1$ S/CEI 865

Z = Módulo resistente de la sección del tubo

Así: $\sigma_m = 18,84 \text{ N/mm}^2$

La tensión de trabajo total en el tubo vendrá dada por la suma geométrica de las tensiones producidas por los distintos esfuerzos, que se acumulan, en sus direcciones respectivas, a la calculada de cortocircuito. En este caso, y considerando todas las cargas uniformemente repartidas:

$$\sigma_i = \frac{1}{8} \times \frac{P \times l^2}{z}$$

Donde: l = longitud del vano

z = módulo resistente de la sección

P = carga repartida que produce el esfuerzo

Entonces:

Por viento:
$$\sigma_v = \frac{1}{8} \times \frac{238,2 \times 20^2}{472} = 25,23 \text{ N/mm}^2$$

Por peso propio:
$$\sigma_p = \frac{1}{8} \times \frac{253,4 \times 20^2}{472} = 26,84 \text{ N/mm}^2$$

La tensión máxima vale:
$$\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 51,6 \text{ N/mm}^2$$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia vale:

$$170/\sigma_{to} = 3,3$$

En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma CEI 865 establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumple que:

$$\sigma_{to} \leq q \times R_{p0,2}$$

Donde q = factor de resistencia del conductor, que vale 1,33 para tubo \emptyset 250/228, y Rp0,2 = 170 N/mm².

De esta forma se debe verificar: $\sigma_{to} \leq 1,33 * 170 = 226,4 \text{ N/mm}^2$

Como se puede observar, el tubo está lejos del límite para esfuerzos en cortocircuito.

2.5.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según CEI 865.

Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Así,

Viento sobre el tubo: $F_v = 953 * 250 (\emptyset \text{ tubo mm}) * 10^{-3} = 238,25 \text{ N/m}$

Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = 0,866 \times V_f \times V_r \times \frac{\mu_0 \times I_p^2}{2 \times \pi \times a}$$

Donde Vf = factor de carga, dependiente de la relación fc/50 = 0,032.

$$V_F = 0,839 + 3,52 \times e^{-1,45 \cdot k} + 0,6 \times \log \frac{fc}{f} = 0,288$$

Así,

$$F_{da} = 201,64 \text{ N/m}$$

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos vale:

$$F_t = 2 \cdot (F_v + F_{da}) \cdot l \cdot \alpha \quad \text{con } \alpha = 0,5$$

Así, $F_t = 8.757,8 \text{ N}$

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 220 mm por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto:

$$F't = F_t \times \frac{3150(\text{altura aislador}) + 220(\text{pieza})}{3150(\text{altura aislador})} = 9.369,45 \text{ N}$$

El aislador trabajará, en las peores condiciones, con un coeficiente de seguridad frente a la carga inferior de rotura de:

$$16.000 \text{ (carga rotura flexión aislador)} / F't = 1,70$$

2.5.4 Flecha en el tubo

La flecha máxima para un vano se obtiene de la expresión:

$$f = \alpha_f \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot J} \cdot 100 \text{ (cm)}$$

Donde: P: fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)

l: Longitud del vano (m)

E: Módulo de elasticidad del material (N/mm²)

J: Momento de inercia de la sección (cm⁴)

α_f : factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

La carga a considerar en este caso, es el peso propio del tubo más el cable amortiguador. Sustituyendo:

$$f = 12,74 \text{ cm}$$

2.5.5 Elongación del embarrado

El tubo que forma el embarrado, por efectos térmicos se dilatará, de acuerdo con la expresión:

$$\Delta l = l_0 * \alpha * \Delta\theta$$

Donde: l_0 = longitud inicial de l tubo (m)

α = coeficiente de dilatación lineal del tubo = 0,023 mm/m°C

$\Delta\theta$ = incremento de temperatura entre la de montaje (35º) y la de servicio (80º)

En estas condiciones, $\Delta l = 20 * 0,023 * 45 = 20,7$ mm

2.5.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.

La intensidad térmica en cortocircuito viene dada según CEI 865 por la expresión:

$$I_{\theta} = I_{cc} \times \sqrt{(m+n)}$$

Donde: m y n son coeficientes térmicos de disipación, que valen 0,097 y 0,758.

Sustituyendo:

$$I_{\theta} = 36,98 \text{ kA.}$$

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ de 116 A/mm² (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica es:

$$S * \rho = 8259,2 * 116 = 958,07 \text{ kA}$$

Muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

2.5.7 Intensidad nominal de las barras.

La intensidad nominal teórica del tubo elegido, según fabricante es de 5.014 A con 30 °C de temperatura ambiente y 65 °C de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, esta intensidad debe ser corregida con distintos factores en función de la composición del tubo, la altitud, la temperatura máxima de trabajo (Según RAT 5).

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

$k_1 = 0,925$ por la aleación elegida

$k_2 = 1,25$ para temperatura final de 80 °C

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

$$k3 = 1 \text{ por ser tubo}$$

$$k4 = 0,98 \text{ para instalación a menos de 1000 m.s.n.m.}$$

Según la citada norma, $I_{max} = I_n * k1 * k2 * k3 * k4$.

Así, $I_{max} = 5.681,5 \text{ A}$, equivalentes con 3.936,25 MVA, potencia muy superior a la necesaria.

2.6 Cálculo mecánico del embarrado secundario

2.6.1 Corriente de cortocircuito

Como ya se ha dicho, la intensidad simétrica de cortocircuito trifásico (I_{cc}) a efectos de diseño es de 40 kA.

La intensidad de cresta, (S/ CEI 909) vale:

$$I_p = \chi \times \sqrt{2} \times I_{cc}$$

Con:

$$\chi = 1,02 + 0,98 \times e^{-3R/X}$$

R/X es la relación de impedancias equivalentes del sistema en el punto de cortocircuito que, para la red de transporte en este nivel de tensión, vale típicamente 0,07.

Así, $\chi = 1,814$ con lo que $I_p = 102,6 \text{ kA}$, para $I_{cc}=40\text{kA}$.

2.6.2 Tensión en el tubo

Esfuerzos por viento:

$$F_v = 953 * 150 (\text{Ø tubo mm}) * 10^{-3} = 142,95 \text{ N/m}$$

Esfuerzos por peso propio:

$$F_{pp} = 9,63 * 9,8 = 94,37 \text{ N/m (PESO TUBO)}$$

Peso Cable amortiguador = (Rail) = 1,603 kg/m en los 2/3 del vano, equivalentes con:

$$2/3 * 1,603 * 9,8 = 10,47 \text{ N/m}$$

$$\text{En total: } F_p = F_{pp} + \text{Peso Cable amortiguador} = 104,84 \text{ N/m}$$

Esfuerzos por cortocircuito:

La fuerza estática por unidad de longitud entre dos conductores paralelos recorridos por una intensidad se obtiene de la expresión:

$$F_s = 0,866 \frac{\mu_0 \cdot I_p^2}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Donde: I_p = Intensidad de cresta de cortocircuito trifásico

μ_0 = permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A²).

a = Distancia media entre fases (5 m)

Sustituyendo y operando,

$$F_s = 5.469,7 \text{ N}$$

Los esfuerzos dinámicos dependen a su vez de la frecuencia de vibración propia del tubo, que es función del tubo, el vano y los apoyos, y que permite calcular dos coeficientes que determinan el esfuerzo dinámico en cortocircuito sobre el tubo:

$V\sigma$ = factor que tiene en cuenta el efecto dinámico

Vr = factor que tiene en cuenta el reenganche

La frecuencia de vibración de un tubo vale, S/ CEI 865:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \times \sqrt{EI/m}$$

Donde: I = inercia de la sección del tubo

m = masa unitaria del tubo, incluido cable amortiguador

E = Módulo de Young del material

l = longitud del vano

γ = coeficiente del tubo y los apoyos: 1,57 en este caso.

Sustituyendo y operando: $f_c = 1,695 \text{ Hz}$

La relación entre la frecuencia de oscilación y la frecuencia nominal del sistema establece los valores de $V\sigma$ y Vr :

$$f_c/50 = 0,034$$

En estas condiciones:

$$V\sigma = 0,756 + 4,49 \times e^{-1,68 \cdot k} + 0,54 \times \log \frac{f_c}{f} = 0,256$$

$$V_r = 1 - 0,615 \times \log \frac{fc}{f} = 1,917$$

La tensión de trabajo en el tubo por esfuerzo dinámico de cortocircuito, vale:

$$\sigma_m = V_\sigma \times V_r \times \beta \times \frac{F_s \times l^2}{8 \times z}$$

Donde: $\beta = 1$ S/CEI 865

Z = Módulo resistente de la sección del tubo

Así: $\sigma_m = 41,59 \text{ N/mm}^2$

La tensión de trabajo total en el tubo vendrá dada por la suma geométrica de las tensiones producidas por los distintos esfuerzos, que se acumulan, en sus direcciones respectivas, a la calculada de cortocircuito. En este caso, y considerando todas las cargas uniformemente repartidas:

$$\sigma_i = \frac{1}{8} \times \frac{P \times l^2}{z}$$

Donde: l = longitud del vano

z = módulo resistente de la sección

P = carga repartida que produce el esfuerzo

Entonces:

Por viento: $\sigma_v = \frac{1}{8} \times \frac{142,95 \times 15^2}{121} = 33,23 \text{ N/mm}^2$

Por peso propio: $\sigma_p = \frac{1}{8} \times \frac{104,84 \times 15^2}{121} = 24,36 \text{ N/mm}^2$

La tensión máxima vale: $\sigma_{to} = \sqrt{(\sigma_v + \sigma_m)^2 + (\sigma_p + \sigma_h)^2} = 78,68 \text{ N/mm}^2$

El coeficiente de seguridad del tubo frente al límite de fluencia vale: $170/\sigma_{to} = 2,16$

En cuanto al esfuerzo en cortocircuito, la norma CEI 865 establece que el tubo soporta los esfuerzos si se cumple que:

$$\sigma_{to} \leq q \times R_{p0,2}$$

Donde q = factor de resistencia del conductor, que vale 1,34 para tubo Ø 150/134, y Rp0,2 = 170 N/mm².

De esta forma se debe verificar: $\sigma_{to} \leq 1,34 * 170 = 227,8 \text{ N/mm}^2$

Como se puede observar, el tubo está lejos del límite para esfuerzos en cortocircuito.

2.6.3 Reacciones sobre aisladores soporte

El máximo esfuerzo se producirá en los aisladores intermedios, considerando dos veces el esfuerzo producido en el extremo de un vano, según CEI 865.

Las acciones a considerar en este caso son solo horizontales. Así,

Viento sobre el tubo:

$$F_v = 953 * 150 (\text{Ø tubo mm}) * 10^{-3} = 142,95 \text{ N/m}$$

Esfuerzo en cortocircuito: Según la norma de referencia, el valor de esfuerzo sobre los soportes tiene la expresión:

$$F_{da} = 0,866 \times V_f \times V_r \times \frac{\mu_0 \times I_{p3}^2}{2 \times \pi \times a}$$

Donde Vf = factor de carga, dependiente de la relación fc/50 = 0,032.

$$V_F = 0,839 + 3,52 \times e^{-1,45 * k} + 0,6 \times \log \frac{fc}{f} = 0,29$$

Así, $F_{da} = 202,72 \text{ N/m}$

La suma de esfuerzos sobre el soporte central entre dos vanos vale:

$$F_t = 2 * (F_v + F_{da}) * \alpha \quad \text{con } \alpha = 0,5$$

Así, $F_t = 5185 \text{ N}$

Este esfuerzo se produce sobre el eje del tubo, que está situado 170 mm por encima de la cabeza del aislador, punto sobre el que el fabricante garantiza el esfuerzo. Por lo tanto:

$$F't = F_t \times \frac{3150(\text{alturaaislador}) + 170(\text{pieza})}{3150(\text{alturaaislador})} = 5.464,82 \text{ N}$$

El aislador trabajará, en las peores condiciones, con un coeficiente de seguridad frente a la carga inferior de rotura de:

$$8000(\text{carga rotura flexión aislador})/F't = 1,46$$

2.6.4 Flecha en el tubo

La flecha máxima para un vano se obtiene de la expresión:

$$f = \alpha_f \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot J} \cdot 100 \text{ (cm)}$$

Donde: P: fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)

l: Longitud del vano (m)

E: Módulo de elasticidad del material (N/mm²)

J: Momento de inercia de la sección (cm⁴)

α_f : factor que depende del tipo de apoyo y que toma el valor 1,3.

La carga a considerar en este caso, es el peso propio del tubo, más el cable amortiguador. Sustituyendo:

$$f = 10,9 \text{ cm}$$

2.6.5 Elongación del embarrado.

El tubo que forma el embarrado, por efectos térmicos se dilatará, de acuerdo con la expresión:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Donde: l_0 = longitud inicial de l tubo

α = coeficiente de dilatación lineal del tubo = 0,023 mm/m°C

$\Delta \theta$ = incremento de temperatura entre la de montaje (35°) y la de servicio (80°)

En estas condiciones, $\Delta l = 15 \cdot 0,023 \cdot 45 = 15,52 \text{ mm}$

Dada la elongación del vano se instalarán piezas especiales que permitan absorber esta dilatación.

2.6.6 Esfuerzo térmico en cortocircuito.

La intensidad térmica en cortocircuito viene dada según CEI 865 por la expresión:

$$I_{\theta} = I_{cc} \times \sqrt{(m+n)}$$

Donde: m y n son coeficientes térmicos de disipación, que valen 0,097 y 0,758.

Sustituyendo: $I_{\theta} = 36,98 \text{ kA}$.

Este valor debe ser menor que la capacidad térmica del tubo, con densidad de corriente en cortocircuito ρ de 116 A/mm² (proceso adiabático).

Para el tubo actual, la capacidad térmica es:

$$S * \rho = 3.569 * 116 = 414 \text{ kA}$$

Muy superior a la corriente térmica de cortocircuito de la instalación.

2.6.7 Intensidad nominal de las barras.

La intensidad nominal teórica del tubo elegido, según fabricante es de 3.250 A con 30 °C de temperatura ambiente y 65 °C de temperatura de trabajo del tubo.

Según DIN 43670, esta intensidad debe ser corregida con distintos factores en función de la composición del tubo, la altitud, la temperatura máxima de trabajo (Según RAT 5).

Así, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

$$k1 = 0,925 \text{ por la aleación elegida}$$

$$k2 = 1,25 \text{ para temperatura final de } 80 \text{ °C}$$

$$k3 = 1 \text{ por ser tubo}$$

$$k4 = 0,98 \text{ para instalación a menos de } 1000 \text{ m.s.n.m.}$$

Según la citada norma, $I_{\max} = I_n * k1 * k2 * k3 * k4$.

Así, $I_{\max} = 3.682,65 \text{ A}$, equivalentes con 2.551 MVA, potencia muy superior a la necesaria.

3 Cálculo de coordinación de aislamiento

En este apartado se determinan las sobretensiones a frecuencia industrial, de impulso tipo maniobra o de frente lento y de impulso tipo rayo, que debe soportar el aislamiento de la aparamenta. Tras haber realizado los cálculos, se adoptará el valor de tensión normalizado más adecuado para el aislamiento, de los que se dan en la tabla del anejo 1, de niveles de aislamiento de gama 2 (para $U_m > 245 \text{ kV}$).

La tensión más elevada para el material es, en este caso, 420 kV.

3.1 Sobretensiones debidas a impulsos tipo rayo

Se toma como tensión representativa (valor de cresta): $U_{rp} = 1080 \text{ kV}$

$$U_{rw} = U_{cw} * K_s * K_a = U_{rp} * K_s * K_a * K_c$$

$$K_s = 1,05 \text{ (factor de seguridad para aislamiento externo)}$$

$$K_c = 1,1 \text{ (factor de coordinación)}$$

$$K_a = e^{\frac{m * H}{1850}} = 1,12$$

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Donde: $m = 1$ (según la gráfica del anejo 4 por ser aislamiento longitudinal)

$$H = 209 \text{ m}$$

$$U_{rw} = 1080 * 1,05 * 1,12 * 1,1 = 1397,1 \text{ Kv}$$

Además, $U_w \geq U_{rw}$.

Por lo tanto, a partir de la tabla de niveles de aislamiento normalizado, se obtiene que $U_w = 1425 \text{ kV}$, que es la tensión soportada para impulsos tipo rayo.

3.2 Sobretensiones debidas a impulsos tipo maniobra

Se toma como tensión representativa (valor eficaz): $U_{rp} = 680 \text{ kV}$

$$U_{rw} = U_{cw} * K_s * K_a = U_{rp} * K_s * K_a * K_c$$

$K_s = 1,05$ (factor de seguridad para aislamiento externo)

$K_c = 1,1$ (factor de coordinación)

$$K_a = e^{m * \frac{H}{1850}} = 1,12$$

Donde: $m = 1$ (según la gráfica del anejo 3 por ser aislamiento longitudinal)

$$H = 209 \text{ m}$$

$$U_{rw} = 680 * 1,05 * 1,12 * 1,1 = 879,64 \text{ Kv}$$

Además, $U_w \geq U_{rw}$.

Por lo tanto, a partir de la tabla de niveles de aislamiento normalizado, se obtiene que $U_w = 950 \text{ kV}$, es la tensión soportada para impulsos tipo maniobra, con aislamiento longitudinal. De esa misma tabla, se tiene que la tensión soportada a impulsos de tipo maniobra Fase-Tierra es 1050 kV y el valor para Fase-Fase es 1575 kV (1,5 veces más que para Fase-Tierra).

4 Cálculo de efecto corona

4.1 Cálculo de la tensión disruptiva.

Para el cálculo de la tensión crítica disruptiva (U_c) a partir de la cual el efecto corona puede manifestarse, y aplicada a conductores cilíndricos, puede aplicarse la fórmula de Peek:

$$U_c = m_0 \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{of} \cdot R \cdot \ln(D/R)$$

Donde:

m_o = coeficiente de irregularidad del conductor que toma el valor de 1 para tubo cilíndrico y liso.

m_t = 1 para tiempo seco

0,8 para tiempo húmedo

R = radio exterior del tubo en cm

D = distancia media geométrica entre conductores en cm. Dado que se encuentran situados en un mismo plano y partiendo de que estén equidistantes entre sí x cm

$$D = \sqrt[3]{5001000500} = \sqrt[3]{2 \cdot 500} = 1,26 \times 500 \text{ cm}$$

Embarrado principal A: $D = 1,26 * 500 = 630 \text{ cm}$

Embarrado secundario B: $D = 1,26 * 500 = 630 \text{ cm}$

δ = densidad del aire. La densidad del aire viene de la expresión: $\delta = 3,92 * H / 273 + \phi$, donde H es la presión atmosférica en cm de mercurio y ϕ es la temperatura del aire (en nuestro caso 45°C para las condiciones más desfavorables). La subestación de Caspe se encuentra a una altura sobre el nivel del mar inferior a 1000 metros, por lo que se consideran 760 mm Hg de presión. Sustituyendo se obtiene $\delta=0,937$.

E_{of} = valor eficaz de campo eléctrico crítico para la aparición del efecto corona. Para conductores paralelos el valor máximo de campo viene dado por:

$$E_0 = 30 \cdot m_o \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{R \cdot \delta}} \right) \text{ kV/cm}$$

Sustituyendo obtenemos un valor máximo de campo de:

Embarrado principal A: $E_0 = 30,58 \text{ kV/cm}$

Embarrado secundario B: $E_0 = 31,30 \text{ kV/cm}$

En valor eficaz tendremos:

Embarrado principal A: $E_{of} = E_0 / \sqrt{2} = 21,62 \text{ kV/cm}$

Embarrado secundario B: $E_{of} = E_0 / \sqrt{2} = 22,13 \text{ kV/cm}$

Sustituyendo valores en la expresión anterior se obtiene:

Para tiempo seco.-

$$\text{Embarrado A.- } U_c = 1 * 1 * 0,937 * 21,62 * 12,5 * \ln (630/12,5) = 794 \text{ kV}$$

$$\text{Embarrado B.- } U_c = 1 * 1 * 0,937 * 22,13 * 7,5 * \ln (630/7,5) = 551 \text{ kV}$$

Para tiempo húmedo.-

$$\text{A.- } U_c = 794 * 0,8 = 635 \text{ kV}$$

$$\text{B.- } U_c = 551 * 0,8 = 441 \text{ kV}$$

Por el hecho de estar en el mismo plano los conductores, la tensión disruptiva referida al conductor central debe ser disminuida en un 4% y aumentada en un 6% para los conductores laterales respectivamente.

Como se ve, los valores obtenidos son mucho mayores que la tensión eficaz entre fase y tierra máxima de los conductores (242 kV) por lo que no es de esperar que el efecto corona se produzca.

5. Determinación de las distancias mínimas en embarrados tendidos

5.1 Hipótesis de diseño

Desde el punto de vista de las aproximaciones entre fases que puedan producirse cuando se desplacen de forma simultánea dos conductores contiguos en condiciones de flecha máxima y con viento de 140 km/h, las distancias mínimas se han establecido de la forma que se indica para un vano de las siguientes características:

Longitud del vano:	L = 47 m
Flecha máxima:	3% (1,4 m)
Tipo de conductor:	DúplexLAPWING ns=2
Diámetro del conductor:	$\phi = 38,16 \text{ mm}$
Sección del conductor:	$A_s = 861,3 \text{ mm}^2$
Peso propio del conductor:	$m_s = 2,666 \text{ kg/m}$
Módulo de elasticidad:	$E = 70.000 \text{ N/mm}^2$
Distancia entre fases:	a = 6 m
Longitud media de cadenas	4,5 m
Separación entre conductores de la misma fase:	0,40 m
Rigidez de los soportes:	$S = 7,5 * 104 \text{ N/m}$

Tiempo de despeje de defecto:	Tk1 = 0,5 seg
Intensidad de cortocircuito:	Ik3 = 40 kA
Relación R/X del sistema:	R/X = 0,07
Tensión máxima:	1.050 kg a 50 °C (10.300,5 N)

Se comprobará además, el desplazamiento máximo en cortocircuito y la pérdida de distancia que esto produce, de acuerdo con lo estipulado en la norma CEI/UNE/EN 865.

5.2 Normativa aplicable

Los cálculos que se realizan a continuación cumplen con la normativa vigente en España referente a este tipo de instalaciones y está basado en las siguientes Normas y Reglamentos:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.
- Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.
- Reglamento técnico de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (RLAT).- Real Decreto 3151/68 de 28 de noviembre de 1968, y modificaciones posteriores.
- Norma CEI 865 de 1986, "Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito".
- Norma UNE EN 60865-1, "Corrientes de cortocircuito, cálculo de efectos. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo".
- Norma CEI 909-1988, "Cálculo de corrientes de cortocircuito en redes de corriente alterna trifásica".
- Norma VDE 0102.
- Norma DIN 43670.

Si al aplicar las normas y reglamentos anteriores se obtuviesen valores que discrepasen con los que pudieran obtenerse con otras normas o métodos de cálculo, se considerará siempre el resultado más desfavorable, con objeto de estar siempre del lado de la seguridad.

5.3 Desplazamiento del vano con viento

La presión sobre el conductor debida al efecto del viento, según R.L.A.T., es de 68 kg/m² (para 140 km/h). Para este caso, y por unidad de longitud, tendremos:

$$F_v = 68 * 0,03816 = 2,59 \text{ kg/m (a cada conductor)}$$

Y el desplazamiento máximo del conductor será:

$$\theta = \arctg \frac{F_v}{P}$$

$$d_{\max} = f_{\max} \cdot \text{sen}\theta$$

$$\theta = \text{arc tang } (2,59/2,66) \sim 44,2^\circ$$

$$d_{\max} = 1,4 \cdot \text{sen } 44,2^\circ = 0,97 \text{ m}$$

En estas condiciones, dada la escasa probabilidad de simultaneidad de viento y sobretensión, la distancia de aislamiento fase - fase para conductores paralelos ya establecida en 3,6 m se puede reducir en un 25 %, por lo que la separación mínima entre conductores en reposo para que sea respetada dicha distancia eléctrica entre fases para los conductores extremos deberá ser de:

$$D_{\min} = (0,75 \cdot 3,6) + 2 \cdot 0,97 + 0,4 = 4,14 \text{ m}$$

Distancia inferior a la adoptada que es de 6 m para los conductores tendidos, superior incluso a la distancia teniendo en cuenta sobretensiones simultáneas con viento.

5.4 Efecto en conductores por corriente de cortocircuito.

5.4.1 Dimensiones y parámetros característicos.

El esfuerzo debido a un defecto bifásico viene dado por la siguiente expresión:

$$F' = \frac{\mu_0}{2\pi} \times 0,75 \times \frac{(I''_{k3})^2}{a} \times \frac{l_c}{l}$$

Donde : I''_{k3} es la corriente simétrica de cortocircuito trifásico

l_c : longitud de vano sin cadenas

l : longitud total del vano

a : separación entre fases

μ_0 : permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A²)

En este caso, $F' = 50,53$ N/m

La proporción entre el peso propio y la fuerza de cortocircuito vale:

$$r = \frac{F'}{n \times m_s \times g}$$

Donde, n : número de conductores por fase

ms: peso de uno de los conductores

g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

Que en este caso, $r = 50,53 / (2 \cdot 2,666 \cdot 9,81) = 0,97$

La dirección resultante de la fuerza será: $\delta_1 = \arctg r = 44,01^\circ$

La flecha estática en el conductor tendido vale:

$$b_c = \frac{n \times m_s \times g \times l^2}{8 \times F_{st}}$$

Donde Fst es la fuerza de tracción estática del conductor para el caso más desfavorable, que será el de flecha máxima para 50°C.

Sustituyendo y operando, $b_c = 1,4$ m

Para esta flecha, el período de oscilación vale:

$$T = 2\pi \sqrt{0,8 \frac{b_c}{g}}$$

Con lo que sustituyendo resulta $T = 2,12$ s.

El período resultante en caso de cortocircuito vale:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2} \left[1 - \frac{\pi^2}{64} \left(\frac{\delta_1}{90} \right)^2 \right]}$$

Sustituyendo y resolviendo, $T_{res} = 1,87$ s.

El módulo de Young real del conductor vale, en función de la carga límite del cable (σ_{fin}):

$$E = \begin{cases} E \times \left[0,3 + 0,7 \times \operatorname{sen} \left(90 \frac{F_{st}}{nA_s \sigma_{fin}} \right) \right] & \text{si } \frac{F_{st}}{nA_s} \leq \sigma_{fin} \\ E & \text{si } \frac{F_{st}}{nA_s} > \sigma_{fin} \end{cases}$$

Donde, $\sigma_{fin} = 5 \cdot 10^7$ N/m² (menor valor de la tensión de mecánica del conductor cuando E llega a ser constante)

As: sección de un conductor

En este caso, $F_{st}/nA_s < \sigma_{fin}$, con lo que $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ N/m

El factor de carga del conductor vale:

$$\xi = \frac{(nm_s gl)^2}{24F_{st}^3 N}$$

Donde N = rigidez del sistema mecánico compuesto, que vale:

$$N = \frac{1}{Sl} + \frac{1}{nEA_s}$$

con lo que $N = 3,03 \cdot 10^{-7}$ y $\xi = 0,76$

El ángulo de oscilación del vano durante el paso, o al fin del mismo, de la corriente de cortocircuito viene dado por la expresión:

$$\delta_k = \begin{cases} (1 - \cos(360 \frac{T_{k1}}{T_{res}})) & \text{si } 0 \leq \frac{T_{k1}}{T_{res}} \leq 0,5 \\ 2\delta_1 & \text{si } \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0,5 \end{cases}$$

En este caso, $T_{k1}/T_{res} = 0,27 < 0,5$, con lo que $\delta_k = 48,77^\circ$

El ángulo máximo de oscilación que se puede producir corresponde a una duración de cortocircuito inferior o igual a la duración del cortocircuito establecida T_{k1} , y se calcula como:

$$\delta_m = \begin{cases} 1,25 \arccos \chi & \text{si } 0,766 \leq \chi \leq 1 \\ 10^\circ + \arccos \chi & \text{si } -0,985 \leq \chi \leq 0,766 \\ 180^\circ & \text{si } \chi \leq -0,985 \end{cases}$$

Con:

$$\chi = \begin{cases} 1 - r \operatorname{sen} \delta_k & \text{si } 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ \\ 1 - r & \text{si } \delta_k > 90^\circ \end{cases}$$

En este caso, $\delta_k = 48,77 < 90^\circ$, con lo que $\chi = 0,27$ y $\delta_m = 84,13^\circ$

5.4.2 Fuerza de tensión por oscilación durante el cortocircuito

De acuerdo con la norma de referencia, la fuerza de tensión en cortocircuito, para conductores compuestos (haces), se calcula por:

$$F_t = 1,1 F_{st} (1 + \psi \varphi)$$

Donde: F_{st} es la fuerza estática en el conductor.

