



Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE 400kV COMO ALIMENTACIÓN A ESTACIÓN CONVERSORA HVDC

Autor: Álvaro Díaz García

Director: Matías Juan Sánchez Mingarro

Madrid

Julio 2016



Universidad Pontificia Comillas

Instituto Católico de Artes e Industria

Subestación eléctrica de 400 kV como alimentación a estación
convertora HVDC

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

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

El autor **D. Álvaro Díaz García**, como alumno de la UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS (COMILLAS), DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **Subestación eléctrica de 400 kV en la red de transporte peninsular española, como alimentación a una estación conversora HVDC**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2ª. 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.

3ª. 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) Reproducirla 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 4 de julio de 2016

ACEPTA

Fdo. Álvaro Díaz García



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:

**Subestación eléctrica de 400 kV como alimentación a estación
conversora HVDC**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico **2015-2016** 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.: Álvaro Díaz García

Fecha: 04/07/2016



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Matías Juan Sánchez Mingarro

Fecha: 04/07/2016



Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: Fernando de Cuadra García

Fecha://



Universidad Pontificia Comillas

Instituto Católico de Artes e Industria

Subestación eléctrica de 400 kV como alimentación a estación
convertora HVDC

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en el diseño y construcción de una subestación de 400kV como alimentación a una estación conversora HVDC que se supondrá de tecnología LCC (rectificador de doce pulsos), para posibilitar un enlace submarino en corriente continua entre el Golfo de Vizcaya y la región francesa de Aquitania, con una capacidad de 2x1000MW.

La subestación estará ubicada en el municipio vizcaíno de Bermeo, cercana al puerto marítimo, ocupando una superficie de 30,000 m², aunque se dejarán libres otros 40,000 m² para la futura construcción de la estación conversora.

Las condiciones ambientales y el entorno rural en el que se encuentra el terreno favorecen la instalación de una subestación de tipo intemperie, aislada en aire, permitiendo el ahorro de costes respecto a una subestación tipo GIS.

Al formar parte de la interconexión internacional entre dos países, la relevancia de la subestación objeto del presente proyecto es notable. De esta manera, es imprescindible atender a conceptos como fiabilidad, flexibilidad de funcionamiento, seguridad y capacidad de ampliación a la hora de elegir la configuración del embarrado. Tras el pertinente análisis se ha elegido una configuración de interruptor y medio pues respecto al resto de posibilidades es superior en los conceptos citados.

La subestación dispondrá de tres calles, una de ellas reservada para una futura ampliación. En la primera calle se tendrán dos posiciones de transformador, mientras que la segunda calle estará ocupada por dos posiciones de línea.

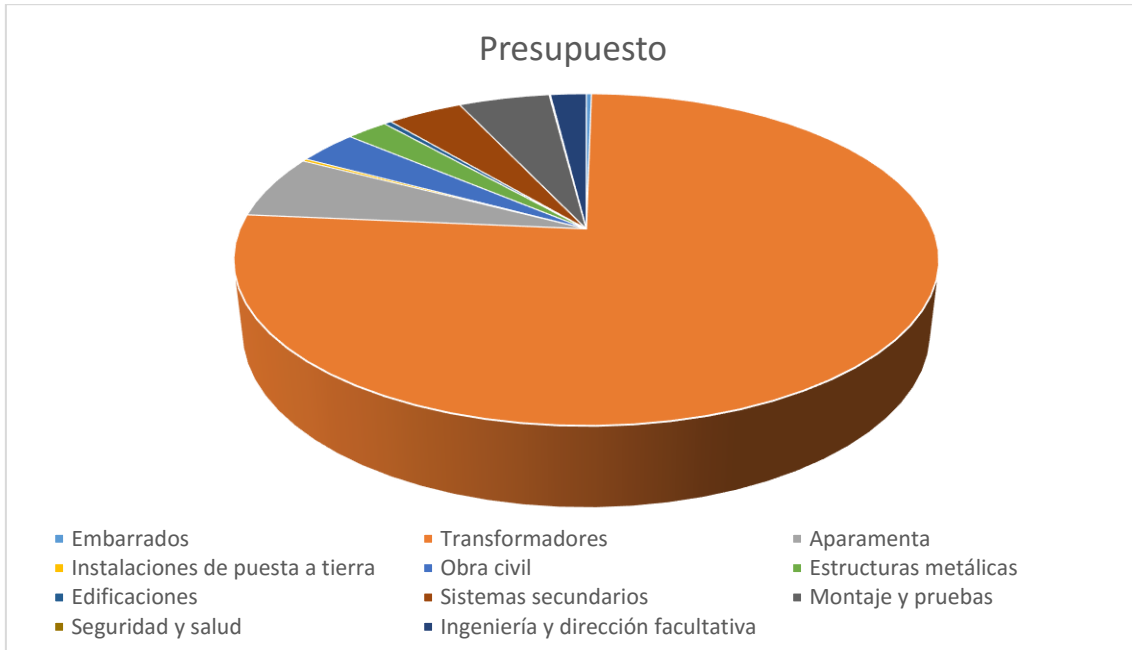
La capacidad de intercambio del enlace será de 2×1000 MW, como ya se ha mencionado. Así, la capacidad de transformación de la subestación será ligeramente superior, 2100 MW concretamente. Esta capacidad de transformación será asumida por los dos bancos de transformadores (1050 MW cada uno) de la subestación.

Los transformadores constituirán la parte fundamental de la subestación. Serán el enlace entre la aparatada de corriente alterna y la estación convertora. Su función principal será convertir la tensión nominal de la subestación a la tensión del enlace de corriente continua.

Los transformadores de la subestación serán monofásicos de 350 MVA cada uno. Cada transformador dispondrá de tres devanados, con dos secundarios desfasados 30° eléctricos, uno en estrella y el otro en triángulo. La elección de unidades monofásicas en lugar de trifásicas se justifica debido a menores inconvenientes en cuanto al transporte y disponibilidad, ya que se puede contar con unidades de reserva que en caso de avería pueden entrar en funcionamiento inmediatamente.

Se instalarán un total de siete transformadores, seis de ellos compondrán los bancos de transformación trifásicos y el restante será una reserva fría. Cada transformador estará equipado con cambiador de tomas en carga, para adecuar el nivel de tensión de alimentación del convertidor al nivel de carga en cada momento.

La importancia de los transformadores también se refleja en el presupuesto estimado, resultando su coste un 76% del total de la subestación, que es de casi 40 M€. En el siguiente gráfico se muestra el presupuesto fraccionado en distintos ámbitos, quedando patente la imponente presencia de los transformadores.



Además de los transformadores, se ha elegido toda la aparamenta de la subestación, de la que forman parte:

- Doce interruptores trifásicos de potencia.
- Cuatro juegos trifásicos de seccionadores pantógrafo.
- Ocho juegos trifásicos de seccionadores de columnas giratorias.
- Cuatro juegos trifásicos de seccionadores de columnas giratorias con puesta a tierra.
- Veinticuatro transformadores de intensidad.
- Catorce transformadores de tensión capacitivos.
- Seis transformadores de tensión inductivos.
- Doce autoválvulas.

Entre los proveedores seleccionados se encuentran empresas como Siemens o Arteche.

En materia de seguridad, se han realizado los cálculos justificativos de los niveles de aislamiento, distancias entre equipos y la instalación de tierra de la subestación.

Es objeto de este proyecto definir la obra civil, previendo el vallado de la subestación, los accesos, el movimiento de tierras para su instalación, las cimentaciones de las estructuras, los canales de conductores y el sistema de drenaje para la evacuación de aguas.

Asimismo, se ha diseñado el sistema de protecciones de la subestación, el sistema de control, de telecomunicación y los servicios auxiliares. Estos sistemas se albergarán en los distintos edificios de la subestación, que son el Edificio de Control y la caseta de relés.

Por último, se han elaborado los planos necesarios para la construcción de la subestación.

ABSTRACT

The goal of this Project is the design and construction of a 400 kV electrical substation for feeding an HVDC converter station whose converter technology will be assumed as LCC (twelve pulse rectifier). The substation and converter station will allow an electrical submarine interconnection between Golfo de Vizcaya and the French region named Aquitania. The power trade will be 2x1000 MW.

The substation will be located in Bermeo, a town which belongs to the province of Vizcaya, and it will be built nearby the seaport. The parcel has an area of 30,000 m², despite there will be 40,000 m² more dedicated to the converter station construction.

The environmental conditions and the fact that the location chosen is in a rural area enables the installation of an outdoor air-insulated substation which means costs savings compared to gas-insulated substations.

It is remarkable the substation importance as it belongs to the international interconnection between the two countries. So it is vital taking into account reliability, working flexibility, security and development capacity when choosing the bus-bar arrangement. After a conscious analysis one and a half breaker scheme is the layout chosen as offers better possibilities regarding the mentioned characteristics.

There will be three bays in the substation, one of them reserved for future extensions. The first bay will be used by the transformers while the second bay will feed the transmission lines.