φ es el parámetro de carga, que tiene en cuenta el esfuerzo combinado de peso y cortocircuito en función del tiempo de despeje frente al período de oscilación del conductor, y vale :

$$\varphi = \begin{cases} 3(\sqrt{1+r^2} - 1) & \text{si } T_{k1} \geq T_{res} / 4 \\ 3(rs \text{en} \delta_k + \cos \delta_k - 1) & \text{si } T_{k1} < T_{res} / 4 \end{cases}$$

ψ es un parámetro que combina los dos factores de carga, ζ y φ , y que se calcula como una solución real de la ecuación :

$$\varphi^2 \psi^3 + \varphi (2+\zeta) \psi^2 + (1+2\zeta) \psi - (2+\varphi) \zeta = 0$$

Los resultados de las soluciones reales a esta ecuación, en función de los parámetros ζ y φ , se encuentran tabulados en la figura 7 de la Norma CEI 865-1.

En este caso, como $T_{k1} = 0,5 > T_{res}/4 = 0,067$, $\varphi = 1,17$

Y con $\varphi = 1,17$, y $\zeta = 0,76$, ψ (de acuerdo con la figura citada) = 0,52

En estas condiciones, $F_t = 1,1 \cdot 10.300,5 \cdot (1+1,17 \cdot 0,52) = 18.300 \text{ N}$

5.5 Aproximación de conductores

El valor del desplazamiento máximo por oscilación en cortocircuito:

$$bh = CF * CD * bC \text{ sen } \delta 1 \quad \text{si } \delta m \geq \delta 1$$

$$bh = CF * CD * bC \text{ sen } \delta m \quad \text{si } \delta m < \delta 1$$

Donde CF es un factor experimental que cubre las variaciones de la curva de equilibrio del cable durante el defecto, y su valor es:

$$C_f = \begin{cases} 1,05 & \text{si } r \leq 0,8 \\ 0,97 + 0,1 r & \text{si } 0,8 \leq r \leq 1,8 \\ 1,15 & \text{si } r \geq 1,8 \end{cases}$$

En este caso, con $r = 0,97$, $C_f = 1,07$

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

El factor CD considera los aumentos de la flecha debidos a la elongación elástica y térmica y puede obtenerse por la expresión:

$$C_d = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \left(\frac{l}{b_c} \right)^2 (\varepsilon_{ela} + \varepsilon_{th})}$$

La deformación elástica viene dada por: $\varepsilon_{ela} = (F_t - F_{st}) / N$

Y la deformación térmica:

$$\varepsilon_{th} = \begin{cases} C_{th} \left(\frac{I_{k3}''}{nA_s} \right)^2 T_{res} / 4 & \text{si } T_{k1} \geq T_{res} / 4 \\ C_{th} \left(\frac{I_{k3}''}{nA_s} \right)^2 T_{k1} / 4 & \text{si } T_{k1} < T_{res} / 4 \end{cases}$$

Donde C_{th} = factor de dilatación térmica, que para el cable Lapwing vale $0,27 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/\text{A}^2\text{s}$, debido a que: Sección Al / Sección acero > 6.

Resolviendo en las expresiones anteriores se obtiene, dado que $T_{k1} > T_{res}/4$:

$$\varepsilon_{ela} = 24,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\varepsilon_{th} = 1,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Y así, $C_d = 1,44$

Como $\delta m = 84,13 > 44,01$

$$bh = 1,07 \cdot 1,44 \cdot 1,3 \cdot \text{sen } 44,01^\circ = 1,49 \text{ m}$$

5.6 Distancia mínima.

Distancia mínima entre conductores en cortocircuito:

$$D = a - bh \cdot 2 - 0,4 = 6 - 2 \cdot 1,49 - 0,4 = 2,61 \text{ m}$$

Es por lo tanto apropiada la dimensión de 20 m de anchura de calle y la de separación entre conductores, 5 m, para cumplir los requisitos de aislamiento permanente y temporal, en los casos más desfavorables y para la configuración propuesta, dado que estamos muy por encima de los 1,55 m de distancia de aislamiento temporal recomendada por la CIGRE.

5.7 Distancias mínimas a adoptar.

En base a lo anteriormente expuesto y teniendo en cuenta lo que al respecto se indica en la MIE-RAT 12 e IEC-71 se proponen las siguientes distancias mínimas que deberán ser respetadas en la presente subestación:

DISTANCIAS FASE TIERRA

Conductor - estructura	2,60 m
Punta - estructura	3,40 m

DISTANCIAS FASE-FASE

Conductores paralelos	3,60 m
Punta conductor	4,20 m

6 Selección de autoválvulas

En este apartado se realizan los cálculos necesarios para determinar las características que deben cumplir las autoválvulas necesarias para la protección frente a sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento, en las posiciones de salida de la subestación.

El método de selección se muestra en el anejo 4.

Se toman los siguientes datos iniciales:

- Tensión nominal del sistema 400 kV
- Tensión máxima del sistema (U_m) 420 kV
- Nivel de aislamiento frente a impulso tipo rayo $U_{BIL} = 1425$ kV
- Duración máxima de cortocircuito 0,2 s

- Conexión del neutro $K = \frac{U_{TOV}}{U_{Ca}}$

$$U_{Ca} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = 242,48 \text{ kV}$$

$$U_{TOV(10s)} \leq 1,4 \cdot U_{Ca} \cdot \left(\frac{Tf}{10}\right)^{0,002} \leq 319,74 \text{ kV}$$

$$\text{Con esto: } K = 1,31 \leq 1,4$$

Por lo tanto, será una conexión rígida a tierra.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

A continuación, se calculan algunos de los valores requeridos por la autoválvula a utilizar:

- Se selecciona la clase de descarga y la corriente de descarga nominal de la autoválvula requerida, utilizando para ello la tabla del anejo 4.

Como $U_n > 380$ kV: - Corriente de descarga: 20 kA
 - Clase: 4 o 5

- La tensión de funcionamiento continuo debe ser:

$$U_c \geq \frac{420}{\sqrt{3}} \geq 242,48 \text{ kV}$$

- La tensión residual debe ser (con un margen de protección del 20%):

$$U_p \leq \frac{U_{BIL}}{1,2} \leq 1187,5 \text{ kV}$$

Según estos valores, se escoge la autoválvula EXLIM Q-D de ABB, con las siguientes características:

$$U_p = 854 \text{ kV}$$

$$U_{TOV(10s)} = 382 \text{ kV}$$

$$U_c = 264 \text{ kV}$$

Por último, se calcula la distancia máxima que puede haber entre la autoválvula y el punto de protección:

$$L_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{U_{BIL}}{1,2} - U_p}{2 \cdot S} \cdot V = 50 \text{ m}$$

Donde: V: es la velocidad de propagación de la onda (300 m/ μ s)

 S: es la pendiente de sobretensión (1000 kV/ μ s)

7 Red de tierras inferiores

7.1 Criterios de cálculo

Para el cálculo de la red de tierras se tendrán en cuenta los valores máximos de tensiones de paso y contacto que establece el Reglamento de Alta Tensión, en su ITC-RAT 13, así como la norma IEEE-80-2000: "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding".

Se considera como valor de la resistividad del terreno, a efectos de cálculo, 250 $\Omega \cdot m$. Este valor se obtiene de la tabla siguiente, considerando según investigaciones de las características del suelo de la zona, que se trata de calizas blandas.

Naturaleza del terreno	Resistividad	
	De:	en $\Omega \cdot m$ a:
Terrenos pantanosos	algunas unidades	30
Limo	20	100
Humus	10	150
Turba húmeda	5	100
Arcilla plástica		50
Margas y arcillas compactas	100	200
Margas del jurásico	30	40
Arena arcillosa	50	500
Arena silíceas	200	3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300	500
Suelo pedregoso desnudo	1.500	3.000
Calizas blandas	100	300
Calizas compactas	1.000	5.000
Calizas agrietadas	500	1.000
Pizarras	50	300
Rocas de mica y cuarzo		800
Granitos y gres procedentes de alteración	1.500	10.000
Granitos y gres muy alterados	100	600
Hormigón	2.000	3.000
Balasto o grava	3.000	5.000

Figura 1. Resistividad del terreno

Los datos utilizados para el cálculo de la red de tierras para la subestación de Caspe son:

Tiempo de despeje de la falta (t):	0,2 s.
Intensidad de falta monofásica a tierra:	40 kA.
Resistividad del terreno natural	250 $\Omega \cdot m$.
Resistividad del terreno mejorado el interior de la subestación (ρ)	100 $\Omega \cdot m$.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Según la ITC-RAT 13 las tensiones de contacto aplicadas admisibles, según el tiempo de falta son:

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 2. Tensión de contacto aplicada admisible en función de la duración de falta

Para una duración de corriente de falta de 0,2 segundos:

Tensión de contacto aplicada admisible: $U_{ca} = 528V$

Tensión de paso aplicada admisible: $U_{pa} = 10 \cdot 528 V = 5280V$

7.2 Cálculo de las resistividades aparentes superficiales:

1.- Interior de la subestación (capa de grava de 10 cm):

$$\rho_{aparente} = \rho_s \cdot C_s = 1995 \Omega \cdot m$$

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

Donde: $\rho_s = 3000 \Omega \cdot m$

$h_s = 0,1m$

2.- Viales de la subestación (capa de asfalto de 5 cm):

$$\rho_{aparente} = \rho_s \cdot C_s = 2479 \Omega \cdot m$$

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

Donde: $\rho_s = 5000 \Omega \cdot m$

$$h_s = 0,05m$$

3.- Perímetro de la subestación sin acera:

$$\rho_{aparente} = 250 \Omega \cdot m$$

7.3 Cálculo de las tensiones de paso y de contacto.

1.- Interior de la subestación (capa de grava de 10 cm):

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{1000 + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right) = 2.636V$$

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{4000 + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right) = 89.601,6V$$

2.- Viales de la subestación (capa de asfalto de 5 cm):

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{1000 + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right) = 3.019,4V$$

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{4000 + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right) = 104.934,72V$$

3.- Perímetro de la subestación sin acera:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{1000 + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right) = 1.254V$$

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{4000 + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right) = 34.320V$$

7.4 Resistencia de puesta a tierra

Para calcular la resistencia de la red de tierra se utiliza la siguiente expresión:

$$R_g = \rho \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right) = 0,259 \Omega$$

Donde:

ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$) = 100 $\Omega \cdot m$

L: Longitud total de conductor enterrado (m) = 6.956,8 m

h: Profundidad de enterramiento del conductor (m) = 0,8 m

A: Superficie ocupada por la malla (m^2) = 32.721,7 m^2

Se ha considerado la malla (formada por celdas de 10 x 10 metros) compuesta por cable de Cu de 120 mm^2 con un diámetro de 0,012 m.

7.5 Intensidad de defecto a tierra

El valor tomado de la intensidad monofásica de cortocircuito para la subestación es de 40 kA.

El MIE-RAT 13 establece una reducción de un 30% de ese valor al tener neutro rígido a tierra en la instalación. De acuerdo con la IEEE-80-2000 se puede aplicar un factor de reducción Sf en función de los caminos de retorno adicionales que suponen los hilos de guarda de las líneas de distribución y de transmisión que llegan a la subestación.

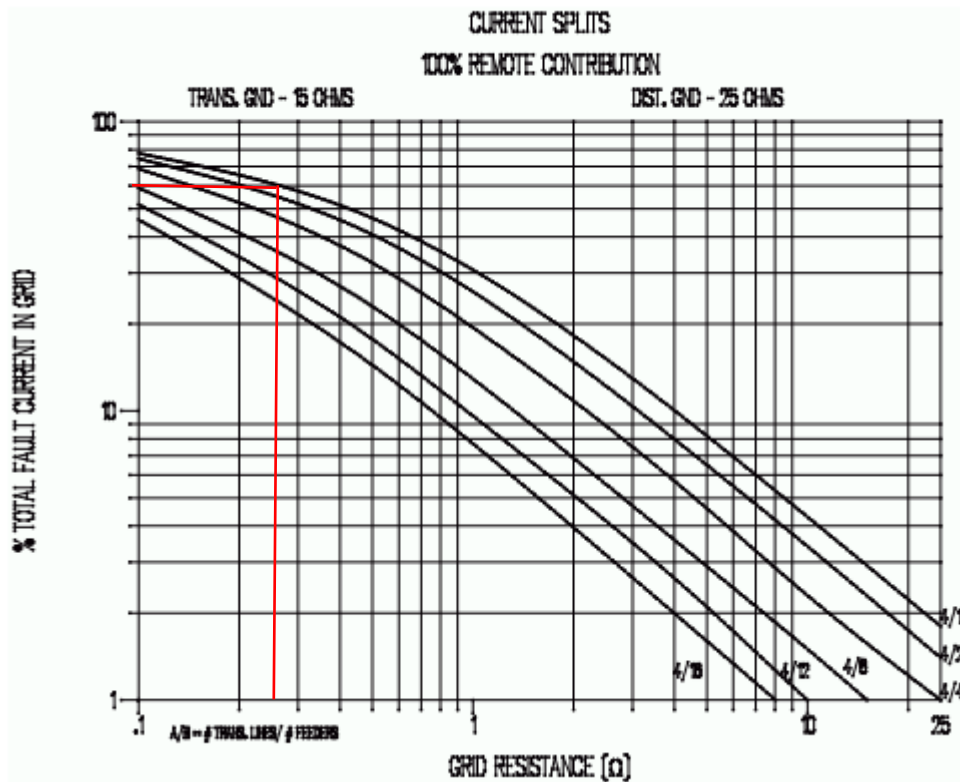


Figura 3. Gráfica para determinar el factor Sf

Dado que en la subestación hay 4 líneas se adopta un 100 % de contribución remota y 0% local.

Para determinar esta reducción se utiliza el gráfico anterior, partiendo de la resistencia de puesta a tierra (Rg) y el número de líneas de transmisión y de distribución.

Como la resistencia de puesta a tierra es de 0,259 Ω, el factor que resulta es del 60%, si consideramos una resistencia a tierra de la línea de 15 Ω (valor más habitual).

Por lo tanto la Intensidad total disipada a tierra por la malla será:

$$I_g = 40 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 16,8 \text{ kA}$$

7.6 Evaluación de tensiones de paso y contacto

Utilizando el estándar IEEE 80, se pueden calcular unos valores previstos de tensiones de paso y contacto para unos determinados niveles de falta, y para un diseño previo de la malla de red de tierras.

Los datos iniciales utilizados para el cálculo han sido:

Resistividad del terreno (ρ)

100 Ω·m

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Espaciado medio entre conductores (D)	10 m
Profundidad del conductor enterrado (h)	0,8 m
Diámetro del conductor (120mm ²) (d)	0,012 m
Longitud del conductor enterrado (L)	6.956,8 m
Intensidad de defecto (I _g)	16,8 kA

Partiendo de los valores indicados, e introducidos en las fórmulas desarrolladas en el estándar IEEE 80, se obtienen los siguientes valores intermedios:

$$K_h = \sqrt{1+h} = 1,34$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} = \frac{2 \cdot 6.956,8}{750,6} = 18,54$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4 \cdot \sqrt{A}}} = \sqrt{\frac{750,6}{4 \cdot \sqrt{32.721,7}}} = 1,018$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0,7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}} = \left[\frac{178 \cdot 197,7}{32.721,7} \right]^{\frac{0,7 \cdot 32.721,7}{178 \cdot 197,7}} = 1,048$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} = \frac{190,5}{\sqrt{178^2 + 197,7^2}} = 0,71$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d = 14,04$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 \cdot n = 2,72$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} = 0,62$$

n = número de conductores en paralelo

L_c = longitud del conductor de la malla = 6.956,8 m

L_p = longitud del perímetro de la malla = 750,6 m

L_x = longitud máxima de la malla en la dirección x = 178 m

L_y = longitud máxima de la malla en la dirección y = 197,7 m

D_m = máxima distancia entre dos puntos en la malla = 190,5 m

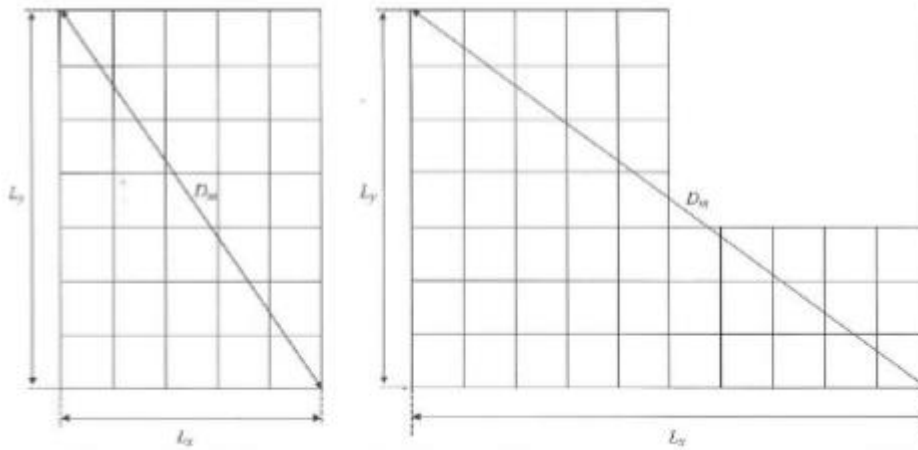


Figura 4. Malla rectangular y malla en L

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16h \cdot d} + \frac{(D+2h)^2}{8D \cdot d} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] = 0,88$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] = 0,26$$

De acuerdo con la IEEE-80-2000, la fórmula que permite obtener el valor de la tensión de contacto es:

$$E_{\text{contacto}} = \rho \cdot K_m \cdot K_i \frac{I_g}{L} = 578V$$

Y la fórmula que permite obtener la tensión de paso:

$$E_{\text{paso}} = \rho \cdot K_s \cdot K_i \frac{I_g}{L} = 170,8 V$$

Los valores obtenidos son menores que los valores límite de tensiones de paso y de contacto calculados anteriormente. Por lo tanto, el diseño de la red de tierras cumple.

7.7 Conductor

Para determinar la sección mínima del conductor se utiliza la expresión que indica el estándar IEEE 80, para conductores de cobre:

$$A = I \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} = 20,69 \text{ mm}^2$$

Donde:

I: Mitad de la intensidad de falta a tierra = 8,4 kA

t_c : Tiempo máximo de falta = 0,2 s

T_m : Temp. máxima que pueden alcanzar el conductor y las uniones = 300 °C

T_a : Temperatura ambiente = 40 °C

TCAP: Capacidad Térmica del conductor 3,42 J/cm³·°C (Ver tabla 1 de IEEE-80-2000)

α_r : coeficiente térmico de resistividad a 20 °C, 0,00381 1/°C (Ver tabla 1 de IEEE-80-2000)

ρ_r : resistencia del conductor a 20 °C; 1,78 μΩ·cm (Ver tabla 1 de IEEE-80-2000)

K_0 : inversa del coef. Térmico de resistividad a 0 °C. 242 (Ver tabla 1 de IEEE-80-2000)

A: Sección mínima del conductor (mm²)

La sección mínima necesaria es mucho menor que los 120 mm² del cable de Cu que se va a utilizar, por lo que no habría problemas. Se utiliza este cable por ser el normalizado de Red Eléctrica.

Por otro lado, la densidad de corriente máxima que puede soportar el cable de Cu es de 192 A/mm². Entonces para el cable de 120 mm² la máxima intensidad que puede circular es de:

$$I_{\max} = 2 \cdot 192 \cdot 120 = 46 \text{ kA.}$$

Este valor es mucho mayor que la mitad de la corriente de falta a tierra, que era de 16,8 kA. Se utiliza la mitad del valor, ya que el diseño de la malla se establece de forma que en cada punto de p. a t. llegan al menos dos conductores.

8 Red de tierras superiores

El cometido del sistema de tierras superiores es la captación de las descargas atmosféricas y su conducción a la malla enterrada para que sean disipadas a tierra sin que se ponga en peligro la seguridad del personal y de los equipos de la subestación.

El sistema de tierras superiores consiste en un conjunto de hilos de guarda y/o de puntas Franklin sobre columnas. Estos elementos están unidos a la malla de tierra de la instalación a través de la estructura metálica que los soporta, que garantiza una unión eléctrica suficiente con la malla.

Para el diseño del sistema de protección de tierras superiores se ha adoptado el modelo electro geométrico de las descargas atmosféricas y que es generalmente aceptado para este propósito.

El criterio de seguridad que se establece es el de apantallamiento total de los embarrados y de los equipos que componen el aparellaje, siendo este criterio el que establece que todas las descargas atmosféricas que puedan originar tensiones peligrosas y que sean superiores al nivel del aislamiento de la instalación, deben ser captadas por los hilos de guarda.

Este apantallamiento se consigue mediante una disposición que asegura que la zona de captación de descargas peligrosas de los hilos de guarda y de las puntas Franklin contiene totalmente a la correspondiente a las partes bajo tensión.

La zona de captura se establece a partir del radio crítico de cebado (r) y que viene dado por la siguiente expresión:

$$r = 8 \times I^{0,65}$$

Donde: $I = 1,1 \cdot U \cdot N / Z$, siendo:

U = tensión soportada a impulsos tipo rayo = 1.425 kV

N = número de líneas conectadas a la subestación = 4

Z = Impedancia característica de las líneas = 400Ω (valor típico)

Sustituyendo y aplicando estos valores se obtiene:

$$I = 1,1 \cdot 1425 \cdot 10^3 \cdot 4 / 400 = 15,67 \text{ kA}$$

Luego la zona de captura será:

$$r = 8 \cdot 15,67^{0,65} = 47,85 \text{ m} \approx 48 \text{ m}$$

El radio crítico de 48 m con centro en las puntas Franklin, en el centro en los amarres de los hilos de guarda y en su punto más bajo, cuyo emplazamiento se refleja en los planos correspondientes, garantiza el apantallamiento total de la instalación.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

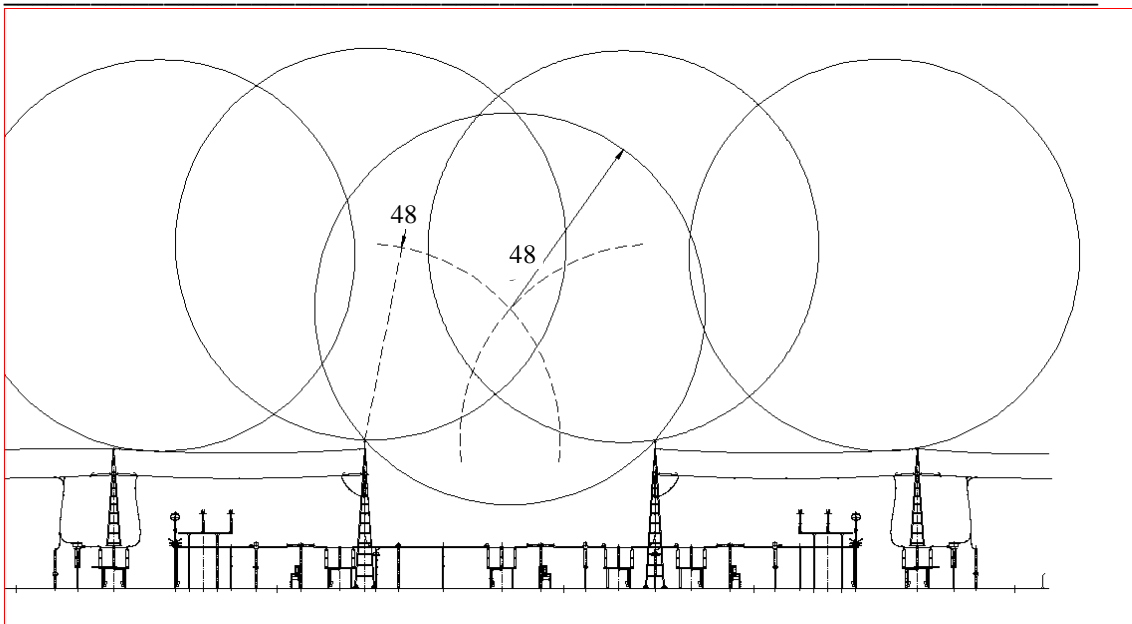


Figura 4. Esquema de apantallamiento de la subestación

Será necesaria la instalación de un sistema de protección contra el rayo cuando la frecuencia esperada de impactos N_e sea mayor que el riesgo admisible N_a .

1) La frecuencia esperada de impactos, N_e , puede determinarse mediante la expresión:

$$N_e = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} \text{ (nº impactos/año)}$$

Siendo,

N_g : densidad de impactos sobre el terreno ($\text{nº impactos/año, km}^2$), obtenida según la siguiente figura:

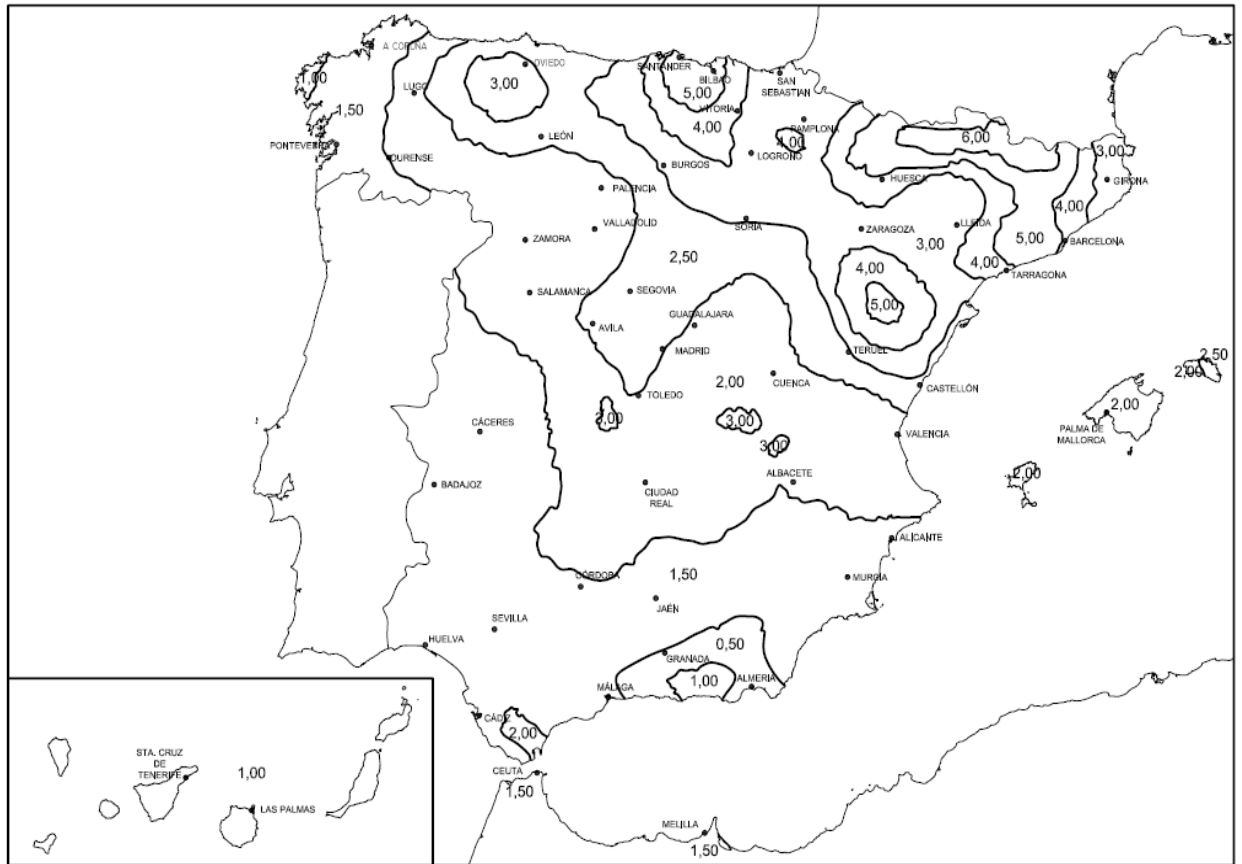


Figura 5. Mapa de densidad de impactos de rayos en España

A_e : superficie de captura equivalente del edificio aislado en m^2 , que es la delimitada por una línea trazada a una distancia $3H$ de cada uno de los puntos del perímetro, siendo H la altura del edificio en el punto del perímetro considerado.

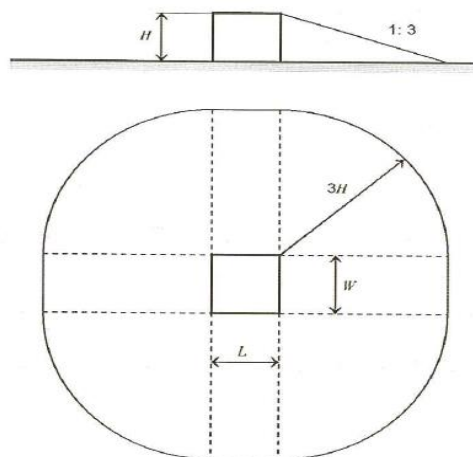


Figura 6. Esquemas de la superficie de captura de descargas

$$A_e = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L+W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2 \quad (\text{s/norma UNE-EN 62305-2})$$

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Donde: L= 178 m
W = 197,7 m
H = 60 m

C₁: coeficiente relacionado con el entorno, según la siguiente tabla:

Situación del edificio	C ₁
Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más altos	0,5
Rodeado de edificios más bajos	0,75
Aislado	1
Aislado sobre una colina o promontorio	2

Figura 7. Tabla de coeficientes para el cálculo de la frecuencia esperada de impactos

2) La frecuencia admisible, N_a, puede determinarse mediante la expresión:

$$N_a = \frac{5,5}{C_2 C_3 C_4 C_5} 10^{-3}$$

Siendo C₂, C₃, C₄ y C₅ unos coeficientes que dependen del tipo de construcción, contenido del edificio, uso del mismo y necesidad de la continuidad de las actividades que se desarrollen en él, respectivamente. Se obtienen de las siguientes tablas:

Coeficiente C ₂			
	Cubierta metálica	Cubierta de hormigón	Cubierta de madera
Estructura metálica	0,5	1	2
Estructura de hormigón	1	1	2,5
Estructura de madera	2	2,5	3

Coeficiente C ₃	
Edificio con contenido inflamable	3
Otros contenidos	1

Coeficiente C ₄	
Edificios no ocupados normalmente	0,5
Usos Pública Concurrencia, Sanitario, Comercial, Docente	3
Resto de edificios	1

Coeficiente C ₅	
Edificios cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible (hospitales, bomberos, ...) o pueda ocasionar un impacto ambiental grave	5
Resto de edificios	1

Figura 8. Tabla de coeficientes para el cálculo de la frecuencia admisible de impactos

Si es necesario la instalación de un sistema de protección contra el rayo, este tendrá al menos una eficiencia “E”, definida como:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e}$$

En la siguiente tabla se muestra el nivel de protección correspondiente a la eficiencia requerida. Estos niveles de protección son los mencionados anteriormente de la norma UNE-EN 62305.

Eficiencia requerida	Nivel de protección
$E \geq 0,98$	I
$0,95 \leq E < 0,98$	II
$0,80 \leq E < 0,95$	III
$0 \leq E < 0,80$	IV

Figura 9. Nivel de protección en función de la eficiencia requerida

Se tiene que:

$$N_g = 4$$

$$A_e = 272.230,2 \text{ m}^2$$

$$C_1 = 1$$

$$N_e = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6} = 1,089 \text{ impactos al año}$$

Y la frecuencia admisible sería:

$$C_2 = 1 \text{ (estructura y cubierta de hormigón)}$$

$$C_3 = 1 \text{ (sin contenidos inflamables)}$$

$$C_4 = 0,5 \text{ (edificios poco frecuentados)}$$

$$C_5 = 5 \text{ (por seguridad del servicio)}$$

$$N_a = \frac{5,5}{C_2 C_3 C_4 C_5} 10^{-3} = \frac{5,5}{1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 5} 10^{-3} = 0,0022$$

Como N_a es mucho menor que N_e , es necesario un sistema de protección ante rayos.

La eficiencia requerida por el sistema de protección es:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e} = 1 - \frac{0,0022}{1,089} = 99,79\%$$

Se estaría en un nivel de protección I.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

ESTUDIO ECONÓMICO

ESTUDIO ECONÓMICO

ÍNDICE

1. Objetivo	75
2. Rentabilidad de la construcción	75
3. Rentabilidad del mantenimiento	75

1. Objetivo

El objetivo del estudio económico es determinar si la subestación es rentable y qué grado de rentabilidad ofrece. Para ello se diferencia entre rentabilidad de la construcción y rentabilidad del mantenimiento.

2. Rentabilidad de la construcción

En primer lugar se debe conocer el valor de la inversión inicial para la construcción de la subestación de Caspe. Se puede dividir el valor de la inversión a realizar entre los diferentes costes que debe hacer frente la empresa promotora (terreno, equipos, materiales, obra civil, ingeniería, seguridad y vigilancia).

Todos estos costes se indican con detalle en el documento de presupuesto, y se llega a determinar una inversión total de 8.655.365 €.

Por otra parte, la empresa promotora recibe ciertas aportaciones económicas del estado en función del número de posiciones de interruptor que haya en la subestación, además de una cantidad adicional según las posiciones de interruptor de reserva que se prevean de cara a una ampliación en el futuro. Todo ello queda recogido en el BOE y queda adjuntado en el apartado de Anejos de este documento.

Se cuenta con 9 posiciones de interruptor instaladas y 3 de reserva sin equipar, por lo que se obtendría la siguiente aportación:

$$\text{Ingresos totales} = (9 * 1.043.909) + (3 * 0,414 * 1.043.909) = 10.691.716 \text{ €}$$

El margen por lo tanto sería:

$$\text{Margen} = 10.691.716 \text{ €} - 8.655.365 \text{ €} = 2.036.351 \text{ €}$$

Y la rentabilidad de la construcción:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Margen}}{\text{Inversión}} * 100 = 23,5\%$$

Por lo tanto, resulta rentable la construcción de la subestación de Caspe.

3. Rentabilidad del mantenimiento

De la misma manera que en la construcción, la empresa que explote la subestación recibirá unas aportaciones económicas del estado, en función de las posiciones de interruptor equipadas y de la vida útil de la instalación. Estos datos también se encuentran estipulados en el BOE, así como la vida útil de la subestación que se estima de 40 años, según el artículo 4 del mismo.

Como se cuenta con 9 posiciones de interruptor instaladas, se obtendría la siguiente aportación anual:

$$\text{Ingresos totales} = 9 * 63.119 = 568.071 \text{ €}$$

Por otra parte, el coste anual de mantenimiento de la subestación se estima de 516.428 €.

El margen por lo tanto sería:

$$\text{Margen} = 568.071 \text{ €} - 516.428 \text{ €} = 51.643 \text{ €}$$

Y la rentabilidad de la construcción:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Margen}}{\text{Inversión}} * 100 = 10\%$$

Por lo tanto, resulta rentable la explotación de la subestación de Caspe.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

ANEJOS

ANEJOS

ÍNDICE

1. Tabla de nivel de aislamiento	79
2. Factor “q” de resistencia del tubo a esfuerzos	79
3. Esquema del cálculo de coordinación de aislamiento	80
4. Esquema del cálculo para la selección de autoválvulas	81
5. Esquema del cálculo de red de tierras inferior	83
6. Aparamenta	84
6.1 Interruptores de potencia.....	84
6.2 Seccionadores de columnas giratorias.....	91
6.3 Seccionadores pantógrafos	92
6.4 Transformadores de intensidad.....	94
6.5 Transformadores de tensión capacitivos	96
6.6 Autoválvulas.....	98
7. Aisladores de apoyo	100
8. Cadena de aisladores.....	101
9. Casetas de relés	102
10. Centro de transformación prefabricado (CTR2).....	103
11. Impacto ambiental	104
11.1 Impacto sobre la geología/geomorfología.....	104
11.2 Impacto sobre la hidrología.....	104
11.3 Impacto sobre el aire	104
11.4 Impacto sobre la vegetación	105
11.5 Impacto sobre la fauna.....	105
12. Aportación económica.....	106

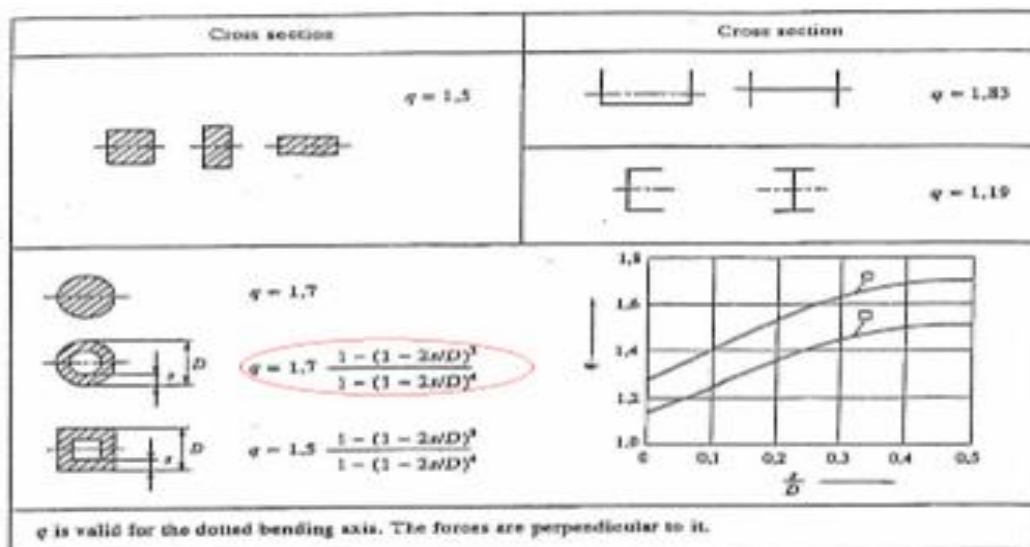
Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

1. Tabla de nivel de aislamiento

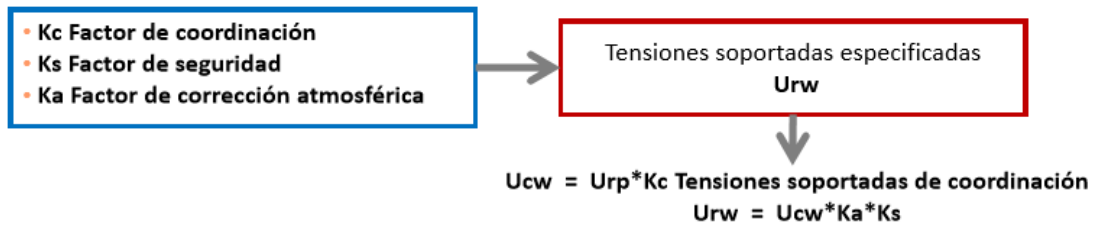
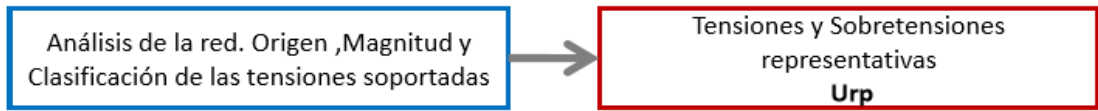
TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) kV (eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A IMPULSOS TIPO RAYO 1,2/50 μs kV (valor de cresta)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA Fase a tierra 250/2500 μs kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra (mm)		TENSIÓN 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				
1425							

(*) Las configuraciones "punta-estructura" y "punta-conductor" son las más desfavorables que normalmente puede encontrarse; las configuraciones "conductor-estructura" y "conductor-conductor (paralelos)" cubren un amplio campo de configuraciones normales y resultan menos desfavorables que las anteriores.

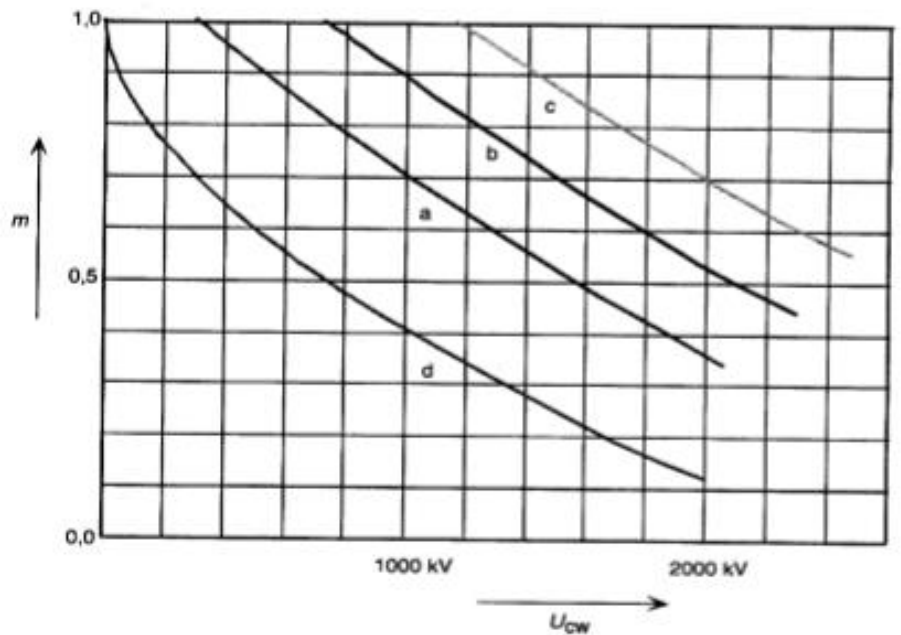
2. Factor "q" de resistencia del tubo a esfuerzos



3. Esquema del cálculo de coordinación de aislamiento

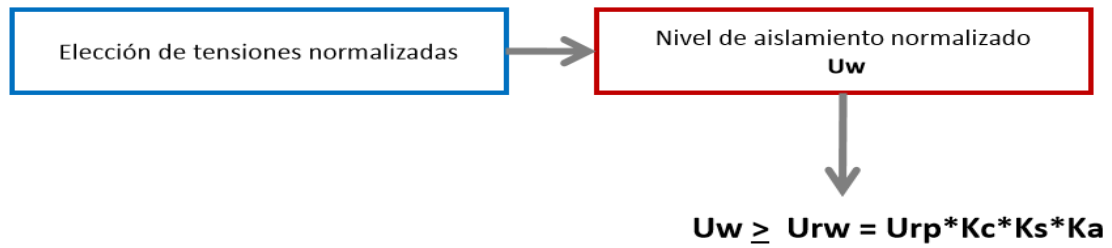


$$K_a = e^{m \cdot \left(\frac{H}{8150} \right)}$$



- a) aislamiento fase - tierra
 - b) aislamiento longitudinal
 - c) aislamiento entre fases
 - d) intervalo en el aire punta - plano (intervalo de referencia)
- El valor de las tensiones constituidas por dos componentes es la suma de los valores de las componentes.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador



La determinación del nivel de aislamiento se realiza sobre la tabla del anejo 1.

4. Esquema del cálculo para la selección de autoválvulas

Tensión de Funcionamiento Continuo:

$$U_c \geq U_s / \sqrt{3}$$

Capacidad frente a sobretensiones temporales:

$$TOV_c (10s) \geq (k * U_s / \sqrt{3}) * (T_t / 10)^{0,02}$$

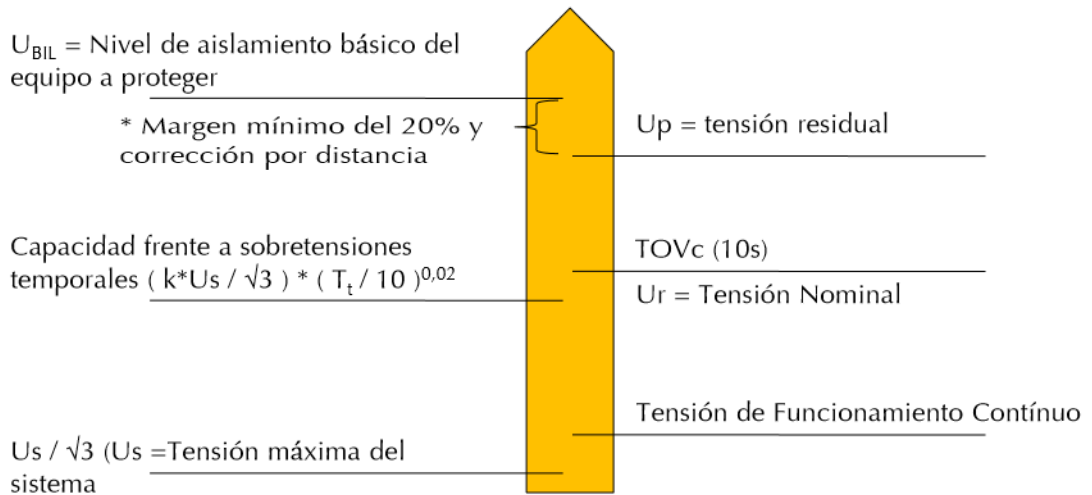
- k.- Factor de falta a tierra
- U_s .- Tensión máxima del sistema
- T_t .- Tiempo de despejes de faltas a tierra

Conexión del neutro	k
Rígido a Tierra	$k \leq 1,4$
No Rígido a Tierra	$1,4 \leq k \leq 1,73$
Aislado	$1,73 \leq k \leq 1,9$

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

Parámetros del Sistema

Parámetros de la Autoválvula



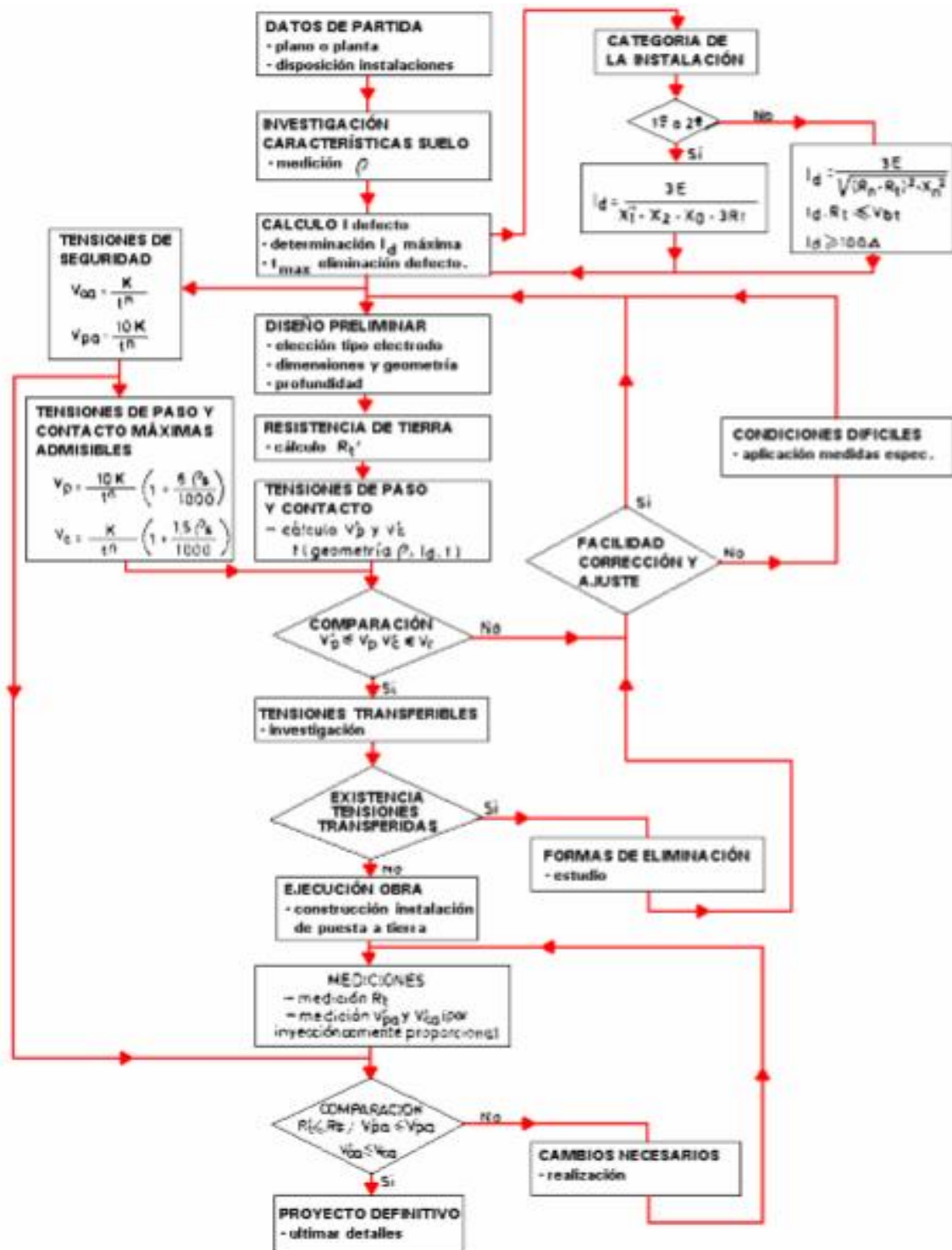
$$L_{m\acute{a}x} = \frac{U_{BIL} - U_p}{2 \cdot S} \cdot V$$

$S = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$

$V = 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$

5. Esquema del cálculo de red de tierras inferior

Diagrama de bloques de las etapas del procedimiento de diseño de las instalaciones de puesta a tierra según el apartado 2.1 de la RAT 13.



6. Aparamenta

6.1 Interruptores de potencia

Interruptores tipo HPL B

Los interruptores tipo puffer de presión simple aprovechan la energía mecánica para el movimiento de los contactos y la generación del flujo de gas SF₆ para enfriar e interrumpir el arco. Suministramos interruptores puros tipo puffer SF₆ desde la década de los setenta. ABB perfeccionó esta tecnología para producir el interruptor de mayor rendimiento del mundo, el HPL B, que ofrece una seguridad de conmutación

incomparable en todas las condiciones del sistema, desde corrientes reactivas hasta cortocircuitos totales de 80 kA. Por muchos años, ABB ha utilizado mecanismos de operación con energía almacenada mecánicamente en resortes. Esta solución ofrece ventajas considerables dado que la energía está siempre disponible en los resortes tensados.



Reseña de las características:

Instalación	Exterior / Interior
Diseño	Interruptor SF ₆ Auto-Puffer™ Mecanismos de operación a resorte o Motor Drive
Aislamiento	SF ₆
Tensión nominal	Hasta 800 kV
Corriente nominal	Hasta 5.000 A
Corriente de corte	Hasta 80 kA
Corriente de corta duración	Hasta 63 kA/3 s Hasta 80 kA/1 s
Aisladores	Material compuesto o Porcelana
Distancia de fuga	25 mm/kV tensión fase - fase (Más larga bajo pedido)
Condiciones de funcionamiento: Temperatura ambiente	-30 a +40 °C (Funcionamiento en temperaturas de -60 a +70 °C bajo pedido)
Altitud nominal	1.000 metros sobre el nivel del mar (Mayores altitudes bajo pedido)
Tipo de funcionamiento	Monopolar o tripolar

Interruptores tipo HPL B

Funcionamiento

Los bien probados diseños HPL ofrecen un rendimiento de conmutación sin igual. Los interruptores pueden soportar elevadas corrientes de corte y están dielectricamente probados para niveles que superan los requisitos de las normas IEC y ANSI.

Recientemente, se ha verificado mediante pruebas de tipo que el HPL puede soportar 420 y 550 kV sin condensadores de sobrecorriente. El beneficio es un interruptor fiable con menos componentes y menor necesidad de mantenimiento.

Material

Los componentes de aluminio seleccionados (gabinetes de mecanismos, terminales de alta tensión, armarios) proporcionan un alto grado de resistencia a la corrosión, sin necesidad de protección adicional. Para uso en ambientes de exposición extrema, los interruptores HPL se pueden suministrar con una pintura de protección.

La estructura soporte y los tubos protectores para las barras de tracción son de acero galvanizado en caliente.

Aisladores

El interruptor HPL se suministra como estándar con aisladores que constan de porcelana marrón vidriada de alta calidad o aisladores de material compuesto (gris claro). Bajo pedido, se puede suministrar HPL con porcelana color gris claro.

HPL está disponible como estándar con distancias de fuga largas.

Bajo pedido, se pueden ofertar distancias de fuga más largas.

En el capítulo P-1 se incluye más información sobre nuestros aisladores de material compuesto.

Resistencia mecánica

La durabilidad mecánica deja un margen de seguridad suficiente de resistencia al viento, y fuerzas estáticas y dinámicas de los conductores.

Rigidez de resistencia sísmica

Todos los interruptores HPL pueden, en sus versiones estándar, resistir aceleraciones sísmicas de hasta 3 m/s^2 (0,3 g) de acuerdo con las normas IEC 62271-300, y debajo $2,5 \text{ m/s}^2$ (0,25 g) de acuerdo con IEEE 693.

Para una aceleración mayor, ver el capítulo S-1 "Capacidad de resistencia sísmica".

Placas de características

Una placa de características, que incluye datos sobre el interruptor, está situada en el armario del mecanismo de operación. La placa de características es de acero inoxidable con texto grabado.

Mecanismo de operación

El interruptor es operado por mecanismo(s) de operación de resorte cargado por motor, tipo BLG, que está(n) instalado(s) en un gabinete compacto a prueba de salpicaduras y resistente a la corrosión, adosado a la estructura.

- Un mecanismo de operación se utiliza para operación tripolar para HPL 72,5 - 300 kV.
- Tres mecanismos de operación se utilizan para operación monopolar para HPL 72,5 - 550 kV.
- Seis mecanismos de operación (dos por polo) para operación monopolar para HPL 800 kV.

En los capítulos G-1 y M-1 de la Guía del usuario se incluye información más detallada sobre los mecanismos de operación tipo BLG.

Sistemas de sellado para volumen de SF₆

El sistema de sellado consiste en anillos tóricos dobles de caucho nitrilo en todas las juntas estáticas y anillos X dobles en todas las juntas dinámicas.

Hemos utilizado este tipo de juntas en nuestros interruptores durante más de 30 años con excelentes resultados de servicio en condiciones climáticas variadas.

La fuga SF₆ es inferior a 0,5% por año.

Control de densidad de SF₆

Dado que la capacidad de interrupción depende de la densidad del gas SF₆, el interruptor HPL se suministra con monitores de densidad. El monitor de densidad consiste en un presostato compensado por temperatura. Por lo tanto, la señal de alarma y la función de bloqueo son activadas únicamente si la presión cae debido a una fuga.

Todos los interruptores HPL tienen un monitor de densidad por polo.

Para más información, consultar el capítulo B-1 "Aclaraciones".

Interruptores tipo HPL B

Resistencia a las condiciones climáticas

Los interruptores HPL están diseñados para y son instalados en una amplia variedad de condiciones climáticas, desde zonas polares a desiertos por todo el mundo.

Para interruptores instalados en zonas con temperaturas bajas extremas existe un riesgo de condensación del gas SF₆.

Para evitar las consecuencias de la condensación, se utiliza una de las siguientes mezclas de gases:

- SF₆ y N₂
- SF₆ y CF₄

Estructura soporte

La estructura soporte se incluye en las versiones estándar de los interruptores HPL. Las estructuras soporte son de acero galvanizado en caliente.

Hasta 550 kV, los interruptores HPL son montados sobre una columna de soporte por polo.

Para HPL 600 kV, son necesarias dos columnas por polo.

Para una información más detallada, consultar "Dimensiones"

Las estructuras soporte están preparadas para conexión a tierra mediante orificios perforados en cada apoyo.

Terminales de alta tensión

Los interruptores HPL están equipados como estándar con terminales de aluminio planos de 28 mm de espesor y un dibujo de perforación conforme a las normas IEC y NEMA. Bajo pedido, hay disponibles otras dimensiones (por ejemplo, DIN) por medio de adaptadores.



Los interruptores con elementos de corte de montaje vertical tienen terminales a ambos lados para conexión en cualquier dirección.

Los interruptores con elementos de corte horizontales tienen un terminal por elemento de interrupción. Los terminales están dirigidos hacia arriba.

Resistencias pre-inserción (PIR)

Los interruptores HPL con más de un elemento de interrupción por polo pueden suministrarse con resistencias de pre-inserción para energización de líneas en vacío.

Dispositivos de conmutación controlada

El objetivo de la conmutación controlada es aumentar la calidad de energía en los sistemas de red reduciendo los transitorios de conmutación. Todos los interruptores HPL son adecuados para conmutación controlada con el dispositivo Switchsync™ de ABB.

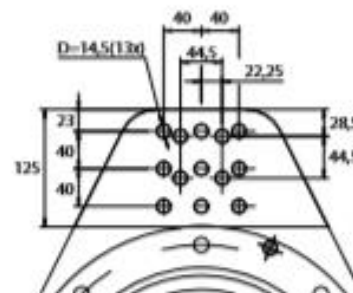
A fin de obtener un resultado óptimo, los instantes de conmutación deben ser diferentes para las tres fases. Para interruptores de operación tripolar, esto se logra con polos alternados mecánicamente. Desde 1984 se han suministrado más de 2.300 Switchsync™.

Para más información, consultar el capítulo Q-1, "Conmutación controlada".

Monitoreo de condición

Como una opción, podemos ofrecer control de supervisión mediante nuestro sistema de monitoreo de condición.

Éste se describe en el capítulo R-1.



Interruptores tipo HPL B

Pruebas de tipo

Los interruptores HPL han sido sometidos a pruebas de tipo conforme a las normas IEC y/o ANSI.

Bajo pedido, se pueden suministrar informes de las pruebas de tipo.

Pruebas de rutina

Todos los interruptores HPL son sometidos a pruebas de rutina antes del suministro. Nuestro programa de pruebas cumple con las normas IEC y ANSI.

Para más detalles, consultar el capítulo T-1 sobre "Control de calidad y pruebas".

Transporte

Normalmente, los interruptores HPL se embalan y transportan en cajas de madera para uso marítimo.

Los polos del interruptor con un elemento de interrupción por polo se transportan como unidades completas.