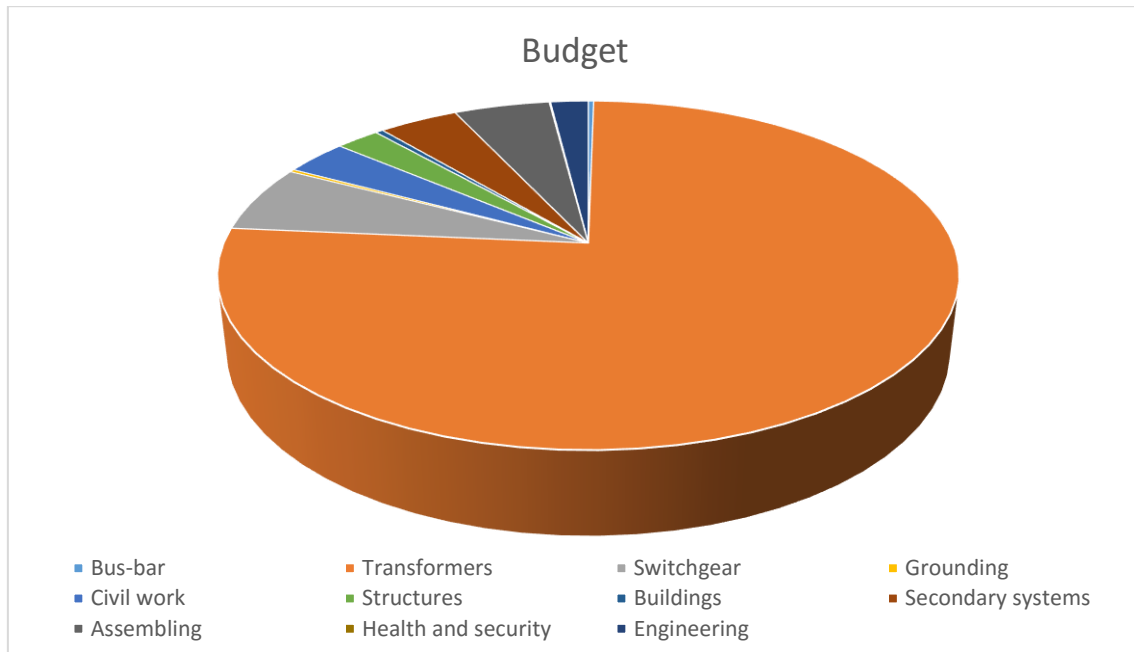
The power capacity exchange of the interconnection will be 2x1000 MW, as mentioned before. This means that the transformation capacity will be slightly higher, 2100 MW to be specific. This power transformation capacity will be hold by the two transformers (1050 MW each) of the substation.

The transformers are the essential components of the substation. There will be the link between the AC switchgear and the converter station. The main function of the transformers is to transform de substation rated voltage into the direct current interconnection.

The substation transformers will be one single phase and their rated power will be 350 MW. Each transformer will have three windings. The two valve side windings will be connected in star and delta respectively with a 30 degree phase shift. Choosing single phase units instead of three phase ones means better conditions on transportation and availability, as the substation can have reserve machines to substitute immediately a damaged one.

There will be installed seven transformers, six of them will be part of the two transformation positions and the leftover will be used as a cold reserve. Each transformer will own a tap changer voltage regulator in order to supply the necessary voltage level to the converters.

The importance of the transformers is also shown on the estimated budget, as their costs symbolizes the 76% of the total amount, which is almost 40 M€. The following graph displays the budget divided into different expenses. It can be appreciated how the transformers represent the vast majority of the budget.



Besides transformers, it has been chosen every electrical equipment needed such as:

- Twelve three phase circuit breakers.
- Four three phase pantograph disconnectors.
- Eight three phase double side break disconnectors.
- Four three phase double side break disconnectors with earthing switch.
- Twenty-four current transformers.
- Fourteen capacitive voltage transformers.
- Six inductive voltage transformers.
- Twelve surge arresters.

Companies such as Siemens and Arteché have been selected as suppliers.

As a matter of security, basic insulation levels, minimum distances between equipment and substation grounding have been justified by proper calculations.

Construction works are part of the project scope, having to foresee the substation fence, entry, earthmoving, switchgear foundations, conductor ways and drain.

What's more, the protection, control, telecommunication and auxiliary services systems have been designed. They will be carried out on the substation buildings, which are the Control Building and the relays house.