Para interruptores con dos o más elementos de corte por polo, el número de cajas depende del tipo de interruptor.

Para información detallada sobre pesos y dimensiones, ver "Datos de embarque".

Los elementos de corte y los aisladores soporte están llenos con SF₆ gas a una ligera sobrepresión.

Inspección de recepción

En la recepción, se debe comprobar el embalaje y los contenidos con la lista de embalaje.

En caso de deterioro de la mercancía, póngase en contacto con ABB para notificarnos el deterioro, antes de que se produzca ninguna otra manipulación del material.

Se deberá documentar cualquier tipo de deterioro (fotografiado).

Instalación y puesta en servicio

Las instrucciones de montaje se adjuntan con cada entrega.

Los trabajos de instalación en el emplazamiento se pueden efectuar en 1-4 días según el tipo y tamaño del HPL.

El llenado de gas SF₆ con la presión nominal especificada se realiza utilizando los siguientes equipos de presurización, que pueden suministrarse bajo pedido:

- Una válvula de control especial, para conectar a la botella de gas, y una manguera llena de gas de 20 m con conectores.
- Una válvula de control suplementaria para conectar a la botella de CF₄ o N₂ (para relleno de gas mixto).

Al utilizar los equipos mencionados anteriormente, el llenado de gas se puede efectuar sin que el gas sea liberado a la atmósfera.

Para ilustrar los equipos de llenado de gas, ver la página J-6.

Mantenimiento

El HPL está diseñado para una vida útil de más de 30 años o 10.000 operaciones mecánicas. Para conmutación de corriente, el número de operaciones antes del mantenimiento depende de la corriente interrumpida y del tipo de aplicación.

La inspección, el mantenimiento y la revisión se deben realizar a intervalos regulares según las condiciones ambientales y el número de operaciones.

Las acciones generales se describen a continuación:

- 1-2 años:
Inspección ocular
- Después 15 años o 5.000 operaciones mecánicas: Mantenimiento preventivo incluyendo inspección general del interruptor y mecanismo de operación.
Prueba de funcionamiento incluyendo la medición de tiempos operativos y posibles ajustes.

Interruptores tipo HPL B

- 30 años o 10.000 operaciones mecánicas: Se recomienda una inspección exhaustiva después de 30 años, que permitirá aumentar la seguridad y una operación continua sin problemas. Los métodos y el ámbito de inspección dependerán mucho de las condiciones ambientales locales.

Para interruptores para servicios de conmutación especiales como la conmutación de bancos de reactores, la revisión de la cámara de interrupción se debe efectuar con mayor frecuencia.



Los trabajos de revisión y reparación deben ser realizados por personal autorizado exclusivamente.

Se deben observar las instrucciones del manual de operación y mantenimiento.

ABB está disponible para consultas y asesoramiento.

Repuestos recomendados

Alta frecuencia de operación (por ejemplo, interruptores para conmutación de reactores o condensadores) y/o grandes cantidades de interruptores:

- Polos completos
- Mecanismos de operación completos
- Juegos de contactos
- Juegos de juntas
- Indicadores de densidad
- Gas SF₆

Repuestos para los mecanismos de operación BLG; ver los capítulos M-1

Gas SF₆

El gas para llenado hasta la presión nominal se puede suministrar en botellas, de 40 kg de gas cada una.

La cantidad requerida para cada tipo de HPL varía de un interruptor a otro. Esta información se indica en la oferta.

Los equipos de presurizado se pueden suministrar bajo pedido, y se describen bajo "Instalación y puesta en servicio".

Ménsulas y conexiones primarias

Como equipamiento opcional, el HPL 72,5 - 170D1/B se puede suministrar con ménsulas de soportes voladizos para transformadores de corriente IMB, y conexiones primarias entre el interruptor y los transformadores de corriente montados en las ménsulas.

Eliminación de piezas

La eliminación de piezas gastadas debería ser llevada a cabo conforme a las disposiciones legales locales.

El gas SF₆ no deberá ser evacuado a la atmósfera cuando el interruptor es desmantelado.

El gas SF₆ puede ser reciclado.

La porcelana, después de haber sido machacada, puede utilizarse como relleno.

Los metales empleados en el interruptor pueden ser reciclados.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Datos técnicos según IEC

(Datos generales, pueden existir desviaciones)

		HPL 72,5B1	HPL 170B1	HPL 245B1	HPL 300B1	HPL 420B2	HPL 550B2	HPL 800B4
Número de cámaras de corte por polo		1	1	1	1	2	2	4
Tensión nominal	kV	72,5	170	245	300	420	550	800
Frecuencia nominal	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Nivel soportado a la frecuencia industrial [®]								
- A tierra y entre fases	kV	140	325	460	360	520	620	830
- A través de polo abierto	kV	140	325	460	435	610	800	1150
Nivel soportado a impulso tipo atmosférico (LIWL)								
- A tierra y entre fases	kV	325	750	1050	1050	1425	1550	2100
- A través de polo abierto	kV	325	750	1050	1050 (+170)	1425 (+240)	1550 (+315)	2100 (+455)
Nivel soportado a impulsos tipo operación (SIWL)								
- A tierra/entre fases	kV	-	-	-	850/1275	1050/1575	1175/1760	1550/2480
- A través de polo abierto	kV	-	-	-	700 (+245)	900 (+345)	900 (+450)	1175 (+650)
Corriente nominal de servicio	A	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Corriente nominal de servicio en cortocircuito	kA	63 [®]	63 [®]	63 [®]	63 [®]	63 [®]	63 [®]	63 [®]
Factor de primer polo		1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3
Cresta de corriente de cierre	kA	158/164	158/164	158/164	158/164	158/164	158/164	158/164
Duración de cortocircuito	s	3	3	3	3	3	3	3
Tiempo de cierre	ms	<65	<65	<65	<65	<65	<65	<65
Tiempo de apertura	ms	<22	<22	<22	<22	<22	<22	<22
Tiempo de corte	ms	33	33	33	33	33	33	33
Tiempo muerto	ms	300	300	300	300	300	300	300
Secuencia de operación nominal	-	0-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO						

Dimensiones – HPL B

HPL 420B2

Operación monopolar

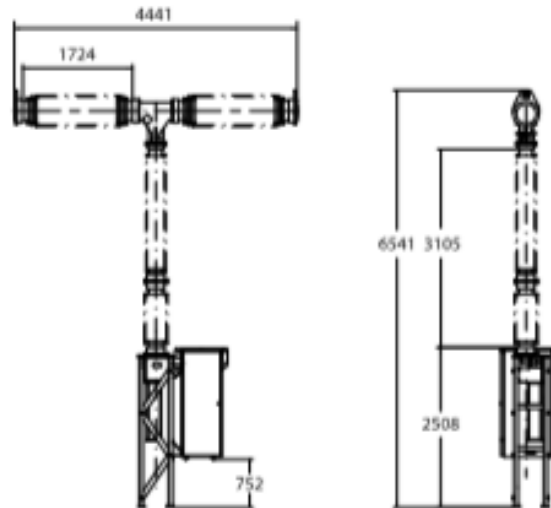
Tensión nominal: 362 - 420 kV

Todas las dimensiones en mm

Dimensiones disponibles para distancias de fase y alturas hasta la parte inferior del aislador (mm)

Tensión nominal	Altura hasta la parte inferior del aislador				
420 kV	1950	2508*	2992	3642	4142

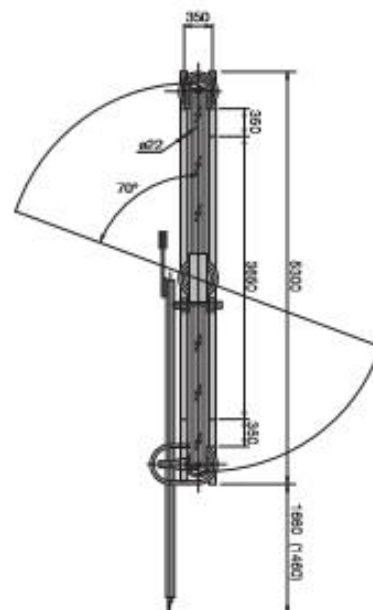
* Estándar



HPL 362-420TB2, Operación monopolar, 55 mm/kV, (31 mm/kV tensión entre fases) (Con PIR)

Equipamiento	Número de cajas	Dimensiones	Peso bruto
		L x A x Al	kg
		m	
Elementos de corte incl, PIR	3	3 x (5,28 x 1,85 x 1,22)	3 x (2.600)
Columna soporte	1	6,07 x 1,90 x 0,90	2.600
Mecanismo de operación	3	3 x (1,89 x 1,05 x 1,12)	3 x (680)
Estructura soporte	1	2,40 x 1,10 x 0,38	480
(Condensadores si se incluyen)	(1)	(1,98 x 1,21 x 0,91)	(840)
Total	8 (9)	48,5 (51,4) m³	13.120 (13.960)

6.2 Seccionadores de columnas giratorias



Partes conductoras

Realizadas en aleación de aluminio.

Sistema de contactos y bornas de conexión

Contactos en cobre plateado, con aumento dinámico de la presión de contacto.

Aisladores

Tipo C6 ó C8, de 1425 ó 1550 kV aislamiento a impulso tipo rayo, de porcelana esmaltada en marrón, según CEI-273 y línea de fuga conforme a los niveles fijados en CEI-815.

Partes férricas

Tanto las bases como el resto de partes férricas, tornillos, bulones, etc, son de acero inoxidable o galvanizadas por inmersión en caliente según ISO 1461.

Soportes giratorios

Engrasados de por vida.

Puesta a tierra

Los seccionadores pueden suministrarse con cuchillas de puesta a tierra enclavadas mecánicamente con las cuchillas principales.

Funcionamiento

Doble cinemática apertura/cierre. Para el cierre, la columna central efectúa una primera rotación de 70° hasta que se tocan los contactos y una segunda rotación de 20° que se traduce en un desplazamiento paralelo de las partes conductoras hasta completar el cierre y enclavar el seccionador en esa posición. Para la apertura, la primera rotación libera los contactos y la segunda desplaza las cuchillas hasta la posición de abierto.

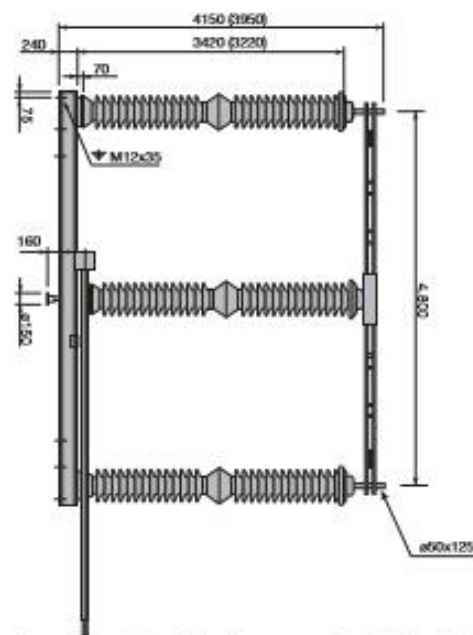
Operación

Puede ser motorizada o manual. La operación se realiza polo por polo.

Prestaciones especiales

Bajo demanda, los seccionadores se suministran con dispositivos especiales, como son:

- Endurancia mecánica extendida hasta 10.000 maniobras.
- Capacidad de funcionamiento en condiciones severas de formación de hielo (20 mm).
- Anillos equipotenciales (para RIV <2500 μV).



Las medidas entre paréntesis, corresponden a aislador C6 ó C8-1425.

Referencia	Peso kg	Referencia	Peso kg	Tensión Nominal kV	Intensidad Nominal A	Tensión de ensayo						Intensidad de corta duración (Valor eficaz) (RMS)	Valor cresta de la intensidad	Tipo de aislador
						A tierra y entre polos			Sobre la distancia de seccionamiento					
						A frecuencia industrial bajo lluvia kV	A impulso tipo rayo kV	A impulso tipo maniobra kV	A frecuencia industrial bajo lluvia kV	A impulso kV	A impulso tipo maniobra kV			
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

6.3 Seccionadores pantógrafos

Generalidades

Partes conductoras y caja en aleación de aluminio.

Contactos de gran longitud que aseguran un efecto de tenaza real en los contracontactos, pudiendo ser de configuración simple (SP) o doble (SPD), en función de: la tensión, intensidad y el nivel de cortocircuito nominales. Los contactos aumentan su presión con las fuerzas electrodinámicas.

Sistema de multi-contactos en las articulaciones que asegura un perfecto paso de la corriente.

Aisladores tipo columna de 4000 N (C4), 6000 N (C6) ó 8000 N (C8) según modelo.

Aisladores de giro de 2000 Nm (T2) ó 3000 Nm (T3).

Regulación y ajuste de la presión de contacto en fábrica, sin necesidad de ajuste posterior en obra.

Mandos y montaje

- Mando por motor eléctrico por AE-90 (CAT. 182) o AE-85 (CAT. 180).
- Mando manual por palanca AG-14, AGL-14 (CAT. 170) o manivela AE-85M (CAT. 180).

Accionamiento para cuchillas principales

- Montajes 1 a 4: posibilidad de accionamiento tripolar, incluso con AE-85, CAT. 180.
- Montajes 5 a 13: necesariamente accionamiento unipolar, posible con AE-85.
- Montajes 14 a 15: necesariamente accionamiento unipolar con AE-90 (CAT. 182).

Accionamiento para cuchillas P.T.

- Accionamiento tripolar: No es posible.
- Accionamiento unipolar con mando manual AG-14, AGL-14 ó AE-85M, o motor.
- AE-85 ó AE-90 para todos los modelos.

Contracontactos

- Varios tipos disponibles (rígidos, flexibles...).

Otras prestaciones

- Bajo demanda.
- Conexión por las cuatro caras de la caja.
- Bombas de conexión cilíndricas en cobre plateado.
- Dispositivo de puesta a tierra.



Pantógrafos suministrados a REE.
Referencias en REE, E.ON, Iberdrola, Endesa, Gas Natural Unión Fenosa, HC Energía.

Características técnicas

Montaje	Referencia	Fig.	Peso (kg)	Referencia (con PAT)	Peso (kg)	Tensión nominal (kV)	Intensidad nominal (A)	Tensión de ensayo						Intensidad de corta duración (valor eficaz) (kA)	Valor cresta de la intensidad (kA)	Tipo de aislador (1)
								A tierra y entre polos			Sobre la distancia de seccionamiento					
								A frecuencia industrial bajo lluvia (kV)	A impulso tipo rayo (kV)	A impulso tipo maniobra (kV)	A frecuencia industrial bajo lluvia (kV)	A impulso (kV)	A impulso tipo maniobra (kV)			
9	SP-170/4000	2	103	SPT-170/4000	153	170	4000	325	750	-	375	860	-	50	125	C6-750
10	SP-245/4000	2	112	SPT-245/4000	162	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	50	125	C6-1050
11	SP-245/4000	2	112	SPT-245/4000	162	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	63	160	C8-1050
12	SPD-245/4000	3	133	SPDT-245/4000	183	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	50	125	C6-1050
13	SPD-245/4000	3	133	SPDT-245/4000	183	245	4000	460	1050	-	530	1200	-	63	160	C8-1050
14	SPD-420/4000	3	150	SPDT-420/4000	200	420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	50	125	C6-1425
15	SPD-420/4000	3	150	SPDT-420/4000	200	420	4000	520	1425	1050	610	1665	1245	63	160	C8-1425

Tensión nominal (kV)	Fig.	A	C	E	F (aprox.)	K (aprox.)	L (min)	R (aprox.)	Anclajes (vista B-B) (2)		
									I	Nº agujeros	P
170	2	4390	1700	300	2970	2145	1630	875	225	(4xØ18)	270
245	2	5630	2300	460	3230	2540	2280	1250	225	(4xØ18)	270
245	3	6250	2300	460	3960	1740	2350	1235	225	(4xØ18)	270
420	3	8250	3350	550	4865	2285	3150	1590	254	(4xØ18)	330

Figura 2

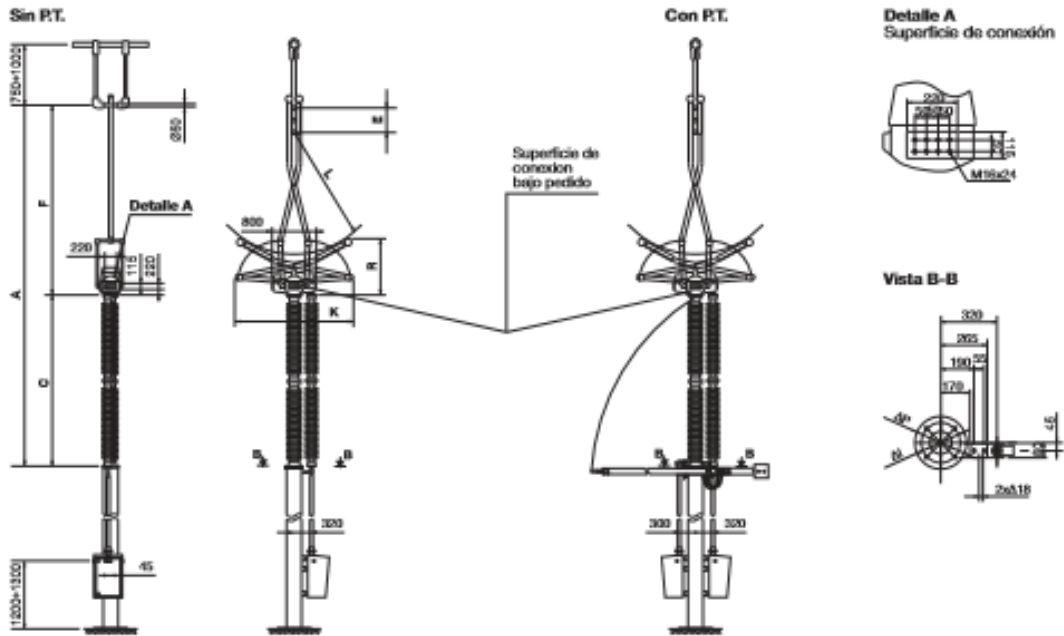
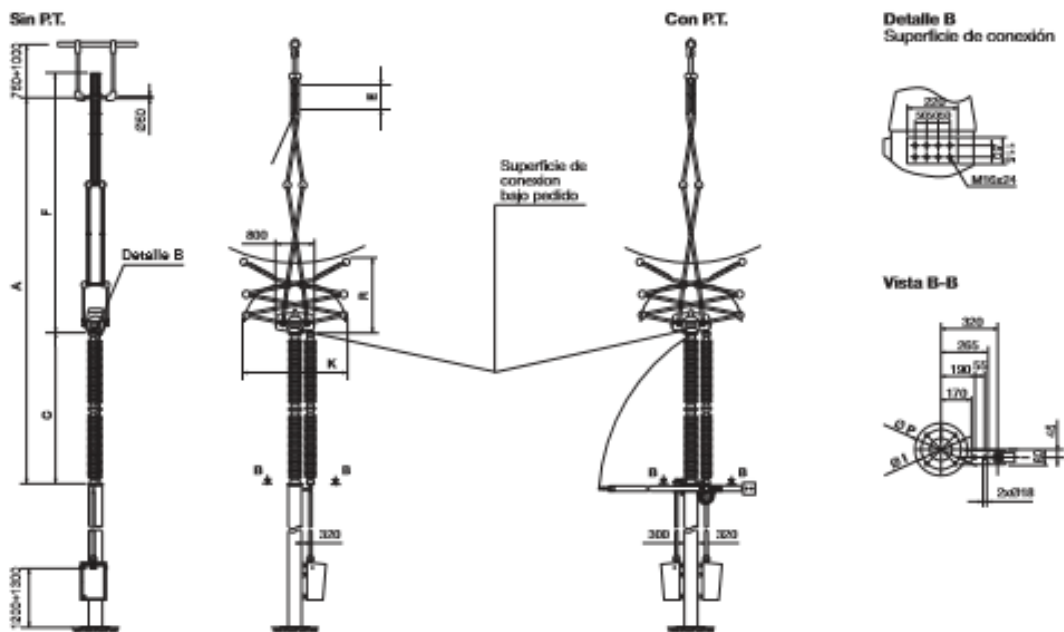


Figura 3



6.4 Transformadores de intensidad



1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento papel-aceite, gas y seco

VENTAJAS

- › Variedad de diseños y aislamientos para una mejor adaptación a las necesidades del cliente.
- › Alta robustez mecánica y reducido tamaño mediante un diseño compacto que facilita el transporte, almacenaje, montaje y reduce el impacto visual de los aparatos.
- › Construcción hermética que garantiza una absoluta estanqueidad con el mínimo volumen de aceite o gas en su interior (en este caso se comprueba mediante ensayos a cada aparato).
- › Respuesta óptima en condiciones climáticas extremas (aislamiento papel-aceite desde -55°C hasta +55°C; aislamiento gas desde -45°C hasta +55°C), altitudes superiores a 1.000 m.s.n.m., ambientes salinos o contaminados, sismos, etc.
- › Libres de mantenimiento durante su amplio periodo de funcionamiento.
- › Muy alta precisión (hasta 0,1%) invariable a lo largo de la vida del aparato.
- › Protección de los secundarios en el bloque de bornes.
- › Amplia variedad de terminales primarios y secundarios.
- › Diferentes prensaestopas y accesorios disponibles.
- › Los aparatos se ensayan como rutina, a descargas parciales, tangente delta, aislamiento y precisión y están diseñados para soportar todos los ensayos tipo que indican las normas.
- › Cumplen todo tipo de requerimientos a nivel mundial: IEC, IEEE, UNE, BS, VDE, SS, CAN, AS, NBR, JIS, GOST, NF...
- › Disponibilidad de laboratorios propios homologados oficialmente.
- › Posibilidad de transporte y almacenamiento horizontal o vertical.

› Transformadores de intensidad modelo CA de 420 kV. CFE, Chiclaesén (México).



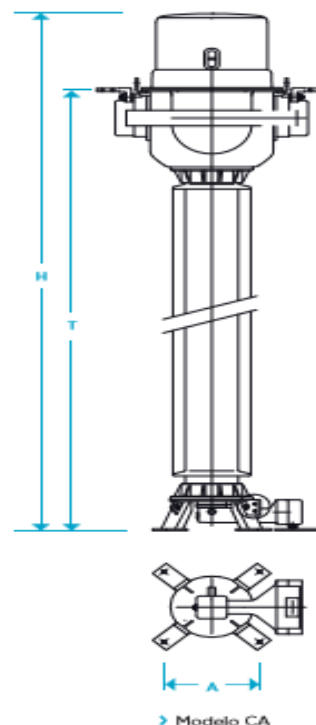
Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento papel-aceite

El transformador de intensidad consta de uno o varios núcleos con sus correspondientes arrollamientos secundarios.

GAMA CA:

Las partes activas se sitúan en la parte superior y se colocan dentro de una caja metálica que hace de pantalla de baja tensión; sobre ella se coloca el aislamiento principal de papel aceite que termina con una pantalla de alta tensión. El conductor primario puede ser pasante, con reconexión exterior o bobinado, según el caso. Los conductores secundarios discurren a través de una borna condensadora aislada con papel aceite y formada por pantallas distribuidoras del campo eléctrico.



Aislamiento 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 (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1.185	1.625	250
CA-52	52	95	250	-	1.300	350	1.185	1.625	260
CA-72	72,5	140	325	-	1.825	350	1.335	1.775	280
CA-100	100	185	450	-	2.500	350	1.335	1.775	290
CA-123	123	230	550	-	3.075	350	1.665	2.095	300
CA-145	145	275	650	-	3.625	350	1.665	2.095	310
CA-170	170	325	750	-	4.250	350	1.895	2.335	330
CA-245	245	460	1.050	-	6.125	450	2.755	3.055	560
		395	950						
CA-300	300	460	1.050	850	7.500	450	3.170	3.580	650
CA-362	362	510	1.175	950	9.050	600	3.875	4.355	870
CA-420	420	630	1.425	1.050	10.500	600	3.875	4.355	920
		575	1.300						
CA-525	(525) 550	680	1.550	1.175	13.125	600	4.530	5.365	1.200
CA-550	(525) 550	800	1.800	1.175	13.750	600	5.205	5.960	1.700
CA-765	(765) 800	880	1.950	1.425	15.300	600	5.770	6.590	2.050
		975	2.100	1.550					

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: desde 1 A hasta 5.000 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 120 kA/1 s.

6.5 Transformadores de tensión capacitivos



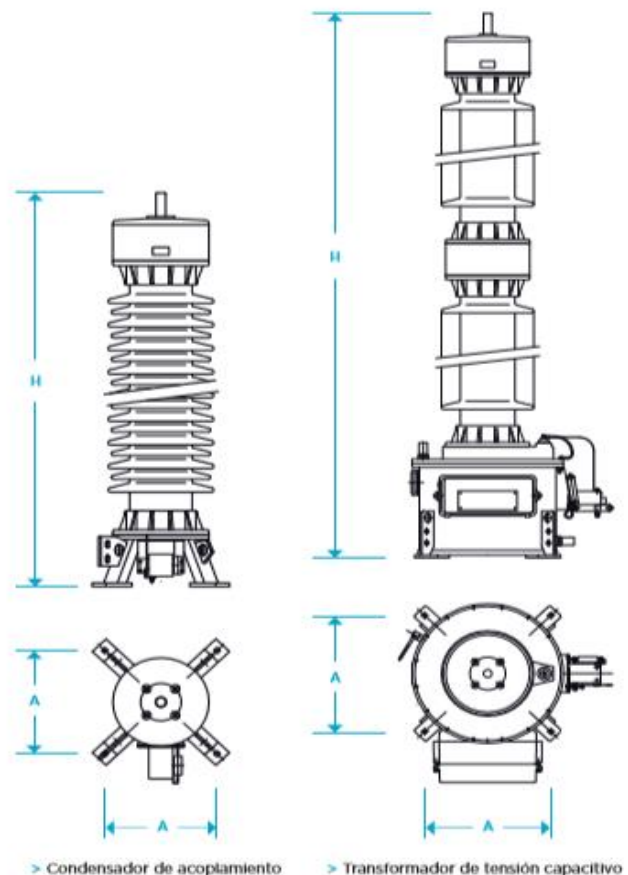
TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS Y CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO > Aislamiento papel-aceite

VENTAJAS

- > Alta estabilidad de la capacidad y por lo tanto de la precisión.
- > Fiable sistema de supresión de ferresonancia que no afecta a la respuesta transitoria ni a la precisión.
- > Excelente resistencia mecánica a esfuerzos sísmicos.
- > Dispositivos de liberación de presión en caso de fallo interno, lo que garantiza el máximo nivel de seguridad.
- > Alta robustez mecánica y reducido tamaño debido a un diseño compacto, que facilita el transporte, almacenaje y montaje, y reduce el impacto visual de los aparatos.
- > Herméticamente construido con el mínimo volumen de aceite en su interior.
- > Compensador metálico que regula eficazmente los cambios en el volumen de aceite debidos fundamentalmente a la variación de temperatura.
- > Libres de mantenimiento durante su amplio periodo de funcionamiento.
- > Diseño amigable con el Medio Ambiente debido a la utilización de aceites aislantes de alta calidad y libres de PCB. Los materiales empleados son reciclables y resistentes a la intemperie.
- > Respuesta óptima en condiciones climáticas extremas (desde -55°C hasta +55°C), altitudes superiores a 1.000 m.s.n.m., ambientes salinos o contaminados, seísmos, etc.
- > Los aparatos se ensayan como rutina a descargas parciales, medida de capacidad y tangente de delta, aislamiento y precisión y están diseñados para soportar todos los ensayos de tipo que exigen las normas.
- > Cumple todo tipo de requerimientos a nivel mundial: IEC, IEEE, UNE, BS, VDE, SS, CAN, AS, NBR, JIS, GOST, NF y otras.
- > Disponibilidad de laboratorios propios homologados oficialmente.

OPCIONES:

- > Posibilidad de aislador de silicona.
- > Accesorios para carrier.
- > Palanca de puesta a tierra de la parte inductiva.
- > Amplia variedad de terminales primarios y secundarios.
- > Secundarios precintables.
- > Posibilidad de instalar en la cabeza bobinas de bloqueo.
- > Diferentes prensaestopas y accesorios disponibles.
- > Amplia gama de capacidades.
- > Dispositivos de protección de secundarios dentro del bloque de bornas.



4. TRANSFORMADORES DE TENSION CAPACITIVOS Y CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO > Aislamiento papel-aceite

Transformadores de tensión capacitivos										
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Capacidad estándar (pF)	Alta capacidad (pF)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia Industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DDB-72	72,5	140	325	-	10.300	25.500	1.825	450	1.510	245
DDB-100	100	185	450	-	5.700	14.300	2.500	450	1.600	255
DDB-123	123	230	550	-	5.600	14.000	3.075	450	1.830	300
DDB-145	145	275	650	-	3.900	19.500	3.625	450	1.920	310
DDB-170	170	325	750	-	7.500	16.500	4.250	450	2.065	330
DFK-245	245	460	1.050	-	5.800	11.000	6.125	450	2.885	450
		395	950							
DFK-300	300	460	1.050	850	6.000	12.500	7.500	450	3.205	480
DFK-362	362	510	1.175	950	4.500	10.100	9.050	450	3.675	520
DFK-420	420	630	1.425	1.050	3.500	7.700	10.500	450	4.595	670
		575	1.300	950						
DFK-525	(525) 550	680	1.550	1.175	3.000	6.200	13.125	450	5.560	1.065
		800	1.800	1.175						
DFK-765	(765) 800	880	1.950	1.425	3.000	4.500	15.300	450	7.010	1.270
		975	2.100	1.550						

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar. Posibilidad de valores superiores de capacidad bajo pedido.

6.6 Autoválvulas

Descargador de óxido de cinc EXLIM Q-D

Para la protección contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento de subestaciones de alta tensión, transformadores y otros equipos en redes de alta tensión.

- en zonas con alta intensidad de descargas atmosféricas y requisitos energéticos elevados.
- en lugares donde las condiciones de puesta a tierra o apantallamiento son deficientes o incompletas



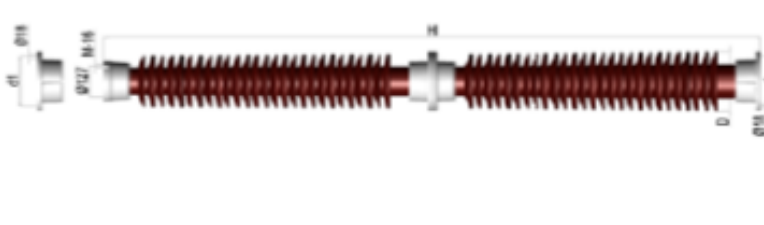
Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red (U_m) _m	170 -420 kV
Tensiones nominales (U_n)	132 -420 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	10 kA _{pico}
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10 kA _{pico}
Corriente de descarga de corriente de descarga	
Corriente alta 4/10 μ s	100 kA _{pico}
Corriente baja 2.400 μ s	700 A _{pico}
Corriente baja 2.000 μ s	900 A _{pico}
Capacidad de energía: Clase de descarga de línea (IEC) [2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)] Cumple con/sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 362 kV.	Clase 3 7,8 kJ/kV (U_n)
Capacidad de cortocircuito/ alivio de presión	65 kA _{sim}
Aislamiento externo	Cumple con/ sobrepasa las normas
Resistencia mecánica: Carga de servicio estática admisible (PSSL)	7.200 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	18.000 Nm
Condiciones de funcionamiento:	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitud de diseño (Mayores altitudes bajo pedido)	máx. 1.000 m
Frecuencia	15 - 62 Hz

Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red U_m kV _{rms}	Tensión nominal U_T kV _{rms}	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		U_C kV _{rms}	MCOV kV _{rms}	1 s kV _{rms}	10 s kV _{rms}	0,5 kA kV _{pico}	1 kA kV _{pico}	2 kA kV _{pico}	5 kA kV _{pico}	10 kA kV _{pico}	20 kA kV _{pico}	40 kA kV _{pico}
170	132	106	106	153	145	254	262	272	295	311	342	382
	144	108	115	167	158	277	286	297	322	339	373	417
	162	108	131	187	178	312	321	334	362	381	419	469
	168	108	131	194	184	323	333	346	376	395	435	486
245	180	144	144	208	198	346	357	371	402	423	466	521
	192	154	154	222	211	369	381	396	429	452	497	555
	198	156	160	229	217	381	393	408	443	466	512	573
	210	156	170	243	231	404	417	433	469	494	543	608
	216	156	175	250	237	415	428	445	483	508	559	625
	219	156	177	254	240	421	434	451	489	515	567	634
	228	156	180	264	250	438	452	470	510	536	590	660
300	216	173	175	250	237	415	428	445	483	508	559	625
	228	182	182	264	250	438	452	470	510	536	590	660
	240	191	191	278	264	461	476	495	536	564	621	694
	258	191	209	299	283	496	512	532	576	607	667	746
	264	191	212	306	290	507	523	544	590	621	683	764
362	258	206	209	299	283	496	512	532	576	607	667	746
	264	211	212	306	290	507	523	544	590	621	683	764
	276	211	221	320	303	530	547	569	617	649	714	798
	288	230	230	334	316	553	571	593	643	677	745	833
420	330	264	267	382	363	634	654	680	737	776	854	954
	336	267	272	389	369	646	666	692	751	790	869	972
	360	267	291	417	396	692	714	742	804	846	931	1046
	372	267	301	431	409	715	737	766	831	875	962	1080
	378	267	306	438	415	726	749	779	844	889	978	1098
	381	267	308	441	419	732	755	785	851	896	985	1106
	390	267	315	452	429	749	773	803	871	917	1013	1132
	396	267	318	459	435	761	785	816	885	931	1029	1150
	420	267	335	487	462	807	833	865	938	987	1091	1219

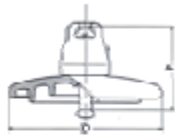



7. Aisladores de apoyo

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / TECHNICAL SPECIFICATIONS							
Vidriado color marrón o gris <i>Brown or grey glazed</i>							
Herrajes: Fundición maleable galvanizada en caliente. <i>Fittings: Cast iron hot dip galvanized.</i>							
Montaje: Hasta 80 °C - cemento Sulfuroso <i>Cementing: Up to 80 °C Sulphur cement</i> Montaje: Hasta 150 °C - cemento Portland <i>Cementing: Up to 150 °C Portland cement</i>							
Ensayos según CFEI 60168v <i>Tests according to IEC 60168</i>							
DESIGNACION / REFERENCE		C4-1050	C6-1050	C8-1050	C10-1050	C8-1425	C8-1550
Línea de fuga mínima según nivel de polución CFEI 60815 (mm.) <i>Minimum creepage distance according to pollution level IEC 60815 (mm.)</i>	I	3920	3920	3920	3920	6720	6720
	II	4900	4900	4900	4900	8400	8400
	III	6125	6125	6125	6125	10500	10500
	IV	7595	7595	7595	7595	13020	13020
DIMENSIONES / DIMENSIONS							
Altura del aislador montado <i>Height of the post insulator once assembled</i>	H mm	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	2300±3,5	3150±4,5	3350±4,5
Diámetro máximo parte aislante <i>Maximum diameter of insulating part</i>	D mm	450	450	450	450	450	450
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d1 mm	*	225	225	225	225	225
Diámetro Círculo de fijación <i>Bolt circle</i>	d mm	200	225	254	275	275	275
DATOS ELECTRICOS / ELECTRICAL VALUES							
Tensión nominal / máxima <i>Nominal voltage / maximum voltage</i>	- kV	245	245	245	245	420	420
Tensión soportada al choque <i>Lightning impulse withstand voltage</i>	- kV	1050	1050	1050	1050	1425	1550
Tensión sop. al choque de maniobra bajo lluvia (kV) <i>Switching impulse withstand voltage wet (kV)</i>	- kV	750	750	750	750	950	1050
Tensión soportada bajo lluvia a 50 Hz <i>Power frequency withstand voltage, wet 50Hz</i>	- kV	460	460	460	460	*	*
DATOS MECANICOS / MECHANICAL VALUES							
Mínima carga de rotura a Flexión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	4000	6000	8000	10000	8000	8000
Mínima carga de rotura a la Torsión <i>Minimum bending failing load</i>	- N	3000	3000	4000	4000	4000	4000

8. Cadena de aisladores

Para realizar el amarre de los tendidos altos a los pórticos, se utilizarán cadenas de aisladores.

Se escogen aisladores del modelo E-160-146 de Saint Gobain, cuyas características son:

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION		Norma IEC					
		Aisladores estándar					
Carga mínima de rotura mecánica		KN		100	120	160	
							
Carga rotura mecánica (KN)		100		120	160		
Modelo catálogo		E-100-127	E-100-146	E120-146	E-160-146	E-160-170	
Clase IEC-305		U100BS	U100BL	U120B	U160BS	U160BL	
Datos Dimensionales	Paso (P) mm.	127	146	146	146	170	
	Diámetro (D) mm.	255	255	255	280	280	
	Línea de fuga mm.	315	315	315	380	380	
	Unión normalizada IEC 120	16A	16A	16A	20	20	
Valores eléctricos	Tensión soportada a frecuencia industrial en seco (KV)	70	70	70	75	75	
	bajo lluvia (KV)	40	40	40	45	45	
	Tensión soportada a impulso de choque en seco (KV)	100	100	100	110	110	
	Tensión de perforación en aceite (KV)	130	130	130	130	130	
Información de embalaje	Peso neto aproximado por unidad (Kg.)	3,75	3,75	3,8	3,4	3,4	
	embalaje n° de un/caja madera	6	6	6	6	6	

A continuación se realiza el cálculo para la obtención del número de aisladores necesarios:

$$n = \frac{GA \cdot E}{LF}$$

Siendo:

- n = número de aisladores.

- GA = Grado de Aislamiento, que viene determinado en la tabla siguiente.
- E = tensión máxima.
- LF = línea de fuga.

ZONAS	GA (cm / kV)
Forestales y agrícolas	1,7 - 2
Industriales y próximas al mar	2,2 - 2,5
Fábricas de productos químicos	2,6 - 3,2
Centrales térmicas	> 3,2

Por lo tanto: $n = \frac{4 \cdot 10 \cdot 420}{380} = 44,21 \text{ aisladores} \approx 44 \text{ aisladores}$

Por lo tanto, se decide instalar una cadena doble de aisladores, con 22 aisladores cada una.

9. Casetas de relés



PREFABRICADO: EDIFICIOS DE RELÉS

DIMENSIONES: 4,00x10,00 m.

PROMOTOR: REE

DETALLES: Cubiertas aligeradas a dos aguas. Acabado en árido lavado. Carpintería metálica

10. Centro de transformación prefabricado (CTR2)



Prologo

Tras décadas de producción de diferentes tipos de envolventes industrializadas y centros de transformación prefabricados, en 2006 Ormazabal desarrolló el CTR, como solución para redes de distribución rural hasta 36 kV.

El CTR es un centro de Centro de Transformación Prefabricado tipo kiosco, de instalación en superficie y maniobra exterior, de reducidas dimensiones, construido de serie, ensayado y suministrado de fabricación como una unidad. Se caracteriza por incorporar un equipo compacto tipo asociado de Media Tensión de Ormazabal.

Los centros de transformación prefabricados CTR se usan en numerosas Soluciones de Redes de Distribución (DNS) para compañía eléctrica (distribución pública) y usuarios finales de energía eléctrica (infraestructuras, Industria, terciario). Sus principales aplicaciones se destinan a entornos rurales, espacios naturales, zonas de captación de aguas, masas forestales con riesgo elevado de incendio y zonas con espacio restringido o reducido.

Es la alternativa a las instalaciones de transformación tanto en apoyo como bajo poste. Además, puede ser utilizado en aplicaciones como centro final de línea. En la actualidad cerca de 5.000 centros de transformación rurales han sido instalados en todo el mundo.

Normalativa

IEC / UNE-EN 62271-202
Centros de transformación prefabricados de alta tensión/baja tensión

EN 50532
Conjuntos Eléctricos compactos (CEADs)

Bajo demanda:
Normas particulares de Compañía Eléctrica,
Reglamentaciones locales vigentes.

Diseño



Datos técnicos

CTR

- » Envolvente monobloque de hormigón (base y paredes) más cubierta amovible.
- » **Conjunto eléctrico compacto:**
 - » Aparatamiento de Media Tensión con aislamiento integral en gas hasta 36 kV. Esquema eléctrico de una posición de línea, conteniendo 3 cartuchos fusibles limitadores de MT en el interior de la cuba. Incluye detector de presencia de tensión, ekorVPS, y alarma de prevención de puesta a tierra, ekorSAS
 - » Transformador de distribución de MT/BT de llenado integral en dieléctrico líquido de hasta 36 ltr de 100, 160 o 250 kVA.
 - » Aparatamiento de BT: Cuadro de Baja Tensión de 3 bases de 400 A.
 - » Interconexiones directas de MT mediante el conjunto de unión ORMALINK y con cable en BT.
 - » Conexión de circuito de puesta a tierra.
 - » Alambreado y servicios auxiliares.
- » **Opcional:**
 - » Unidad electrónica de protección y control ekorRPT-K.

Características técnicas

	CTR-2	CTR-3
Tensión asignada [kV]	24	36
Frecuencia [Hz]	50	50
Transformador		
Potencia [kVA]	100 / 160 / 250*	
Aparatamiento MT		
Intensidad asignada [A]	200	
Intensidad de corta circuitos [kA]	16	
Nivel de aislamiento		
Frecuencia Industrial [kV]	50 / 60	70 / 80
Impulso tipo rayo [kV] _{10/350}	125 / 145	170 / 195
Cuadro de Baja Tensión		
Tensión asignada [V]	400	
Intensidad asignada [A]	630	
Intensidad asignada [A]	400	
Nº salidas	3	

Dimensiones exteriores y pesos

	CTR-2	CTR-3
Longitud [mm]	1700	1700
Anchura [mm]	1600	1600
Altura [mm]	1975	2010
Altura vista [mm]	1500	1500
Peso* [kg]	4150	4150

*] Con transformador de 250 kVA. Para otras configuraciones y/o valores consultar a Ormazabal

Familia

CTR-2 (24 kV)



CTR-3 (36 kV)



Seguridad

- » Elevada seguridad para las personas frente a contactos directos accidentales, tensiones de paso y de contacto
- » Posibilidad de instalación alejada del poste de derivación aérea-subterránea
- » Disminución de disparos en MT debido a sobretensiones de tipo atmosférico
- » Elementos de protección contra fuegos: lecho de guijarros sobre el foso

Fiabilidad

- » Montaje íntegro en fábrica (transformador, y tierras interiores en la envolvente).
- » Anulación de problemas asociados a la nidificación de aves
- » Menor alteración de sus características por radiación solar, polución o agentes atmosféricos, frente a las soluciones sobre poste
- » Selectividad entre protecciones de MT y BT, y coordinación con protecciones de AT

Eficiencia

- » Ventilación por circulación natural de aire.
- » Sustitución de forma rápida y sencilla
- » Entrada/salida de cables de MT y BT a través de orificios semiperforados en la base del edificio

Sostenibilidad

- » Seccionamiento y maniobra en MT con accesibilidad a nivel del suelo
- » Protección de la zafrauna
- » Reducidas dimensiones
- » Bajo riesgo de vertidos de los aislantes a la vía pública: foso de recogida dieléctrico líquido, con revestimiento resistente y estanco

Innovación continua

- » Entrada auxiliar de acomoda de Baja Tensión para cables provenientes de un grupo electrógeno, situada en el lateral de la envolvente
- » Gran capacidad de integración estética en el entorno
- » Soluciones prefabricadas disponibles según EN 62271-202

11. Impacto ambiental

En este apartado se identificarán y valorarán los posibles impactos que pueda tener el proyecto en sus fases de construcción y funcionamiento, sobre el medio ambiente y el entorno. Además, se determinarán alternativas o soluciones para minimizar dichos impactos.

Al tratarse de una subestación establecida en las inmediaciones de una central térmica, los impactos que pueda producir la subestación sobre el entorno ya se habrán tenido en cuenta a la hora de implantar la central. No obstante, se estudiará por separado el impacto de la subestación.

11.1 Impacto sobre la geología/geomorfología

- **Fase de construcción.**

Se producirán alteraciones en lo que se refiere a cambios en el relieve, debidos a los movimientos de tierras y explanación, previos a la construcción.

La parcela no cuenta con mucho desnivel, por lo que la nivelación del terreno no provocará grandes alteraciones.

- **Fase de funcionamiento.**

Durante la fase de funcionamiento no se prevee ningún cambio de relieve.

11.2 Impacto sobre la hidrología

- **Fase de construcción.**

La parcela donde se implanta la subestación se encuentra en las proximidades del Embalse de Caspe II, pero no interrumpe ningún cauce natural.

Durante la fase de construcción se prevendrá la contaminación de las aguas subterráneas, debida a vertidos de sustancias peligrosas que pudieran alcanzar el nivel freático. Para ello se determinarán prácticas adecuadas para el tratamiento de estas sustancias.

- **Fase de funcionamiento.**

En la fase de funcionamiento, un posible impacto sería la contaminación de las aguas subterráneas por fugas accidentales de aceite de los transformadores. Para evitar este tipo de situaciones, se establecerán las medidas oportunas de llenado de aceite de los equipos, que se exponen en el Pliego de Condiciones Técnicas y Particulares.

11.3 Impacto sobre el aire

- **Fase de construcción.**

Durante la fase de construcción se producirá una alteración de la calidad del aire por la emisión de partículas de polvo desde la zona de obras y gases de combustión de la maquinaria.

La magnitud de repercusión de las emisiones emitidas en la calidad del aire de la población más cercana, dependerá del volumen de las mismas, del viento y de las lluvias. No

obstante, el impacto será reducido y equiparable al provocado por el tránsito de vehículos en dicha localidad, ya que la Subestación de Caspe se encuentra a 8 km de la población más cercana (Zaragoceta).

La operación de la maquinaria en esta fase, supondrá un aumento de los niveles de ruido en los alrededores, lo cual no afectará a la población de Zaragoceta por su lejanía respecto de las obras. En todo caso, la maquinaria que se utilice cumplirá los requisitos que se establecen en el Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre, así como en el Real Decreto 524/2006, de 28 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 212/2002.

- **Fase de funcionamiento.**

En esta fase, lo único que puede afectar a la calidad del aire sería la fuga de SF₆, gas que se utiliza como dieléctrico en las maniobras de corte de los interruptores y que no presenta riesgos para la salud, pero es causante del efecto invernadero. Para evitar posibles pérdidas, se establecerán medidas oportunas de mantenimiento y manipulación de dicho gas que quedan recogidas en el Pliego de Condiciones Técnicas y Particulares.

En cuanto al nivel sonoro, sufrirá un aumento como consecuencia del funcionamiento, pero no supondrá un gran impacto, como se ha comentado anteriormente, por tartarse de una zona rural alejada de núcleos urbanos.

11.4 Impacto sobre la vegetación

- **Fase de construcción.**

Se deberá eliminar la vegetación de la parcela al realizar los movimientos de tierras. Se trata de una zona de cultivo, por lo que se podrá eliminar la vegetación sin llevar a cabo medidas compensatorias.

- **Fase de funcionamiento.**

No hay afección sobre la vegetación en esta fase.

11.5 Impacto sobre la fauna

- **Fase de construcción.**

El impacto sobre la fauna se deberá sobre todo a los cambios que se producirán en el medio durante la implantación de la subestación: los movimientos de tierras, la eliminación de la vegetación, los ruidos y movimiento de la maquinaria.

Dado que es una zona dedicada a la agricultura, donde no se encuentra una gran diversidad faunística, este impacto no se considera significativo.

- **Fase de funcionamiento.**

Durante el funcionamiento de la subestación, no se produce ningún impacto sobre la fauna.

12. Aportación económica



Valores unitarios de referencia de inversión para líneas subterráneas

Líneas subterráneas de longitud mayor o igual a 2,2 km	Término variable €/km	Término fijo €
Simple circuito de Cu de 1,100 mm ² de sección	1.713.810	-
Doble circuito de Cu de 1,100 mm ² de sección	3.332.377	-
Simple circuito de Cu de 2.000 mm ² de sección	2.271.313	-
Doble circuito de Cu de 2.000 mm ² de sección	4.218.198	-
Simple circuito de Cu de 2.500 mm ² de sección	2.594.117	-
Doble circuito de Cu de 2.500 mm ² de sección	5.110.149	-
Simple circuito de Al de 630 mm ² de sección	889.446	-
Doble circuito de Al de 630 mm ² de sección	1.729.461	-
Simple circuito de Al de 1,200 mm ² de sección	1.041.301	-
Doble circuito de Al de 1,200 mm ² de sección	2.055.048	-
Simple circuito de Al de 2,000 mm ² de sección	1.496.871	-
Doble circuito de Al de 2,000 mm ² de sección	2.910.557	-

Líneas subterráneas de longitud menor a 2,2 km	Término variable €/km	Término fijo €
Simple circuito de Cu de 1,100 mm ² de sección	1.236.015	1.051.148
Doble circuito de Cu de 1,100 mm ² de sección	2.517.002	1.793.825
Simple circuito de Cu de 2.000 mm ² de sección	1.905.324	805.175
Doble circuito de Cu de 2.000 mm ² de sección	3.593.624	1.374.063
Simple circuito de Cu de 2.500 mm ² de sección	1.983.895	1.342.487
Doble circuito de Cu de 2.500 mm ² de sección	4.066.650	2.295.697
Simple circuito de Al de 630 mm ² de sección	641.476	545.532
Doble circuito de Al de 630 mm ² de sección	1.306.291	930.973
Simple circuito de Al de 1,200 mm ² de sección	750.996	638.671
Doble circuito de Al de 1,200 mm ² de sección	1.559.631	1.089.919
Simple circuito de Al de 2,000 mm ² de sección	1.079.557	918.091
Doble circuito de Al de 2,000 mm ² de sección	2.198.394	1.566.759

Valores unitarios de referencia de inversión para posiciones

Posiciones convencionales	Término €/posición
Convencional 400 kV, 50 kA, todas las configuraciones ..	1.043.908
Convencional 220 kV, 40 kA, interruptor y medio	650.768
Convencional 220 kV, 40 kA, resto de configuraciones	692.402

Posiciones blindadas	Término €/posición
Blindada 400 kV, 63 kA, todas las configuraciones	2.512.566
Blindada 400 kV, 63 kA, con fluoductos	3.140.706
Blindada 220 kV, 40 kA, en edificio, todas las configuraciones	578.750
Blindada 220 kV, 40 kA, en edificio, todas las configuraciones, con fluoductos	641.946
Blindada 220 kV, 50 kA, en edificio, todas las configuraciones	1.023.124
Blindada 220 kV, 50 kA, en edificio, todas las configuraciones, con fluoductos	1.134.842
Blindada 220 kV, 63 kA, en edificio, todas las configuraciones	1.556.815
Blindada 220 kV, 63 kA, en edificio, todas las configuraciones, con fluoductos	1.944.769
Blindada 220 kV, 50 kA, en Intemperie, todas las configuraciones	1.217.594

Posiciones blindadas	Término €/posición
Blindada 220 kV, 50 kA, en Intemperie, todas las configuraciones, con fluoductos...	1.521.993
Blindada 220 kV, 63 kA, en Intemperie, todas las configuraciones	1.400.234
Blindada 220 kV, 63 kA, en Intemperie, todas las configuraciones, con fluoductos...	1.750.292

Posiciones móviles	Término €/posición
Móvil 400 kV, todas las configuraciones	2.512.565
Móvil 220 kV, todas las configuraciones.....	1.023.124

Posiciones de reserva convencionales	Porcentaje sobre unitario correspondiente
Posición de reserva sin equipar (Convencional) 400 kV	41,40%
Posición de reserva sin equipar (Convencional) 220 kV	33,50%
Equipamiento de posición de reserva (Convencional) 400 kV	58,60%
Equipamiento de posición de reserva (Convencional) 220 kV.....	66,50%

Posiciones de reserva blindadas	Porcentaje sobre unitario correspondiente
Posición de reserva sin equipar (Blindada) 400 kV	21,60%
Posición de reserva sin equipar (Blindada) 220 kV	48,50%
Equipamiento de posición de reserva (Blindada) 400 kV	78,40%
Equipamiento de posición de reserva (Blindada) 220 kV.....	51,50%

Valores unitarios de referencia de inversión para máquinas

Máquinas de potencia	Término variable €/MVA
Transformadores monofásicos (400/220 kV)	9.835
Transformadores trifásicos (400/220/132 kV)	9.796

Máquinas de compensación de reactiva	Término variable €/MVar
Reactancias (400 ó 220 kV).....	15.499
Condensadores (400 ó 220 kV)	19.613



Líneas con circuitos múltiples	Término variable en €/km y circuito
Líneas aéreas 400 kV.....	3.417
Líneas aéreas 220 kV.....	2.316
Líneas subterráneas 220 kV.....	1.679

Valores unitarios de referencia de operación y mantenimiento para posiciones

Posiciones convencionales	Término variable €/posición
Convencional 400 kV.....	63.119
Convencional 220 kV.....	51.963

Posiciones blindadas	Término variable €/posición
Blindada 400 kV.....	40.556
Blindada 220 kV.....	32.757

Posiciones móviles	Término variable €/posición
Móvil 400 kV.....	40.556
Móvil 220 kV.....	32.757

Valores unitarios de referencia operación y mantenimiento para máquinas

Máquinas de potencia	Término variable €/MVA
Transformadores €/MVA.....	187

Máquinas de compensación de reactiva	Término variable €/MVar
Reactancias €/MVar.....	11
Condensadores €/MVar.....	8

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Documento nº 2, PLANOS

DOCUMENTO Nº 2, PLANOS
ÍNDICE GENERAL

LISTADO DE PLANOS.....	111
PLANOS	113

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

LISTADO DE PLANOS

1. Plano topográfico.
2. Plano de implantación.
3. Plano unifilar simplificado.
4. Plano de planta.
5. Plano de perfil – Calles 1 y 2.
6. Plano de perfil – Calles 3 y 4.
7. Plano de planta del edificio de control.
8. Plano de disposición de equipos en planta de la caseta de relés 1.
9. Plano de disposición de equipos en planta de la caseta de relés 2.
10. Plano de disposición de equipos en planta de la caseta de relés 3.
11. Plano de red de tierras inferiores.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

PLANOS

PLANOS ÍNDICE

1. Plano topográfico.....	115
2. Plano de implantación.....	116
3. Unifilar simplificado	117
4. Plano de planta	118
5. Plano de perfil – Calles 1 y 2.....	119
6. Plano de perfil – Calles 3 y 4.....	120
7. Plano de planta del edificio de control.....	121
8. Caseta de relés 1	122
9. Caseta de relés 2	123
10. Caseta de relés 3	124
11. Plano de red de tierras inferiores.....	125

8 7 6 5 4 3 2 1

D

D

LÍMITE PARCELA 10 ha

C

C

B

B

A

A



REVISIONES				PLANO 1	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO		DESCRIPCIÓN	FORMATO
1	DISEÑO	24/05/2017	M.C.B	REE		
2	DISEÑO	02/06/2017	MSM			
						FORMATO A3