At least, necessary planes for the construction have been made.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA.....	7
DOCUMENTO Nº 2: CÁLCULOS.....	89
DOCUMENTO Nº 3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	157
DOCUMENTO Nº 4: PLIEGO DE CONDICIONES	181
DOCUMENTO Nº 5: PRESUPUESTO.....	211
DOCUMENTO Nº 6: PLANOS	229
BIBLIOGRAFÍA.....	239

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Red de transporte en la zona de implantación.	15
Figura 2. Evolución anual de temperaturas.....	16
Figura 3. Densidad de impacto de rayos.	17
Figura 4. Esquema típico unifilar interruptor y medio.	19
Figura 5. Conexión del transformador con el puente de rectificadores.	32
Figura 6. Relación entre “m” y la tensión soportada de coordinación.	94
Figura 7. Relación entre “m” y la tensión soportada de coordinación.	96
Figura 8. Niveles de aislamiento normalizado.....	98
Figura 9. Distancias mínimas en zonas de protección frente a contactos en el interior.....	101
Figura 10. Relación entre V_{σ} y f_c/f	112
Figura 11. Relación entre V_r y f_c/f	112
Figura 12. Tensiones sobre sección de tubo.	113
Figura 13. Relación del factor q en función de la forma de tubo.....	114
Figura 14. Factor m.....	118
Figura 15. Factor n.....	119
Figura 16. Relación entre V_{σ} y f_c/f	126
Figura 17. Relación entre V_{σ} y f_c/f	127
Figura 18. Tensiones sobre sección de tubo.	128
Figura 19. Relación del factor q en función de la forma de tubo.....	129
Figura 20. Factor m.....	133
Figura 21. Factor n.....	133
Figura 22. Esquema parámetros autoválvula.....	139
Figura 23. Corriente nominal de descarga.	141
Figura 24. Pasos del diseño de la red de tierras inferiores.	145
Figura 25. Tensiones de contacto aplicadas admisibles.....	147
Figura 26. Resistencias de puesta a tierra.....	150

Figura 27. Apantallamiento total.....	155
Figura 28. Consideraciones del pliego de condiciones.....	203

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características eléctricas.	18
Tabla 2. Aparamenta calle 1.	21
Tabla 3. Aparamenta calle 2.	22
Tabla 4. Aparamenta barra 1.....	22
Tabla 5. Aparamenta barra 2.....	22
Tabla 6. Tensiones normalizadas.....	23
Tabla 7. Distancia mínima de aislamiento en aire.....	24
Tabla 8. Distancia mínima en pasillos de servicio.	25
Tabla 9. Distancia mínima contra contactos accidentales en el interior.	25
Tabla 10. Distancia mínima contra contactos accidentales en el exterior.....	26
Tabla 11. Distancias finales en la subestación.....	26
Tabla 12. Características conductor.	27
Tabla 13. Características tubo principal.	28
Tabla 14. Características tubo secundario.	29
Tabla 15. Características principales del transformador.....	33
Tabla 16. Nivel de aislamiento del transformador.	34
Tabla 17. Características interruptor.....	36
Tabla 18. Características seccionador pantógrafo.	37
Tabla 19. Características seccionador de columnas.....	38
Tabla 20. Características seccionador de columnas con puesta a tierra.	39
Tabla 21. Características transformador de intensidad.	40
Tabla 22. Características transformador de tensión capacitivo.....	41
Tabla 23. Características transformador de tensión inductivo.	42

Tabla 24. Características autoválvula.	43
Tabla 25. Características aisladores.	44
Tabla 26. Tensiones soportadas específicas.	97
Tabla 27. Tensiones normalizadas.	98
Tabla 28. Características tubo principal.	105
Tabla 29. Características tubo secundario.	106
Tabla 30. Características aislador.	106
Tabla 31. Tensiones en tubo.	113
Tabla 32. Tensiones en tubo.	128
Tabla 33. Clase de descarga según tensión nominal.	142
Tabla 34. Características necesarias autoválvula.	143
Tabla 35. Características autoválvula elegida.	143
Tabla 36. Comparación tensiones aplicadas y admisibles.	153
Tabla 37. Condiciones ambientales.	159
Tabla 38. Disposición calles de la subestación.	160
Tabla 39. Posibles riesgos.	169
Tabla 40. Posibles residuos generados.	192
Tabla 41. Mediciones embarrados.	214
Tabla 42. Mediciones aparamenta.	215
Tabla 43. Mediciones puesta a tierra.	216
Tabla 44. Mediciones obra civil.	216
Tabla 45. Mediciones estructuras.	216
Tabla 46. Mediciones edificaciones.	216
Tabla 47. Mediciones sistemas secundarios.	217
Tabla 48. Mediciones montaje y pruebas.	217
Tabla 49. Mediciones seguridad y salud.	217
Tabla 50. Mediciones ingeniería.	218
Tabla 51. Precios unitarios embarrados.	218
Tabla 52. Precios unitarios aparamenta.	219