8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

D

D

C

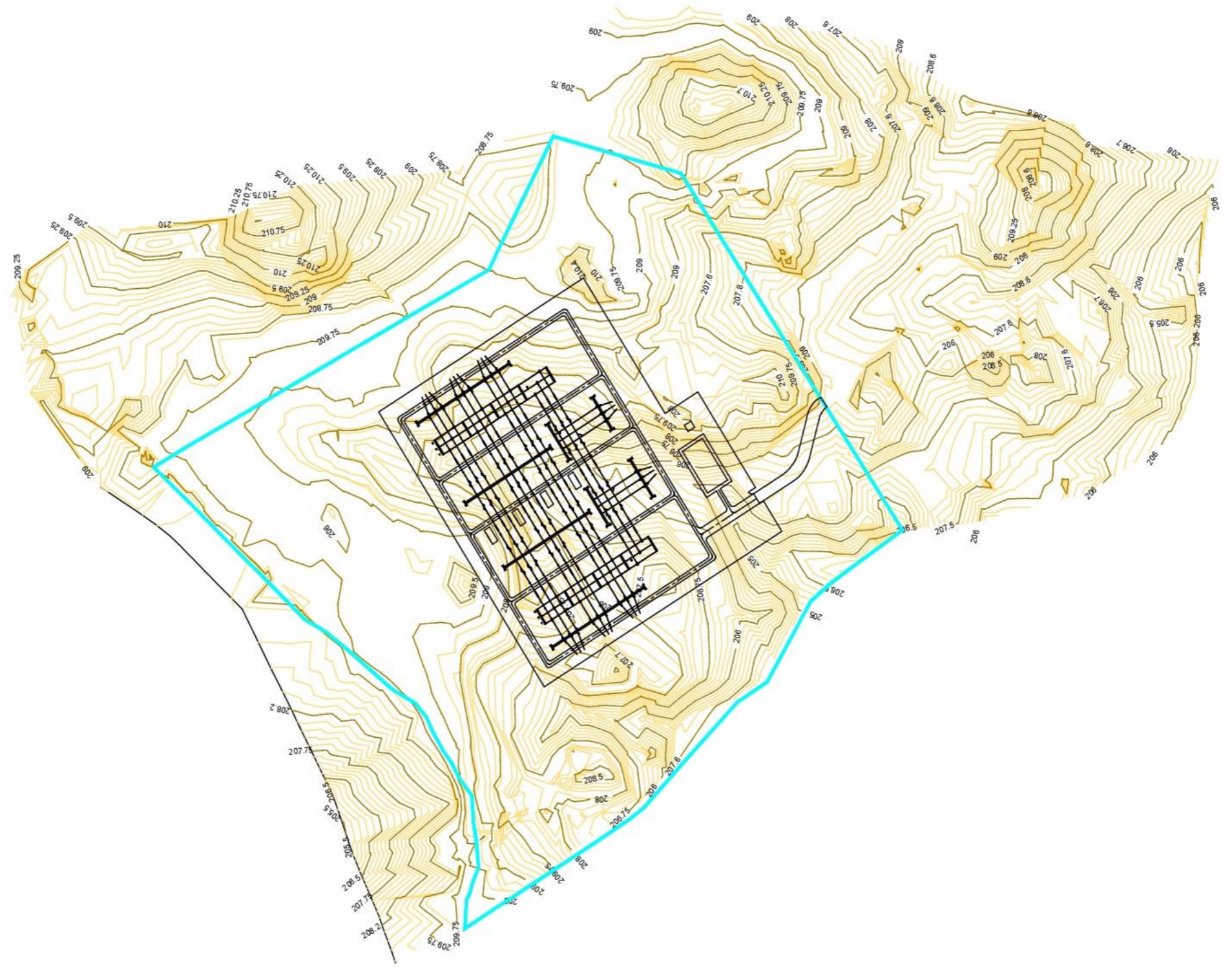
C

B

B

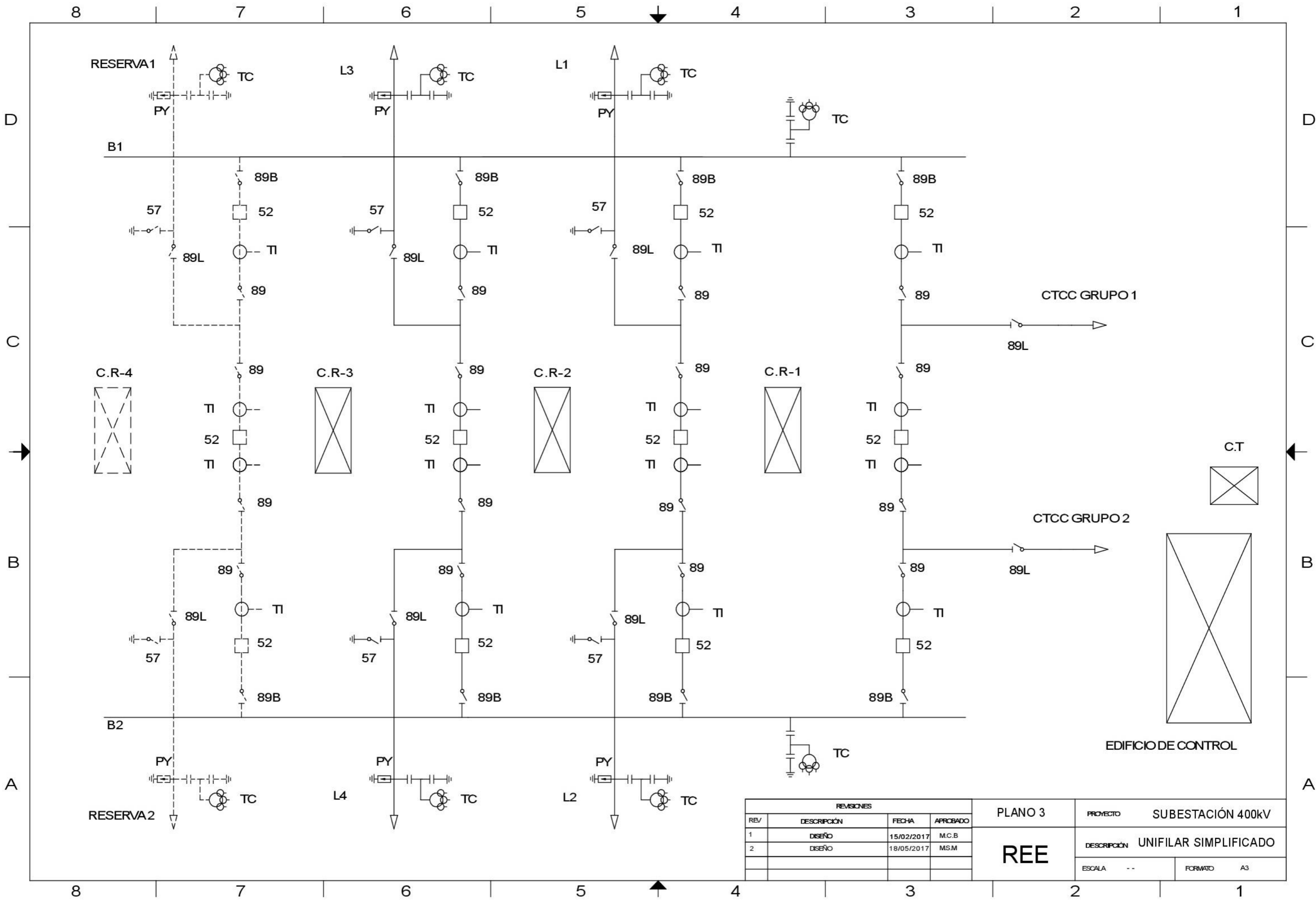
A

A



REVISIONES				PLANO 2	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO		REE	DESCRIPCIÓN
1	DISEÑO	24/05/2017	M.C.B	REE		Plano de implantación
2	DISEÑO	02/06/2017	M.SM		FORMATO A3	

8 7 6 5 4 3 2 1



REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	15/02/2017	M.C.B
2	DISEÑO	18/05/2017	MSM

REE	PLANO 3	PROYECTO	SUBESTACIÓN 400kV
		DESCRIPCIÓN	UNIFILAR SIMPLIFICADO
	ESCALA	--	FORMATO

EDIFICIO DE CONTROL

CTCC GRUPO 1

CTCC GRUPO 2

C.T

RESERVA1

L3

L1

B1

C.R-4

C.R-3

C.R-2

C.R-1

B2

RESERVA2

L4

L2

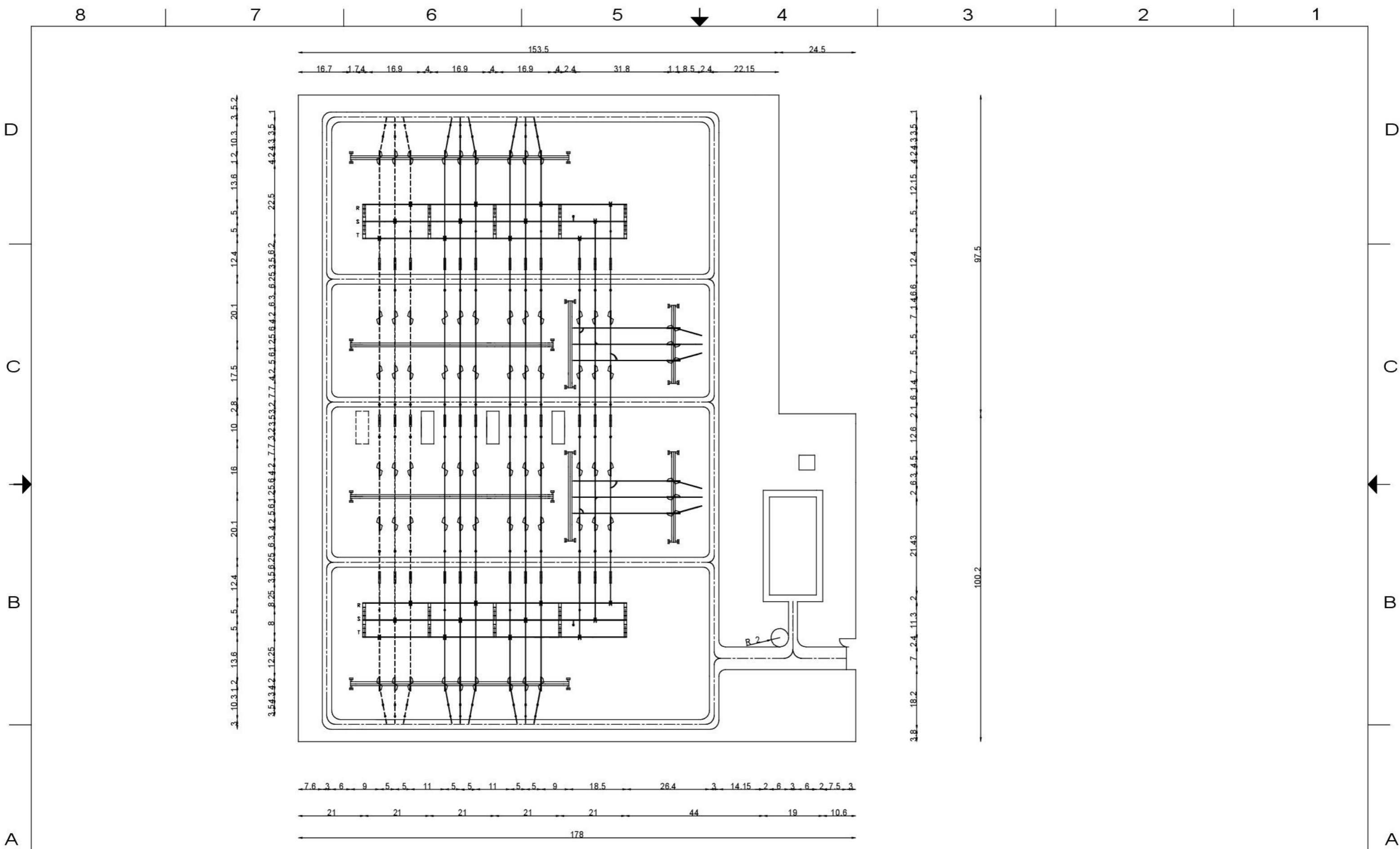
8 7 6 5 4 3 2 1

D

C

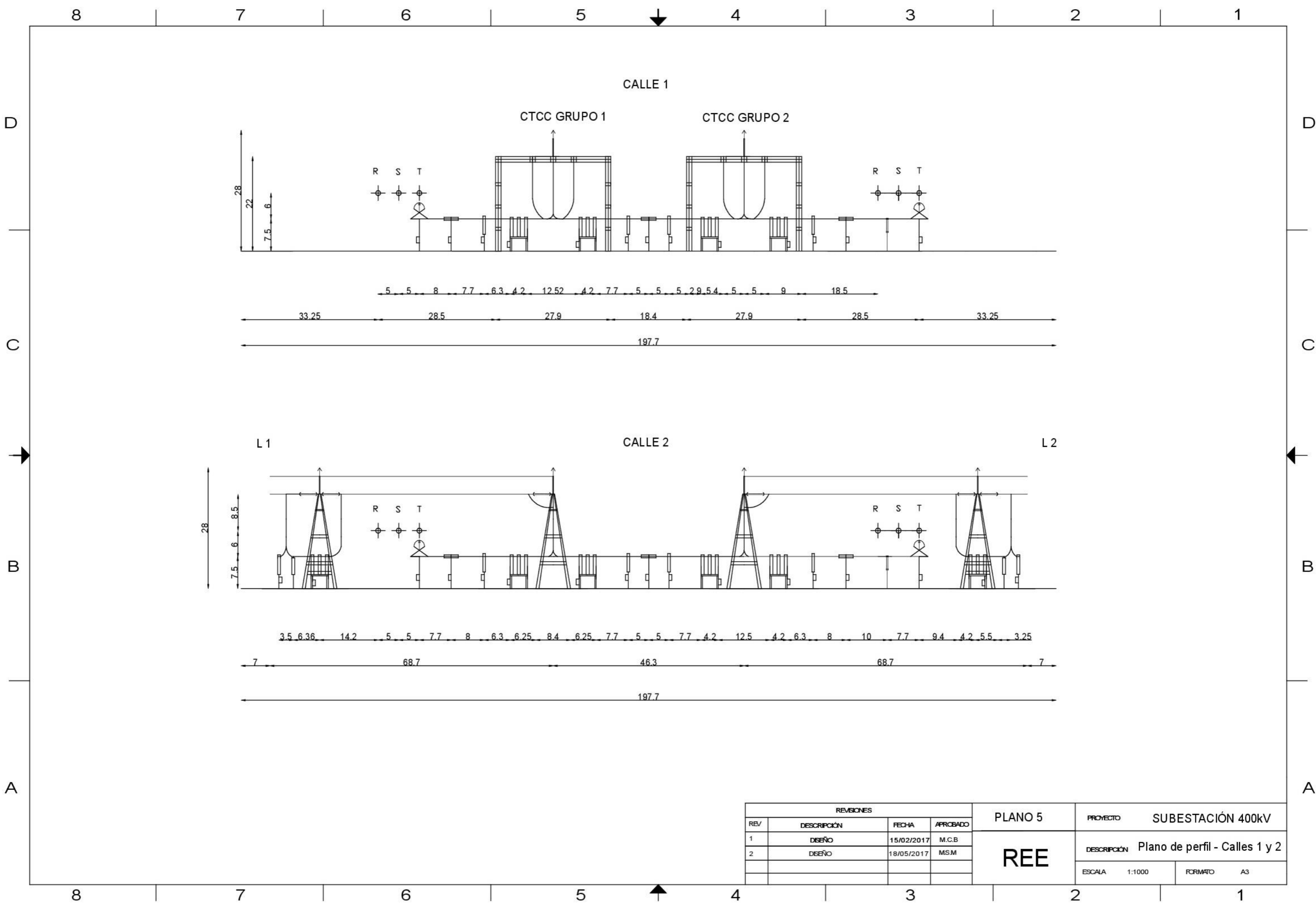
B

A



REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	15/02/2017	M.C.B
2	DISEÑO	18/05/2017	MSM

PLANO 4	PROYECTO	SUBESTACIÓN 400kV	
REE	DESCRIPCIÓN	PLANTA	
	ESCALA	1:1400	FORMATO
			A3



REVISIONES				PLANO 5	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
REV/	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO		REE	DESCRIPCIÓN
1	DISEÑO	15/02/2017	M.C.B	REE		Plano de perfil - Calles 1 y 2
2	DISEÑO	18/05/2017	MSM		ESCALA 1:1000	FORMATO A3

8 7 6 5 4 3 2 1

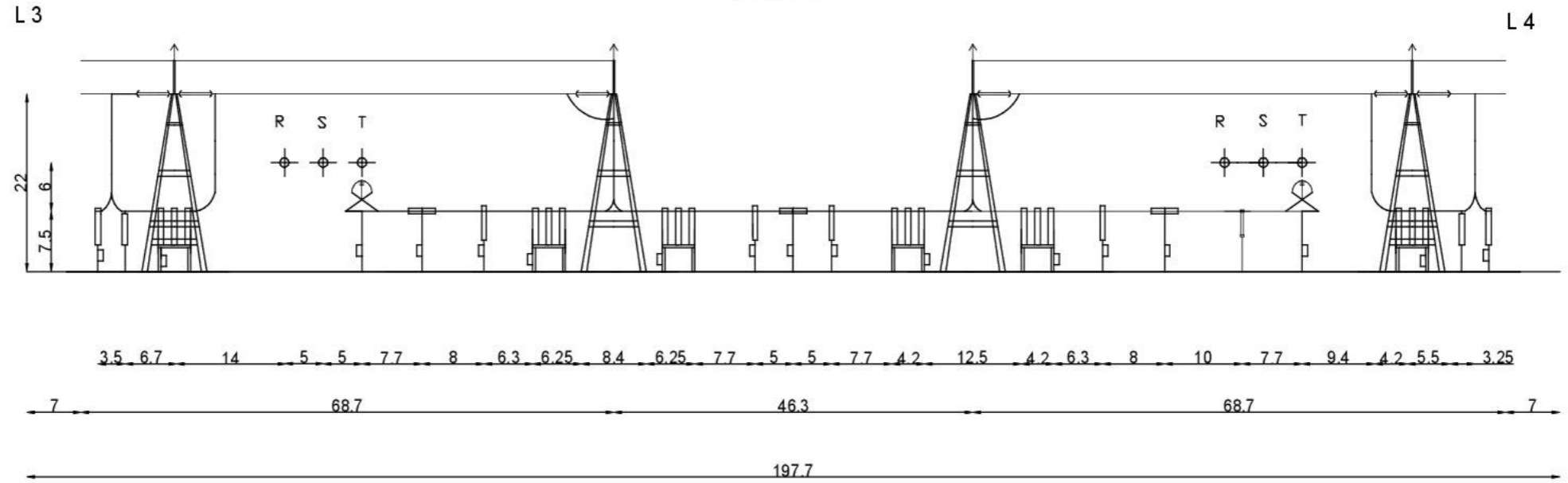
D D

C C

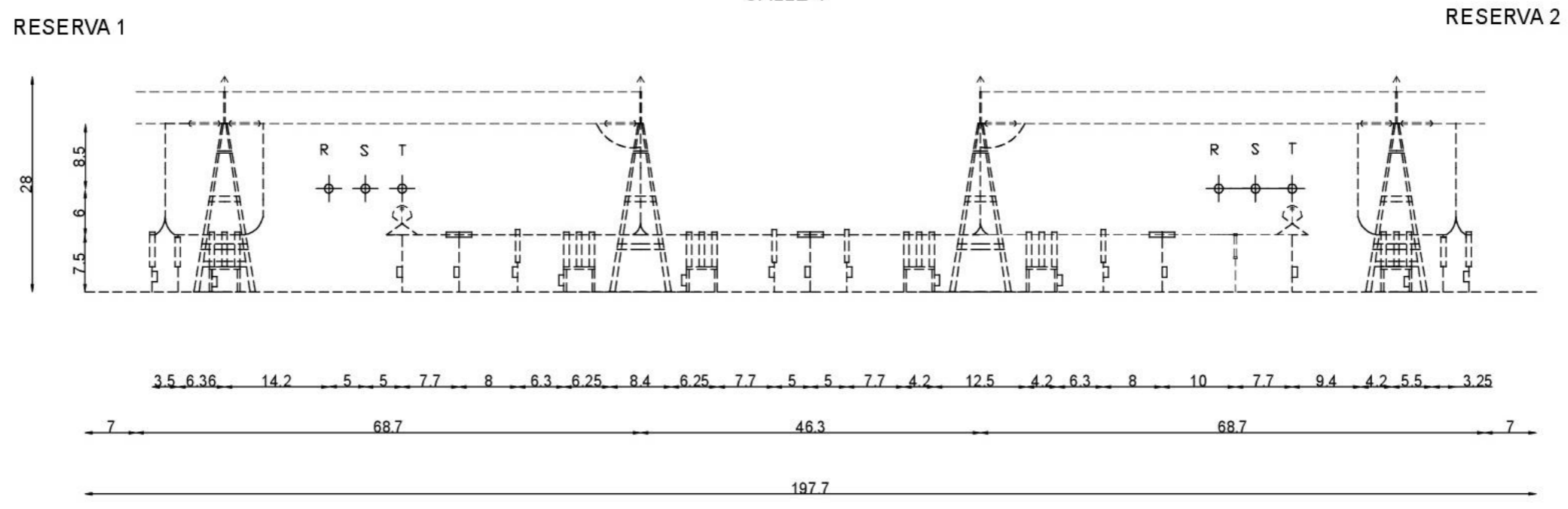
B B

A A

CALLE 3



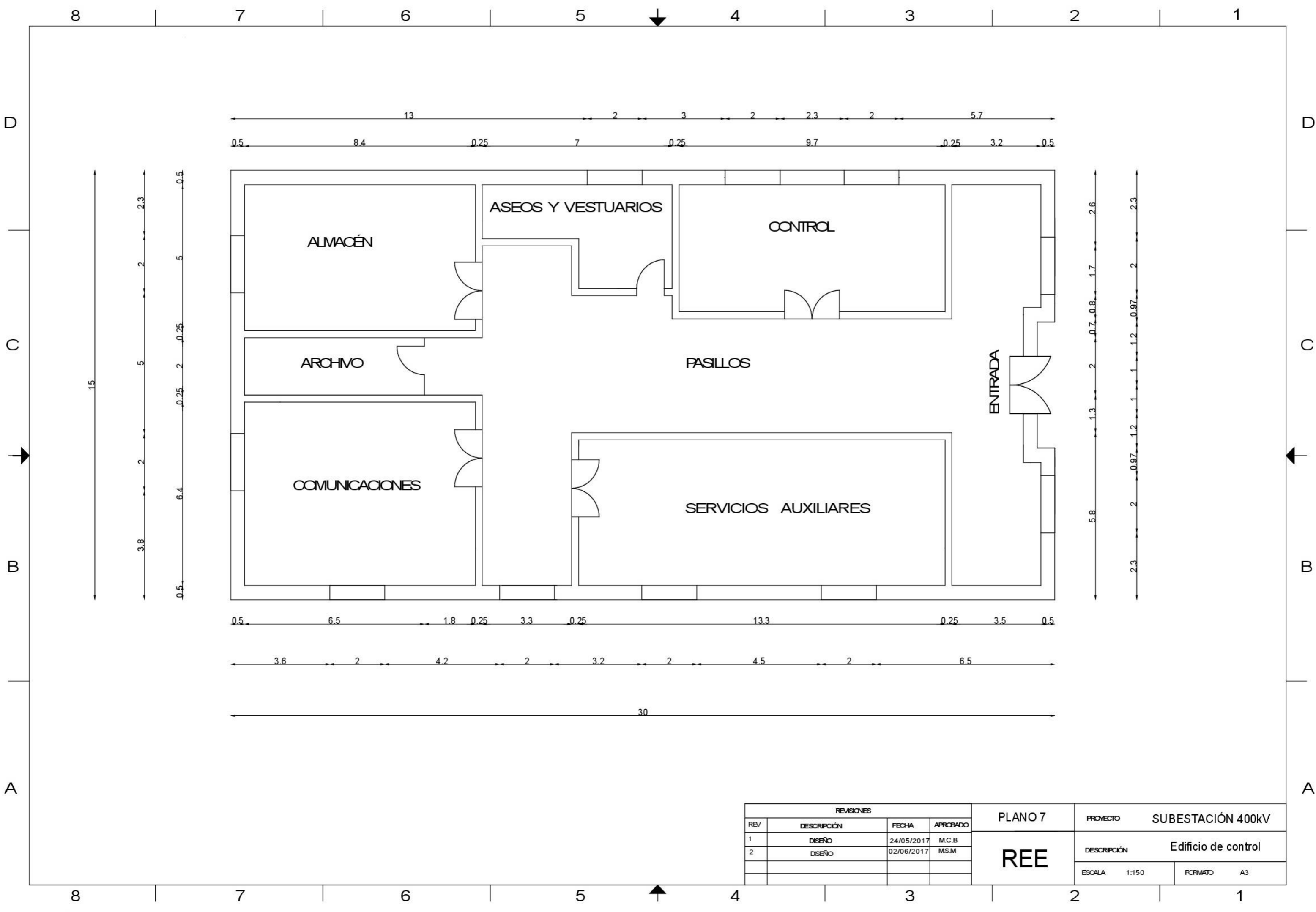
CALLE 4



REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	15/02/2017	M.C.B
2	DISEÑO	18/05/2017	MSM

PLANO 6 REE	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
	DESCRIPCIÓN Plano de perfil - Calles 3 y 4	
	ESCALA 1:1000	FORMATO A3

8 7 6 5 4 3 2 1

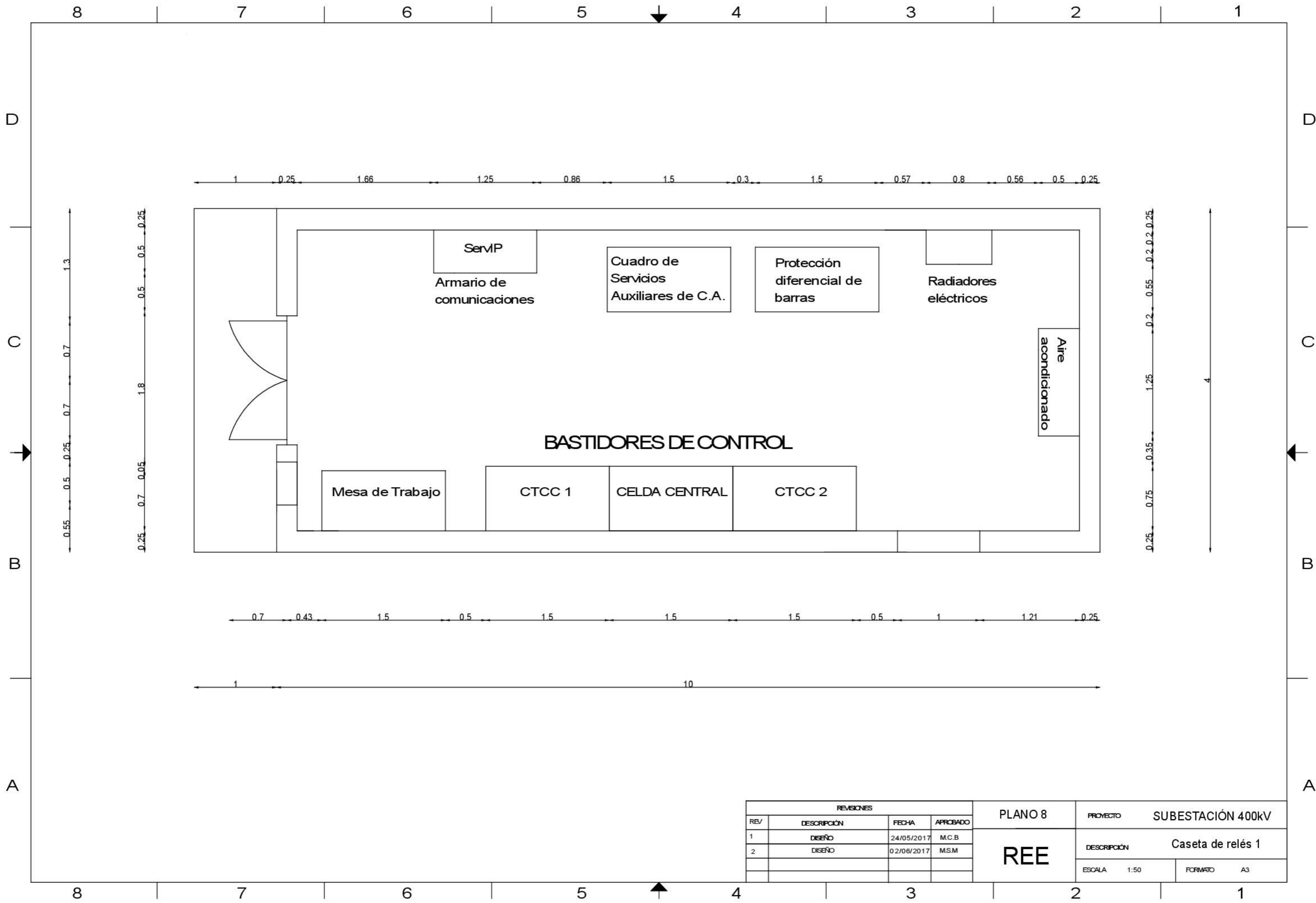


REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	24/05/2017	M.C.B
2	DISEÑO	02/06/2017	MSM

PLANO 7	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
	DESCRIPCIÓN Edificio de control	
	ESCALA 1:150	FORMATO A3

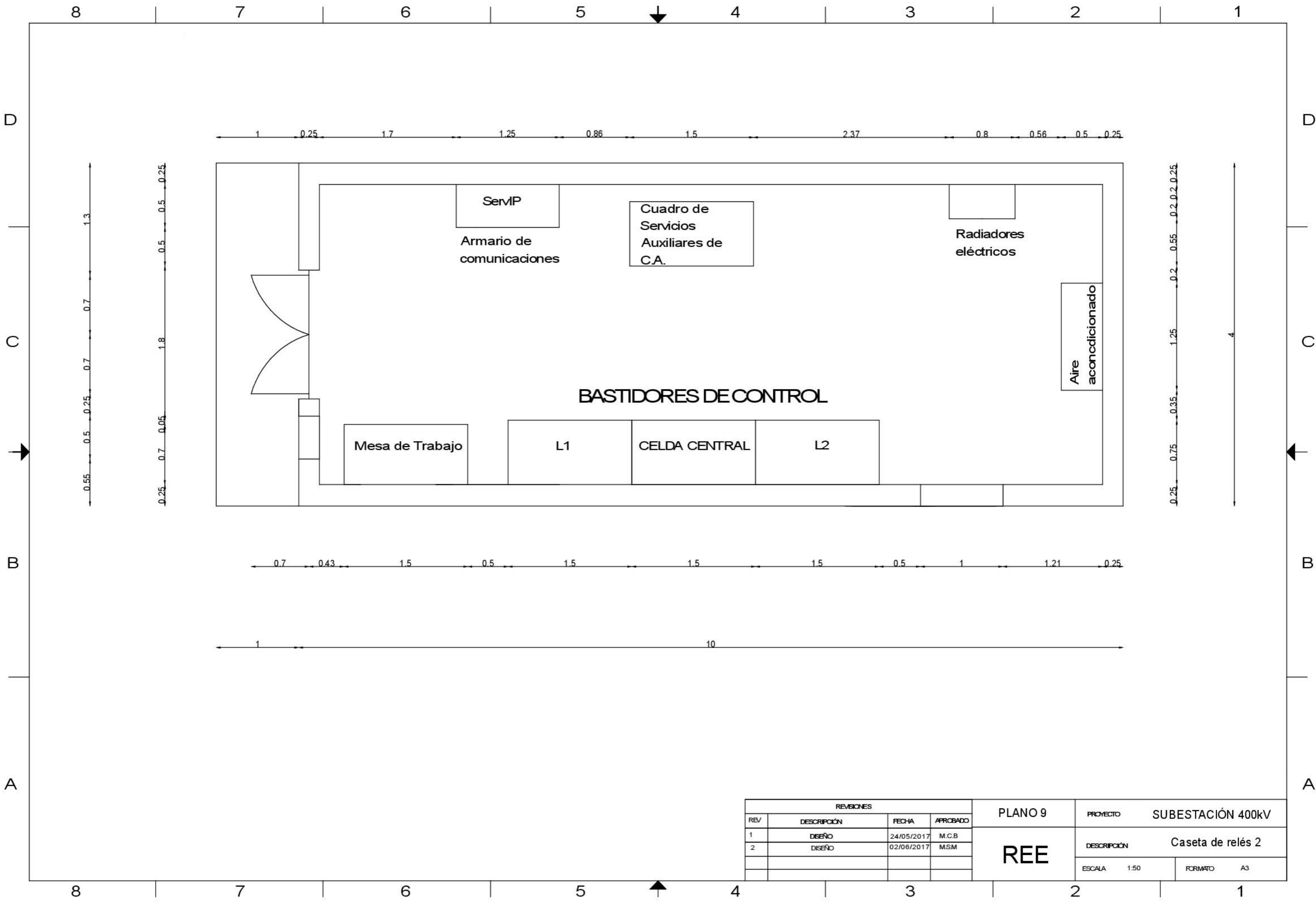
REE

8 7 6 5 4 3 2 1



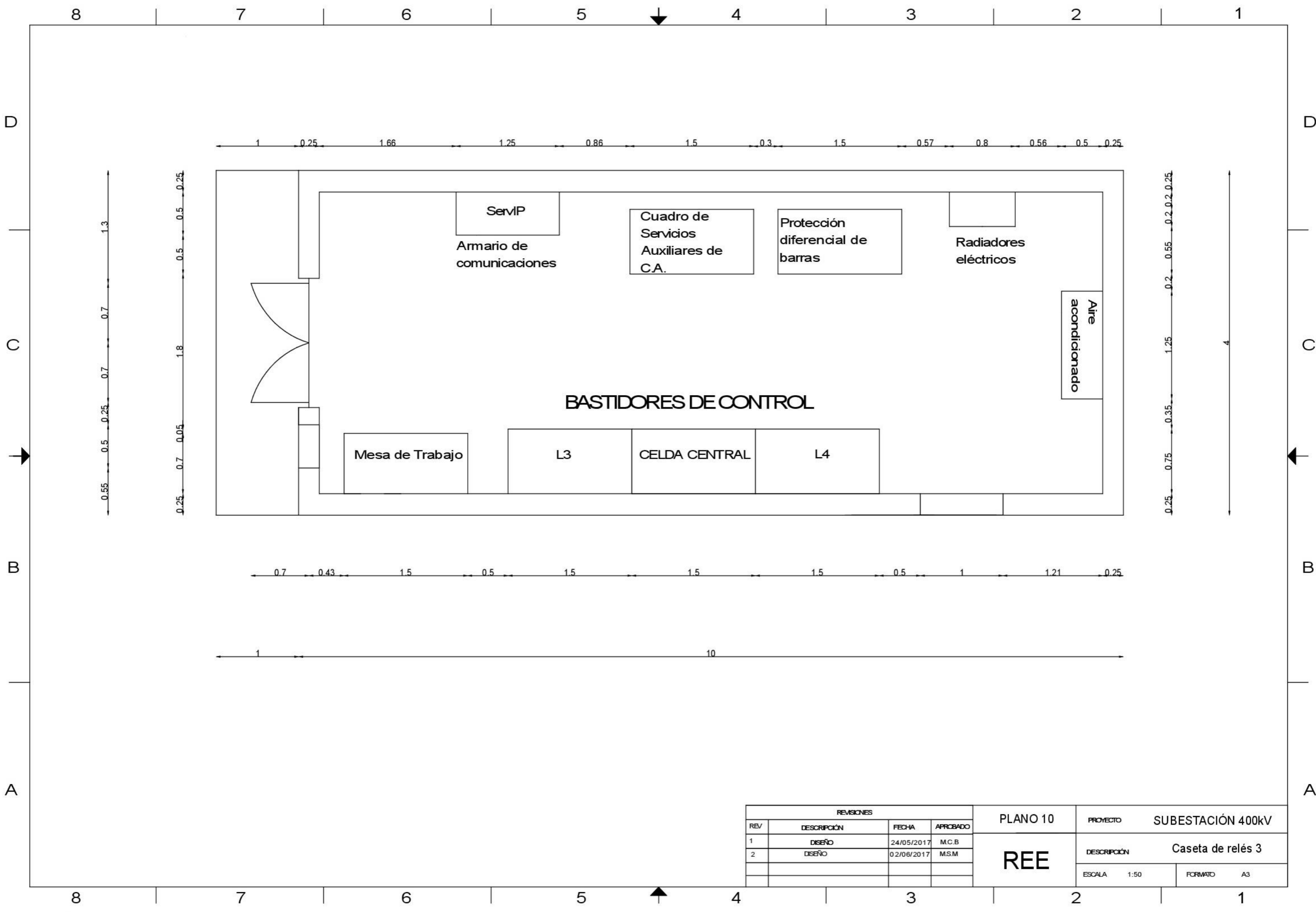
REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	24/05/2017	M.C.B
2	DISEÑO	02/06/2017	M.S.M

PLANO 8 REE	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
	DESCRIPCIÓN Caseta de relés 1	
	ESCALA 1:50	FORMATO A3



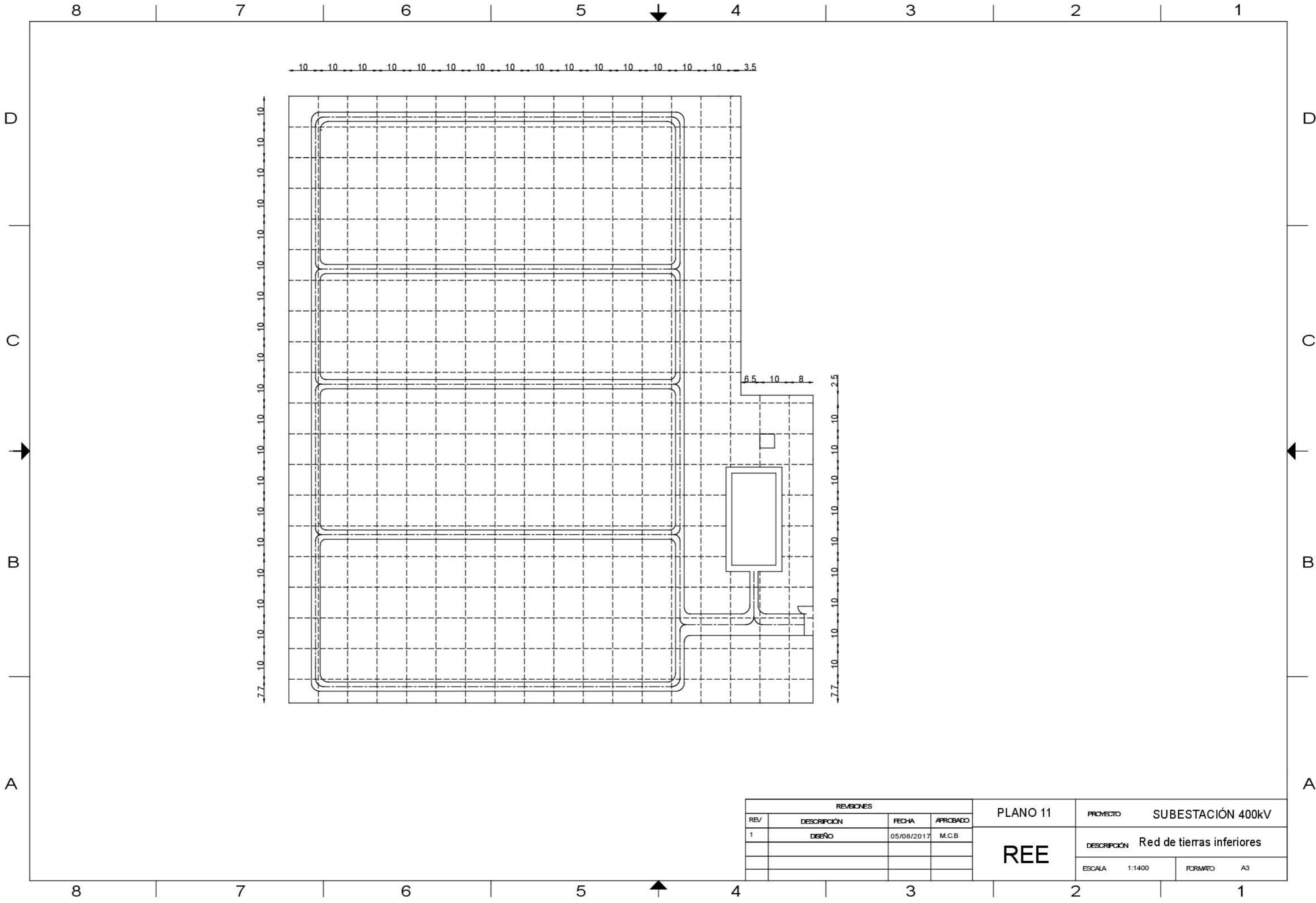
REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	24/05/2017	M.C.B
2	DISEÑO	02/06/2017	M.SM

PLANO 9	PROYECTO	SUBESTACIÓN 400kV	
REE	DESCRIPCIÓN	Caseta de relés 2	
	ESCALA	1:50	FORMATO
			A3



REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	24/05/2017	M.C.B
2	DISEÑO	02/06/2017	M.S.M

PLANO 10 REE	PROYECTO SUBESTACIÓN 400kV	
	DESCRIPCIÓN Caseta de relés 3	
	ESCALA 1:50	FORMATO A3



REVISIONES			
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	APROBADO
1	DISEÑO	05/06/2017	M.C.B

PLANO 11	PROYECTO	SUBESTACIÓN 400kV	
REE	DESCRIPCIÓN	Red de tierras inferiores	
	ESCALA	1:1400	FORMATO A3

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Documento nº 3, PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

DOCUMENTO Nº 3, PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS
ÍNDICE GENERAL

GENERALES Y ECONÓMICAS..... 130
TÉCNICAS Y PARTICULARES 145

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

GENERALES Y ECONÓMICAS

GENERALES Y ECONÓMICAS

ÍNDICE

1. Objeto.....	132
2. Normativa aplicable	133
2.1 Equipamiento y montaje	133
2.2 Obra civil.....	134
2.2.1 Estructuras.....	134
2.2.2 Instalaciones	135
2.2.3 Protección.....	136
2.2.4 Varios.....	136
3. Gestión de calidad.....	137
4. Gestión medioambiental.....	137
5. Seguridad en el trabajo	137
6. Verificación y validación.....	137
7. Estudio de seguridad y salud laboral.....	138
7.1 Objeto del estudio.....	138
7.2 Características de la obra	138
7.2.1 Descripción y situación.....	138
7.2.2 Interferencias.....	138
7.2.3 Unidades constructivas que componen la obra	138
7.3 Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.....	139
7.3.1 Condiciones constructivas.....	139
7.3.2 Orden, limpieza y mantenimiento	140
7.3.3 Condiciones ambientales.....	140
7.3.4 Iluminación	140
7.3.5 Servicios higiénicos y locales de descanso	140
7.3.6 Material y locales de primeros auxilios.....	140
7.4 Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo...140	
7.5 Riesgos.....	141
7.5.1 Riesgos profesionales.....	141
7.5.2 Riesgo de daño a terceros	141
7.6 Prevención de los riesgos profesionales.....	142
7.6.1 Equipos de protección colectiva	142
7.6.2 Equipos de protección individual.....	142

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

7.6.3	Formación en seguridad y salud	142
7.6.4	Personal de seguridad	142
7.6.5	Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra	143
7.6.6	Primeros auxilios	143
7.6.7	Prevención de incendios.....	143
7.6.8	Prevención de daños a terceros.....	143

1. Objeto

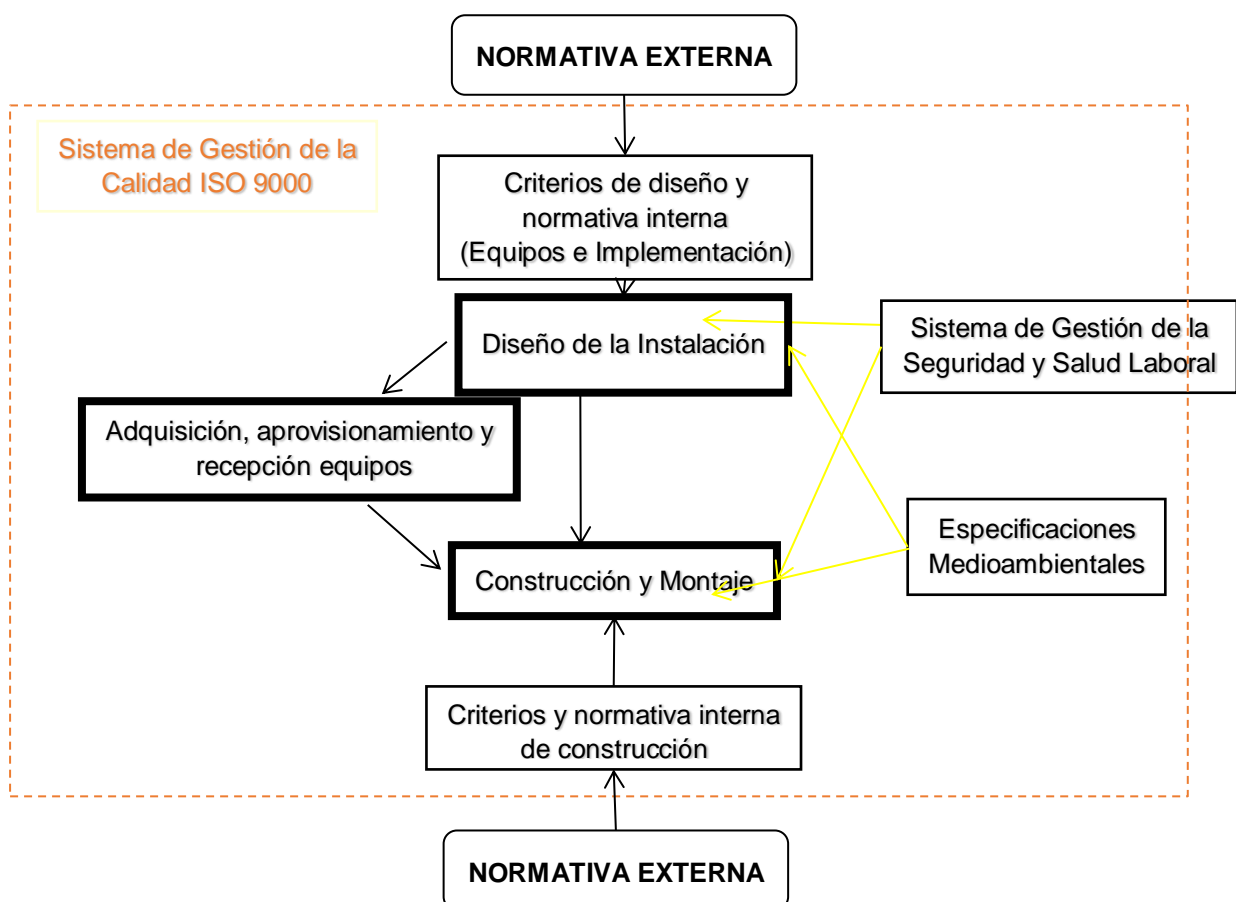
El objeto del presente Pliego de Condiciones es aportar la información necesaria para definir los materiales y equipos y su correcto montaje para lo que se han considerado los siguientes aspectos.

1º Normativa: Los equipos y su montaje será conforme a la normativa legal y de referencia.

2º Gestión de Calidad: El plan de calidad recoge las características técnicas de los equipos y su montaje. Además, la certificación ISO-9000 asegura la calidad de la instalación construida.

3º Gestión medioambiental: Con el objeto de minimizar los impactos puedan acarrear la construcción y funcionamiento de la instalación.

4º Seguridad Laboral: Para asegurar que tanto el montaje como la explotación de los equipos de esta instalación cumplen con las medidas de seguridad requeridas.



2. Normativa aplicable

Se aplicarán por el orden en que se relacionan, cuando no existan contradicciones legales, las siguientes normas:

- Normativa de RED ELÉCTRICA (DYES; Procedimientos Técnicos; y Procedimientos de Dirección).
- Normativa Europea EN.
- Normativa CENELEC.
- Normativa CEI.
- Normativa UNE.
- Otras normas y recomendaciones (IEEE, MF, ACI, CIGRE, ANSI, AISC, etc).

2.1 Equipamiento y montaje

El presente Proyecto ha sido redactado basándose en los anteriores Reglamentos y Normas, y más concretamente, en los siguientes, que serán de obligado cumplimiento:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.

En especial las ITC del "Reglamento sobre Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación":

- .- ITC-MIE-RAT-09: "PROTECCIONES".
- .- ITC-MIE-RAT-12: "AISLAMIENTO".
- .- ITC-MIE-RAT-13: "INSTALACION DE PUESTA A TIERRA".
- .- ITC-MIE-RAT-15: "INSTALACIONES ELECTRICAS DE EXTERIOR".
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. "REBT". DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Ciencia y Tecnología B.O.E.: 18-SEPT-2002, e Instrucciones Técnicas Complementarias y sus modificaciones posteriores.
- Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.
- Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico,
- R.D. 1215/97 de 18 de Julio sobre EQUIPOS DE TRABAJO

- R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.
- R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación manual de cargas,
- R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ley 32/2006 de 18 de Octubre Reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.
- Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.
- Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. REAL DECRETO 1942/1993, de 5-NOV, del Ministerio de Ind. y Energía B.O.E.: 14-DIC-93, y sus correcciones posteriores. Normas de procedimiento y desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios y se revisa el I y los apéndices del mismo ORDEN, de 16-ABR, del Ministerio de Industria y Energía B.O.E.: 28-ABR-98
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. REAL DECRETO 786/2001, de 6-JUL, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, B.O.E.: 30-JUL-01, y sus correcciones posteriores.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) R.D. 314/2006 de 17 de marzo del Ministerio de la Vivienda. B.O.E.: 28 de marzo de 2006.
- Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos, como en lo relativo a mediciones.
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

En el caso de discrepancias entre las diversas normas se seguirá siempre el criterio más restrictivo.

2.2 Obra civil

2.2.1 Estructuras

• **Acciones en la edificación**

Documento Básico de Seguridad Estructural SE-AE “Acciones en la Edificación” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación (NCSR-02). REAL DECRETO 997/2002, de 27-Septiembre, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 11-OCT-02.

• **Acero**

Documento Básico de Seguridad Estructural SE-A “Acero” del Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

• **Fábrica de ladrillo**

Documento Básico de Seguridad Estructural SE-F “Fábrica” del Código Técnico de la Edificación . REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

• **Hormigón**

Instrucción de Hormigón Estructural "EHE-08". REAL DECRETO 1247/2008 de 18 de julio, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 22-AGO-08.

• **Forjados**

Actualización de las fichas de autorización de uso de sistemas de forjados RESOLUCIÓN de 30-ENE-97, del Ministerio de Fomento B.O.E.: 6-MAR-97.

Real Decreto 1247/2008 de 5 de julio, por el que se aprueba la " Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados (EFHE)".

2.2.2 Instalaciones

• **Calefacción, Climatización y Agua caliente sanitaria**

Documento Básico de Salubridad HS "Salubridad" del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) y se crea la Comisión Asesora para Instalaciones Térmicas de los Edificios. Real Decreto 1027/2007.

Real Decreto 140/03 de 7 de febrero sobre Criterios Sanitarios de la Calidad del Agua de consumo humano. B.O.E.: 21 de febrero de 2003.

• **Electricidad**

Reglamento electrotécnico para baja tensión "REBT" e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT01 a BT51.

REAL DECRETO 842/2002, de 2-AGOSTO, del Ministerio de Industria y Energía B.O.E.: 18-SEPT-2002.

Autorización para el empleo de sistemas de instalaciones con conductores aislados bajo canales de cables protectores de material plástico. RESOLUCIÓN de 18-ENE-88, de la Dirección General de Innovación Industrial. B.O.E.: 19-FEB-88.

• **Instalaciones de Protección Contra Incendios**

Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios. Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E.: 14 de diciembre de 1993. Corrección de errores: 7 de mayo de 1994.

Normas de Procedimiento y Desarrollo del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios y se revisa el apartado I del Pliego de Condiciones Técnicas Generales y Económicas, y los Apéndices del mismo. Orden de 16 de abril de 1998, del Ministerio de Industria y Energía. B.O.E.: 28 de abril de 1998.

Reglamento de Seguridad contra incendios en los Establecimientos Industriales. REAL DECRETO 786/2001, de 6-JUL, del Ministerio de Ciencia y Tecnología, B.O.E.: 30-JUL-01, y sus correcciones posteriores.

Documento Básico SI “Seguridad en caso de Incendio” del Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, del Ministerio de la Vivienda.

2.2.3 Protección

• **Aislamiento Acústico**

Documento Básico HR “Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación.

REAL DECRETO 1371/2007 de 19-October, del Ministerio de la Vivienda

• **Aislamiento Térmico**

Documento Básico HE “Ahorro de energía” del Código Técnico de la Edificación. REAL

DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

• **Protección Contra Incendios**

Documento Básico SI “Seguridad en caso de incendio” del Código Técnico de la

Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

2.2.4 Varios

Código Técnico de la Edificación. REAL DECRETO 314/2006 de 17-Marzo, del Ministerio de la Vivienda.

Normas tecnológicas de la edificación. DECRETO del ministerio de la vivienda nº 3655/72, de 23-DIC B.O.E. 15-ENE-73.

Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación. R. D. 3275/1982 de 12 de noviembre y sus modificaciones posteriores, la última por O. M. de 10/03/00.

Instrucciones Técnicas Complementarias en Subestaciones. DECRETO nº 842/02 de 2-AGO en B.O.E.: 18-SEPT-02.

Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) que le afecten.

Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.

R.D. 614/01 de 8 de Junio sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

R.D. 1215/97 de 18 de Julio sobre EQUIPOS DE TRABAJO.

R.D. 486/97 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.

R.D. 487/97 de 14 de Abril sobre Manipulación manual de cargas.

R.D. 773/97 de 30 de Mayo sobre Utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Ley 32/2006 de 18 de Octubre Reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción.

Prescripciones de seguridad para trabajos y maniobras en Instalaciones Eléctricas, de la Comisión Técnica Permanente de la Asociación de Medicina y Seguridad en el Trabajo de UNESA.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) tanto en cuanto a la ejecución de los trabajos, como en lo relativo a mediciones.

Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.

En el caso de discrepancias entre las diversas normas se seguirá siempre el criterio más restrictivo.

3. Gestión de calidad

Afecta a los procesos: ingeniería, construcción, calificación de proveedores, compras, transferencia de instalaciones y gestión de proyectos y también a los recursos: cualificación de las personas, equipos de inspección, medida y ensayo y homologación de equipos. Sistema de calidad certificado que cumple con la normativa ISO 9000.

4. Gestión medioambiental

Las obras del proyecto se ejecutan garantizando el cumplimiento de la legislación y reglamentación aplicable. En el apartado I, "Requisitos ambientales. Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición", de este documento, se detallan los aspectos medioambientales que rigen la ejecución de este proyecto.

5. Seguridad en el trabajo

Conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción, al amparo de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, se incluye en el presente proyecto, el Estudio de Seguridad y Salud correspondiente para su ejecución.

6. Verificación y validación

De acuerdo con los sistemas de gestión certificados, se garantiza el correcto montaje verificado y validando la instalación y equipos mediante:

Pruebas en Vacío

Una vez finalizados los trabajos de obra civil y montaje electromecánico se procederá a la realización de las Pruebas en Vacío de la Instalación de acuerdo con las instrucciones técnicas correspondientes recogida en la normativa interna.

Pruebas en Tensión

Las Pruebas en Tensión tendrán por objeto comprobar la adecuación al uso de la instalación conforme a los criterios funcionales establecidos en el Proyecto.

7. Estudio de seguridad y salud laboral

7.1 Objeto del estudio

El objetivo principal es establecer los puntos a tener en cuenta con respecto a las previsiones de riesgos de accidente y enfermedades de profesionales durante la ejecución de las obras de la subestación de Caspe, así como en las actividades de reparación y conservación de la instalación.

Sirve para dar unas directrices básicas a las empresas constructoras que intervengan en el proyecto, para llevar a cabo sus obligaciones en la prevención de riesgos, bajo el control del Coordinador de Seguridad y Salud de la Dirección Facultativa de la obra.

Este Estudio de Seguridad y Salud es obligatorio para la instalación de una subestación, según el Real Decreto 1627/1997.

En definitiva, se trata de cumplir con lo legislado y eliminar de la obra la siniestralidad y enfermedad profesional.

7.2 Características de la obra

7.2.1 Descripción y situación

La subestación de Caspe estará situada a 8 km de Zaragoceta, población perteneciente a la región del Bajo Aragón- Caspe, que se encuentra en la provincia de Zaragoza.

Se accede a través de caminos existentes en Zaragoceta.

La obra consiste en la construcción de una subestación de intemperie de 400 kV, que constará de un único parque, con configuración de interruptor y medio y cuatro calles.

7.2.2 Interferencias

La zona sobre la que se va a actuar está libre de viviendas y edificaciones.

Se señalará la entrada o entradas a la obra, para evitar los riesgos de accidente debidos a las características de los accesos.

Se deben conocer las características de las propiedades circundantes a la obra, en cuanto a su uso, delimitación o extensión.

7.2.3 Unidades constructivas que componen la obra

- Movimiento de tierras.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Consiste en el despeje y desbroce de tierras para preparar el terreno de cara a la instalación de los elementos de la subestación.

- Acopio.
Descarga y almacenamiento de los equipos y materiales en un lugar pertinente, donde no interfiera el desarrollo de los trabajos que se estén realizando.
- Drenajes y saneamientos.
Instalación de la red de drenajes de la subestación.
- Obra civil.
Realización de las cimentaciones y construcción del edificio de control y las casetas de relés.
- Canales de cables.
Canales prefabricados, para la protección de los cables de fuerza y control en su recorrido, desde los equipos a las casetas de relés y al edificio de control.

7.3 Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

7.3.1 Condiciones constructivas

El diseño y las características constructivas de las áreas de trabajo deberán ofrecer seguridad frente a riesgos laborales (caídas, choques, resbalones) y derrumbaciones o caídas de materiales. Para ello, el pavimento será llano y no resbaladizo y los techos deberán ser consistentes y resguardar a los trabajadores del mal tiempo. Además, las zonas en las que exista riesgo de caída de objetos o de exposición a elementos agresivos, deben estar señalizadas.

El diseño de los lugares de trabajo deberá facilitar el control de las situaciones de emergencia y posibilitar la rápida evacuación del personal.

Todos los elementos estructurales o de servicio (cimentaciones, forjados, muros, escaleras), deberán tener la resistencia necesaria para soportar las cargas a las que sean sometidos.

Las dimensiones de los locales de trabajo adoptarán una superficie libre superior a 2 m² por trabajador, un volumen superior a 10 m³ por trabajador y una altura mínima del techo de 2,5 m.

Las vías de circulación deberán poder usarse con total seguridad.

Las puertas de acceso a escaleras no se abrirán directamente sobre sus escalones, sino sobre descansos de anchura suficiente.

Se dimensionarán todos los circuitos y se dotará a los conductores y el resto de aparataje de un nivel de aislamiento adecuado, para que la instalación eléctrica no tenga riesgo de incendio o explosión.

Se utilizará el sistema de separación por distancia de las partes activas hasta una zona no accesible por el trabajador, utilizando obstáculos o barreras (armarios para cuadros eléctricos, tapas de interruptores), además de aislamiento para las partes activas.

7.3.2 Orden, limpieza y mantenimiento

Las zonas de paso, salidas y, en especial, las vías previstas para situaciones de emergencia, deberán permanecer libres de obstáculos.

Se eliminarán rápidamente todos los desperdicios y demás productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.

Se llevará a cabo un mantenimiento periódico de los lugares de trabajo y sus instalaciones.

7.3.3 Condiciones ambientales

La exposición a condiciones ambientales en los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para los trabajadores.

Para ello, algunas de las condiciones que deben cumplirse son las siguientes:

- Se evitarán olores desagradables.
- Se renovará el aire de los locales de trabajo a razón de 30 m³ por trabajador y por hora.
- La temperatura de los locales deberá estar comprendida entre 17 y 27º C para locales de oficinas, y entre 14 y 25º C para locales donde se realicen trabajos ligeros.
- La humedad relativa debe estar comprendida entre 30% y 70%, excepto en locales con riesgo por electricidad estática, cuyo límite estará entre 50% y 100%.
- Se controlará que los trabajadores no estén expuestos a corrientes de aire de una velocidad mayor de 0,5 o 0,75 m/s.

7.3.4 Iluminación

Se complementará la iluminación natural con artificial, para las horas de visibilidad deficiente y los puestos de trabajo donde se requiera un nivel mayor de iluminación.

7.3.5 Servicios higiénicos y locales de descanso

Se dispondrá de agua potable, aseos, espacios donde los trabajadores puedan permanecer durante las interrupciones y vestuarios (en caso de llevar ropa especial para ciertos trabajos).

7.3.6 Material y locales de primeros auxilios

Se dispondrá de material para primeros auxilios, que deberá ser adecuado al número de trabajadores y a los riesgos a los que estén expuestos.

7.4 Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo

Las partes de un equipo de trabajo que tengan alguna incidencia deben ser identificables para no acarrear riesgos por una manipulación involuntaria.

Todos los equipos de trabajo deben disponer de un mecanismo de parada en condiciones de total seguridad.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Los equipos que puedan acarrear caída de objetos deben estar provistos de la protección adecuada a dichos riesgos.

Los equipos de trabajo que entrañen riesgo por emanación de gases, vapores o líquidos, estarán provistos de dispositivos de captación o extracción cerca de la fuente emisora.

En caso de necesidad, los equipos de trabajo se estabilizarán por fijación u otros medios.

Las zonas donde se esté realizando un trabajo o mantenimiento deberán estar adecuadamente iluminadas.

Las partes o elementos de un equipo que alcancen temperaturas muy elevadas o muy bajas, deberán protegerse contra el riesgo de contacto o proximidad de los trabajadores.

Todos los equipos de trabajo serán adecuados para proteger a los trabajadores contra contactos directos o indirectos de electricidad.

Previamente al uso de estos equipos, deben comprobarse que todas las protecciones y condiciones de uso son las adecuadas.

7.5 Riesgos

7.5.1 Riesgos profesionales

Algunos de los riesgos que se pueden dar en las actividades realizadas en la obra son:

- Desbroce y movimiento de tierras: atropellos por maquinaria, colisiones y vuelcos, polvo, emanación de gases, caída de materiales y herramientas.
- Pavimentaciones: atropellos por maquinaria, salpicaduras de hormigón, polvo, ruido.
- En conducciones y tuberías: caídas al mismo y a distinto nivel, atrapamiento por maquinaria, heridas por máquinas cortadoras.
- En unidades luminosas: descargas eléctricas, caídas de objetos, caídas a distinto nivel.
- En cimentaciones: golpes, caídas, atrapamientos.
- En redes eléctricas: descargas eléctricas, corrientes erráticas y electricidad estática, caídas.

Además de los riesgos de cada actividad, cabe mencionar como generales, los riesgos atmosféricos, eléctricos y de incendio.

7.5.2 Riesgo de daño a terceros

Se considerará la zona de trabajo (donde se desenvuelvan las máquinas y operarios) y una zona de peligro, la franja de 5 metros alrededor de la primera zona.

Algunos riesgos de daño a terceros pueden ser: caídas, colisiones de vehículos o atropello.

7.6 Prevención de los riesgos profesionales

7.6.1 Equipos de protección colectiva

Con ellos se pretenden eliminar los riesgos detectados en el transcurso de la obra que pueden afectar al conjunto de trabajadores.

Algunos de ellos son:

- Cinta de señalización.
- Malla de PVC.
- Señales de tráfico.
- Carteles de indicación de riesgos.
- Cable de seguridad.
- Cordón de balizamiento.
- Extintor de dióxido de carbono.
- Instalación de puesta a tierra.
- Interruptor diferencial de media/alta sensibilidad.

7.6.2 Equipos de protección individual

Estos equipos deberán utilizarse cuando no se puedan evitar los riesgos por medios de protección colectiva. Los trabajadores están obligados a utilizarlos de forma correcta y a conservarlos.

En la obra se usarán entre otros:

- Casco de seguridad.
- Pantalla de soldadura.
- Gafas contra polvo.
- Mascarilla contra polvo.
- Protección auditiva.
- Mono de trabajo.
- Guantes.
- Chalecos reflectantes.
- Botas de protección.

7.6.3 Formación en seguridad y salud

Los trabajadores deben recibir toda la información respecto a las medidas de seguridad y salud necesarias en la obra.

7.6.4 Personal de seguridad

Se designará un coordinador de seguridad y salud durante la elaboración de la obra.

Dicha persona, coordinará y controlará la aplicación de las prevenciones de seguridad establecidas y vigilará que todos los trabajadores cumplan con ellas. Además, se encargará de aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista y las modificaciones que se consideren necesarias.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

7.6.5 Principios generales aplicables durante la ejecución de la obra

- El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- La manipulación de los distintos materiales y la utilización de los medios auxiliares.
- El mantenimiento de los medios y dispositivos necesarios para la ejecución de la obra.
- La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de trabajo.
- El almacenamiento y eliminación de residuos y escombros.
- La recogida de los materiales peligrosos utilizados.
- La adaptación, en función de la evolución de obra, del periodo de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- La cooperación entre Red Eléctrica y el Contratista.

7.6.6 Primeros auxilios

Se dispondrá de un botiquín de obra para prestar primeros auxilios y, además, deberá estar disponible un vehículo en la obra, para evacuar a un posible accidentado.

El Contratista indicará el centro médico elegido o que le corresponda por su Mutua de Accidentes de Trabajo.

7.6.7 Prevención de incendios

La obra debe estar equipada con dispositivos para combatir los posibles incendios, como extintores, detectores contra incendios y alarmas. Estos sistemas de extinción se mantendrán periódicamente para asegurar su buen funcionamiento.

7.6.8 Prevención de daños a terceros

Se impedirá el acceso a las personas ajenas a la obra y se limitará la zona de peligro con vallas, carteles, cinta señalizadora o los medios que se estimen convenientes. La señalización ha de ser diurna y nocturna.

Se protegerán y señalizarán todas las zanjas, y todos los pozos y arquetas dispondrán de una tapa provisional hasta que se coloque la definitiva.

TÉCNICAS Y PARTICULARES

TÉCNICAS Y PARTICULARES

ÍNDICE

1. Ámbito de aplicación.....	146
2. Requisitos de carácter general	146
3. Requisitos específicos para los movimientos de tierras.....	147
3.1 Zonificación de los trabajos	147
3.2 Accesos	147
3.3 Retirada de la cubierta vegetal	147
3.4 Patrimonio cultural.....	148
3.5 Movimientos de tierra para la explanación.....	148
4. Requisitos específicos para la obra civil	148
5. Requisitos específicos para el montaje electromecánico	148
5.1 Llenado de equipos con aceite.....	148
5.2 Llenado de equipos con SF6	149
6. Acondicionamiento de la obra.....	149

1. Ámbito de aplicación

El objetivo de este apartado es determinar los requisitos que deben cumplir los trabajos de obra civil y montaje electromecánico de la subestación de Caspe, para tratar de reducir los posibles impactos ambientales que pueden desencadenar estas actividades.

2. Requisitos de carácter general

Se deben cumplir los requisitos medioambientales legales establecidos en los ámbitos: europeo, estatal, autonómico y municipal. Las Especificaciones Ambientales de Construcción de Subestaciones que regirán la ejecución de la obra indicarán todos los requisitos a cumplir en relación a los trabajos.

Los requisitos de carácter general son los siguientes:

- Condicionados de los Organismos de la Administración.
Son emitidos durante el proceso de Autorización Administrativa, por los organismos públicos y entidades que puedan ser afectados durante el desarrollo del proyecto. Serán aplicados en el desarrollo de la ejecución de la obra.
- Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible.
Se contará con una bandeja metálica sobre la que se colocarán los recipientes de combustible, para que no se dispongan sobre el suelo desnudo y evitar los daños que podrían causar posibles derrames.

La bandeja será estanca, con un bordillo mínimo de 10 centímetros y con una capacidad igual o mayor que la del mayor de los recipientes que se ubiquen en ella. Además, se dispondrá de una lona para cubrir la bandeja y evitar que se llene de agua en caso de lluvia.

En caso de disponer de grupos electrógenos, su tanque de almacenamiento deberá tener doble pared y tuberías encamisadas. Si no se dan estas condiciones, se colocarán sobre una bandeja estanca como la descrita anteriormente.

- Cambios de aceites y grasas.
Se tomarán las medidas necesarias para no verter aceites y grasas al suelo.

El cambio de aceites de la maquinaria se realizará en un taller autorizado. Si no fuera posible, se realizará sobre el terreno haciendo uso de un recipiente de recogida de aceite y una superficie permeable.
- Campamento de obra.
Dispondrá de los contenedores necesarios para los residuos que generen los trabajadores de la obra.

No se usarán fosas sépticas o pozos filtrantes en la instalación sin autorización de la Conferencia Hidrográfica correspondiente. Además, se tratará de usar depósitos estancos que serán desmontados al acabar la obra y se llevará un mantenimiento adecuado de estos sistemas para evitar olores en el entorno de trabajo.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

- Gestión de residuos.

La gestión de los residuos se realizará conforme a la legislación específica vigente. Será según lo establecido en los siguientes documentos:

- Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición.
- Plan de gestión de residuos de construcción y demolición: entregado por el contratista, aprobado por la dirección facultativa y aceptado por el Departamento de Medio Ambiente de REE.

- Incidentes con consecuencias ambientales.

Se consideran incidencias medioambientales aquellas situaciones que por su posible afección al medio requieren actuaciones de emergencia.

Los principales incidentes que pueden tener lugar son incendios y fugas/derrames de material contaminante.

El riesgo de incendios viene asociado principalmente al almacenamiento y manipulación de productos inflamables. Se establecerán todas las medidas de prevención de incendios y se prestará especial atención para que los productos inflamables no entren en contacto con fuentes de calor: trabajo de soldaduras, recalentamiento de máquinas, cigarrillos etc. En el lugar de trabajo se contará con los extintores adecuados.

Además de las medidas de prevención de fugas y derrames (descritas en apartados anteriores) se contará en obra con los materiales necesarios para la actuación frente a derrames de sustancias potencialmente contaminantes.

3. Requisitos específicos para los movimientos de tierras

3.1 Zonificación de los trabajos

Antes de comenzar los trabajos se realizará una zonificación para ordenar el tránsito de la maquinaria y delimitar las zonas afectadas por las obras.

Las zonas definidas se deben señalar de forma temporal mediante estacas o cintas de plástico de colores vistosos.

3.2 Accesos

Sólo se utilizará el acceso definido, minimizando la afección a los terrenos colindantes.

El tratamiento superficial de los accesos auxiliares será mínimo, evitando realizar explanaciones de ningún tipo y usando maquinaria ligera, de forma que se posibilite una fácil regeneración natural o artificial.

3.3 Retirada de la cubierta vegetal

Se respetarán todos los ejemplares arbóreos que no sean incompatibles con el desarrollo del proyecto de la subestación. Para todas las labores de obra que afecten a arbolado se obtendrán

los permisos pertinentes, de los órganos ambientales competentes, atendiendo en todo momento a las instrucciones que dicten estos organismos.

3.4 Patrimonio cultural

Si durante la ejecución de las obras apareciesen restos arqueológicos y/o paleontológicos, se informará a las autoridades competentes y se pararán los trabajos hasta la adopción de las medidas oportunas.

3.5 Movimientos de tierra para la explanación

Al inicio de los trabajos se procederá a la retirada de la tierra vegetal, para su posterior reutilización, de forma que ésta no se mezcle con sustratos profundos o que quede sepultada por acumular sobre ella tierra de menor calidad.

La tierra vegetal se acumulará en zonas no afectadas por los movimientos de tierra hasta que se proceda a su disposición definitiva y se realizará de tal modo que no pierda sus características (altura máxima de los acopios de 2 metros).

Se evitará que en los movimientos de tierras se produzcan acumulaciones de materiales en los cauces y zonas de policía de estos, facilitando la continuidad de las aguas.

Se señalará adecuadamente la salida de camiones de las obras, procurando que se mantenga la limpieza de polvo y barro de las vías y carreteras aledañas para la seguridad de los usuarios.

Durante la realización de la explanación del parque, se evitará en lo posible la compactación de los suelos no afectados por ésta, limitando al máximo las zonas en las que vaya a entrar maquinaria pesada.

En los casos en que sea preciso el aporte de materiales de excavación ajenos a la zona de la subestación, se procurará evitar los vertidos de éstos sobre los suelos circundantes de la explanación.

4. Requisitos específicos para la obra civil

Se delimitará y señalizará de forma clara una zona para la limpieza de las cubas de hormigonado para evitar vertidos de este tipo en las proximidades de la subestación. La zona será regenerada una vez finalizada la obra, llevándose los residuos a vertedero controlado y devolviéndola a su estado y forma inicial.

5. Requisitos específicos para el montaje electromecánico

5.1 Llenado de equipos con aceite

Cuando se llenan de aceite las máquinas de potencia se tomarán las máximas precauciones para evitar posibles accidentes con consecuencias medioambientales.

No se comenzará el llenado de equipos hasta que no estén operativos los fosos de recogida de aceite.

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Como complemento y para evitar un accidente, debajo de todos los empalmes de tubos utilizados en la maniobra se deberán situar recipientes preparados para la recogida de posibles pérdidas, con el tamaño suficiente para evitar vertidos al suelo.

5.2 Llenado de equipos con SF6

El llenado de equipos con SF6 se llevará a cabo por personal especializado, evitándose así fugas de gas a la atmósfera. Las botellas de SF6 (vacías y con SF6 que no se ha utilizado en el llenado) serán retiradas por el proveedor para garantizar la adecuada gestión de las mismas.

6. Acondicionamiento de la obra

Una vez finalizados todos los trabajos se realizará una revisión del estado de limpieza y conservación del entorno de la subestación, con el fin de proceder a la recogida de restos de todo tipo que pudieran haber quedado acumulados y gestionarlos adecuadamente.

Se procederá a la rehabilitación de todos los daños ocasionados sobre las propiedades derivados de la ejecución de los trabajos.

Se revisará la situación de todas las servidumbres previamente existentes y el cumplimiento de los acuerdos adoptados con particulares y administración, acometiendo las medidas correctoras que fueran precisas si se detectan carencias o incumplimientos.

Donde sea viable, se restituirá la forma y aspecto originales del terreno.

De forma inmediata a la finalización de la obra y en el caso que sea necesario, se revegetarán las superficies desprovistas de vegetación que pudieran estar expuestas a procesos erosivos y si así se ha definido, se realizarán los trabajos de integración paisajística de la instalación.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Documento nº 4, PRESUPUESTO

DOCUMENTO Nº 4, PRESUPUESTO
ÍNDICE GENERAL

MEDICIONES..... 153
PRECIOS UNITARIOS..... 156
SUMAS PARCIALES 159
PRESUPUESTO GENERAL 162

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

MEDICIONES

Aparamenta y materiales		Mediciones	Unidades
Interruptores de potencia	Fabricación y transporte	9	uds
	Cimientos	9	uds
	Soportes metálicos	9	uds
	Cableado	1.700	m
	Montaje electromecánico	9	uds
Seccionadores de columnas giratorias	Fabricación y transporte	14	uds
	Cimientos	14	uds
	Soportes metálicos	14	uds
	Cableado	2.500	m
	Montaje electromecánico	14	uds
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	Fabricación y transporte	4	uds
	Cimientos	4	uds
	Soportes metálicos	4	uds
	Cableado	1.300	m
	Montaje electromecánico	4	uds
Seccionadores pantógrafos	Fabricación y transporte	6	uds
	Cimientos	6	uds
	Soportes metálicos	6	uds
	Cableado	800	m
	Montaje electromecánico	6	uds
Transformadores de intensidad	Fabricación y transporte	36	uds
	Cimientos	36	uds
	Soportes metálicos	36	uds
	Cableado	700	m
	Montaje electromecánico	36	uds
Transformadores de tensión capacitivos	Fabricación y transporte	18	uds
	Cimientos	18	uds
	Soportes metálicos	18	uds
	Cableado	650	m
	Montaje electromecánico	18	uds
Autoválvulas	Fabricación y transporte	12	uds
	Cimientos	12	uds
	Soportes metálicos	12	uds
	Cableado	120	m
	Montaje electromecánico	12	uds
Embarrado principal		360	m
Embarrado secundario		1.100	m
Embarrado de tendido alto		995	m
Aisladores soporte del embarrado secundario		6	uds
Aisladores de amarre de los pórticos de entrada		2.376	uds
Estructura metálica galvanizada		452.000	kg

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

	Mediciones	Unidades
Terreno	10	ha
Servicios auxiliares	1	ud
Montaje electromecánico	1	ud
Control y comunicaciones	1	ud
Protecciones	Mediciones	Unidades
Protección diferencial de línea	6	uds
Protección de distancia	6	uds
Protección de interruptor	9	uds
Protección diferencial de barras	4	uds
Alimentación de servicios auxiliares	Mediciones	Unidades
Línea de media tensión 20 kV	1	ud
Centro de transformación 24kV y 250kVA	1	ud
Grupo electrógeno de 200kVA	1	ud
Red de tierras	Mediciones	Unidades
Puntas Franklin	12	uds
Conductor de cobre 120 mm ²	6.957	m
Construcción	Mediciones	Unidades
Movimiento de tierras	98.165	m ³
Vallado	1.478	m
Cimentación y plataforma	32.721	m ²
Drenajes y saneamientos	1	ud
Accesos	1	km
Edificio de control	1	ud
Casetas de relés	3	uds
Ingeniería	Mediciones	Unidades
Obra civil	1	ud
Monaje electromecánico	1	ud
Pruebas	1	ud
Otros	Mediciones	Unidades
Pruebas de puesta en servicio	5	días
Pruebas de vacío	33	días
Seguridad y vigilancia	1	ud
Adecuación medioambiental	1	ud
Tasas municipales	1	ud
Seguridad y salud laboral	1	ud

PRECIOS UNITARIOS

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Aparamenta y materiales		Precio unitario	Unidades
Interruptores de potencia	Fabricación y transporte	120.000	€/ud
	Cimientos	3.000	€/ud
	Soportes metálicos	3.300	€/ud
	Cableado	50	€/m
Seccionadores de columnas giratorias	Fabricación y transporte	48.000	€/ud
	Cimientos	2.400	€/ud
	Soportes metálicos	850	€/ud
	Cableado	6	€/m
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	Fabricación y transporte	67.980	€/ud
	Cimientos	2.250	€/ud
	Soportes metálicos	900	€/ud
	Cableado	6	€/m
Seccionadores pantógrafos	Fabricación y transporte	43.680	€/ud
	Cimientos	2.250	€/ud
	Soportes metálicos	800	€/ud
	Cableado	6	€/m
Transformadores de intensidad	Fabricación y transporte	15.500	€/ud
	Cimientos	550	€/ud
	Soportes metálicos	600	€/ud
	Cableado	6	€/m
Transformadores de tensión capacitivos	Fabricación y transporte	11.000	€/ud
	Cimientos	500	€/ud
	Soportes metálicos	550	€/ud
	Cableado	6	€/m
Autoválvulas	Fabricación y transporte	6.600	€/ud
	Cimientos	350	€/ud
	Soportes metálicos	400	€/ud
	Cableado	6	€/m
Embarrado principal		90	€/m
Embarrado secundario		40	€/m
Embarrado de tendido alto		5,83	€/m
Aisladores soporte del embarrado secundario		900	€/ud
Aisladores de amarre de los pórticos de entrada		18	€/ud
Estructura metálica galvanizada		1,48	€/kg
		Precio unitario	Unidades
Terreno		38.000	€/hectárea
Servicios auxiliares		155.000	€/ud
Montaje electromecánico		450.000	€/ud
Control y comunicaciones		157.000	€/ud

Protecciones	Precio unitario	Unidades
Protección diferencial de línea	9.000	€/ud
Protección de distancia	7.000	€/ud
Protección de interruptor	7.000	€/ud
Protección diferencial de barras	20.000	€/ud
Alimentación de servicios auxiliares	Precio unitario	Unidades
Línea de media tensión 20 kV	650.000	€/ud
Centro de transformación 24kV y 250kVA	62.000	€/ud
Grupo electrógeno de 200kVA	20.605	€/ud
Red de tierras	Precio unitario	Unidades
Puntas Franklin	300	€/ud
Conductor de cobre 120 mm ²	2,7	€/m
Construcción	Precio unitario	Unidades
Movimiento de tierras	10	€/m ³
Vallado	36	€/m
Cimentación y plataforma	6,42	€/m ²
Drenajes y saneamientos	15.000	€/ud
Accesos	15.000	€/km
Edificio de control	90.000	€/ud
Casetas de relés	50.000	€/ud
Ingeniería	Precio unitario	Unidades
Obra civil	70.000	€/ud
Montaje electromecánico	70.000	€/ud
Pruebas	55.000	€/ud
Otros	Precio unitario	Unidades
Pruebas de puesta en servicio	2.200	€/día
Pruebas de vacío	2.200	€/día
Seguridad y vigilancia	99.500	€/ud
Adecuación medioambiental	200.000	€/ud
Tasas municipales	146.000	€/ud
Seguridad y salud laboral	45.000	€/ud

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

SUMAS PARCIALES

Aparamenta y materiales		Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Interruptores de potencia	Fabricación y transporte	9	uds	120.000	€/ud	1.080.000 €
	Cimientos	9	uds	3.000	€/ud	27.000 €
	Soportes metálicos	9	uds	3.300	€/ud	29.700 €
	Cableado	1.700	m	50	€/m	85.000 €
Seccionadores de columnas giratorias	Fabricación y transporte	14	uds	48.000	€/ud	672.000 €
	Cimientos	14	uds	2.400	€/ud	33.600 €
	Soportes metálicos	14	uds	850	€/ud	11.900 €
	Cableado	2.500	m	6	€/m	15.000 €
Seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra	Fabricación y transporte	4	uds	67.980	€/ud	271.920 €
	Cimientos	4	uds	2.250	€/ud	9.000 €
	Soportes metálicos	4	uds	900	€/ud	3.600 €
	Cableado	1.300	m	6	€/m	7.800 €
Seccionadores pantógrafos	Fabricación y transporte	6	uds	43.680	€/ud	262.080 €
	Cimientos	6	uds	2.250	€/ud	13.500 €
	Soportes metálicos	6	uds	800	€/ud	4.800 €
	Cableado	800	m	6	€/m	4.800 €
Transformadores de intensidad	Fabricación y transporte	36	uds	15.500	€/ud	558.000 €
	Cimientos	36	uds	550	€/ud	19.800 €
	Soportes metálicos	36	uds	600	€/ud	21.600 €
	Cableado	700	m	6	€/m	4.200 €
Transformadores de tensión capacitivos	Fabricación y transporte	18	uds	10.500	€/ud	189.000 €
	Cimientos	18	uds	500	€/ud	9.000 €
	Soportes metálicos	18	uds	550	€/ud	9.900 €
	Cableado	650	m	6	€/m	3.900 €
Autoválvulas	Fabricación y transporte	12	uds	6.600	€/ud	79.200 €
	Cimientos	12	uds	350	€/ud	4.200 €
	Soportes metálicos	12	uds	400	€/ud	4.800 €
	Cableado	120	m	6	€/m	720 €
Embarrado principal		360	m	90	€/m	32.400 €
Embarrado secundario		1.100	m	40	€/m	44.000 €
Embarrado de tendido alto		995	m	5,83	€/m	5.801 €
Aisladores soporte del embarrado secundario		6	uds	900	€/ud	5.400 €
Aisladores de amarre de los pórticos de entrada		2.376	uds	18	€/ud	42.768 €
Estructura metálica galvanizada		452.000	kg	1,48	€/kg	668.960 €
		Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Terreno		10	ha	38.000	€/hectárea	380.000 €
Servicios auxiliares		1	ud	155.000	€/ud	155.000 €
Montaje electromecánico		1	ud	450.000	€/ud	450.000 €
Control y comunicaciones		1	ud	157.000	€/ud	157.000 €

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Protecciones	Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Protección diferencial de línea	6	uds	9.000	€/ud	54.000 €
Protección de distancia	6	uds	7.000	€/ud	42.000 €
Protección de interruptor	9	uds	7.000	€/ud	63.000 €
Protección diferencial de barras	4	uds	20.000	€/ud	80.000 €
Alimentación de servicios auxiliares	Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Línea de media tensión 20 kV	1	ud	650.000	€/ud	650.000 €
Centro de transformación 24kV y 250kVA	1	ud	62.000	€/ud	62.000 €
Grupo electrógeno de 200kVA	1	ud	20.605	€/ud	20.605 €
Red de tierras	Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Puntas Franklin	10	uds	300	€/ud	3.600 €
Conductor de cobre 120 mm ²	6.957	m	2,7	€/m	18.784 €
Construcción	Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Movimiento de tierras	98.165	m ³	10	€/m ³	981.650 €
Vallado	1.478	m	36	€/m	53.208 €
Cimentación y plataforma	32.721	m ²	6,42	€/m ²	210.069 €
Drenajes y saneamientos	1	ud	15.000	€/ud	15.000 €
Accesos	1	km	15.000	€/km	15.000 €
Edificio de control	1	ud	90.000	€/ud	90.000 €
Casetas de relés	3	uds	50.000	€/ud	150.000 €
Ingeniería	Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Obra civil	1	ud	70.000	€/ud	70.000 €
Monaje electromecánico	1	ud	70.000	€/ud	70.000 €
Pruebas	1	ud	55.000	€/ud	55.000 €
Otros	Mediciones	Unidades	Precio unitario	Unidades	Sumas parciales
Pruebas de puesta en servicio	5	días	2.200	€/día	11.000 €
Pruebas de vacío	33	días	2.200	€/día	72.600 €
Seguridad y vigilancia	1	ud	99.500	€/ud	99.500 €
Adecuación medioambiental	1	ud	200.000	€/ud	200.000 €
Tasas municipales	1	ud	146.000	€/ud	146.000 €
Seguridad y salud laboral	1	ud	45.000	€/ud	45.000 €

PRESUPUESTO GENERAL

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Presupuesto general	Precio total
Aparamenta y materiales	4.235.349 €
Terreno	380.000 €
Servicios auxiliares	155.000 €
Montaje electromecánico	450.000 €
Control y comunicaciones	157.000 €
Protecciones	239.000 €
Alimentación de servicios auxiliares	732.605 €
Movimiento de tierras	981.650 €
Red de tierras	22.384 €
Construcción	533.277 €
Ingeniería	195.000 €
Otros	574.100 €
TOTAL	8.655.365 €

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

Documento nº 5, BIBLIOGRAFÍA

**DOCUMENTO Nº 5, BIBLIOGRAFÍA
ÍNDICE GENERAL**

BIBLIOGRAFÍA167

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

BIBLIOGRAFÍA

En este documento se hará un listado de las fuentes que se han utilizado para la realización del proyecto.

- *Mapa Geológico de España (Caspe)* - Instituto Tecnológico Geominero de España.
- *Subestaciones eléctricas de alta tensión* - Matías Juan Sánchez Mingarro.
- *Apuntes de la asignatura “Centrales subestaciones y líneas”* - ICAI.
- *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, ITC-RAT 01 a 09* - Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- *Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, ITC-RAT 01 a 23* - Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- *Normas UNE.*
- *Normas IEC.*
- Catálogos de equipos de las siguientes páginas web:
 - www.siemens.com
 - www.arteche.com
 - www.abb.com
 - www.mesa.es
 - www.sgdlagranja.es
 - www.ppcinsulators.com
 - www.poinsa.com
 - www.ormazabal.com
 - www.selinc.com
- *Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de subestación transformadora de Vallbona* – REE e Iberdrola.
- *Guide for safety in AC Substation Grounding* – IEEE.
- *Criterios de protección de los sistemas eléctricos insulares y extrapeninsulares* – REE.
- *Short circuit currents-Calculation of effects* – IEC.
- *Proyecto de una subestación eléctrica de transporte 400/220 kV* – Víctor Manuel Falcón Blanco.
- *Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de alta tensión para la red de transporte peninsular español en entorno rural de 400 kV y 220 kV* – Roberto Güemes Martínez.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

Proyecto de ejecución de una subestación eléctrica de 400 kV, como punto de acceso de un generador

-
- *Proyecto tipo de subestaciones con aparamenta convencional* – E.ON.
 - *Proyecto de L.A.M.T. a 15 kV en DC para suministro eléctrico al sector “Sur-D SE7” del P.I. de Almazán* – Gonzalo Sanz Gracia.
 - *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)* – Ministerio de Fomento.