Tabla 53. Precios unitarios puesta a tierra.....	219
Tabla 54. Precios unitarios obra civil.....	220
Tabla 55. Precios unitarios estructuras.....	220
Tabla 56. Precios unitarios edificaciones.....	220
Tabla 57. Precios unitarios sistemas secundarios.....	221
Tabla 58. Precios unitarios montaje y pruebas.....	221
Tabla 59. Precios unitarios seguridad y salud.....	221
Tabla 60. Precios unitarios ingeniería.....	222
Tabla 61. Sumas parciales embarrados.....	222
Tabla 62. Sumas parciales aparamenta.....	223
Tabla 63. Sumas parciales puesta a tierra.....	223
Tabla 64. Sumas parciales obra civil.....	224
Tabla 65. Sumas parciales estructuras.....	224
Tabla 66. Sumas parciales edificaciones.....	224
Tabla 67. Sumas parciales sistemas secundarios.....	225
Tabla 68. Sumas parciales montaje y pruebas.....	225
Tabla 69. Sumas parciales seguridad y salud.....	225
Tabla 70. Sumas parciales ingeniería.....	226

DOCUMENTO Nº 1

MEMORIA

ÍNDICE

1.	Generalidades.....	11
1.1.	Introducción y antecedentes	11
1.2.	Objeto	12
1.3.	Alcance	13
1.4.	Normativa	14
2.	Consideraciones de diseño	14
2.1.	Emplazamiento	14
2.2.	Condiciones ambientales	15
2.3.	Magnitudes eléctricas.....	17
3.	Descripción de la subestación	18
3.1.	Configuración.....	18
3.2.	Tecnología.....	19
3.3.	Disposición de las posiciones.....	20
4.	Aislamiento.....	23
4.1.	Coordinación de aislamiento	23
4.2.	Distancias	24
5.	Embarrados.....	26
5.1.	Tendidos altos.....	27
5.2.	Embarrado principal	28
5.3.	Embarrado secundario.....	29
6.	Aparamenta	30

6.1.	Transformadores para alta tensión en continuo	30
6.2.	Interruptores.....	35
6.3.	Seccionadores	36
6.4.	Transformadores de intensidad.....	39
6.5.	Transformadores de tensión capacitivos.....	40
6.6.	Transformadores de tensión inductivos	41
6.7.	Autoválvulas.....	43
6.8.	Aisladores.....	44
7.	Instalaciones de puesta a tierra	44
7.1.	Red de tierras inferiores	45
7.2.	Red de tierras superiores.....	46
8.	Obra civil.....	47
8.1.	Vallado	47
8.2.	Accesos.....	47
8.3.	Movimiento de tierras	48
8.4.	Cimentaciones.....	48
8.5.	Canalizaciones.....	49
8.6.	Drenajes	49
9.	Estructuras metálicas	50
9.1.	Estructuras metálicas de aparamenta	50
9.2.	Pórticos de barra.....	51
9.3.	Pórticos de línea.....	51
10.	Edificaciones	52

10.1.	Edificio de Control	52
10.2.	Casetas de relés.....	53
11.	Sistemas secundarios	53
11.1.	Protecciones.....	53
11.2.	Sistemas de control	56
11.3.	Sistemas de telecomunicaciones	57
11.4.	Servicios auxiliares	57
11.5.	Instalación de alumbrado y fuerza.....	59
11.6.	Sistema de insonorización.....	60
11.7.	Sistema anti-intrusismo	61
11.8.	Sistema contra incendios	61
12.	Anejos	62
12.1.	Interruptores	62
12.2.	Seccionadores pantógrafo	68
12.3.	Seccionadores de columnas	70
12.4.	Transformadores de intensidad	71
12.5.	Transformadores de tensión capacitivos	74
12.6.	Transformadores de tensión inductivos	77
12.7.	Autoválvulas	80
12.8.	Aisladores	84
12.9.	Canalizaciones	86

1. Generalidades

1.1. Introducción y antecedentes

Las interconexiones internacionales son el conjunto de líneas y subestaciones de sistemas eléctricos vecinos que permiten el intercambio transfronterizo de energía entre ellos. Las interconexiones conectan diversos países entre sí y permiten tanto ofrecer a los sistemas vecinos electricidad generada en el propio país como recibir de ellos energía que puede satisfacer la demanda interna.

Estas interconexiones internacionales favorecen una mayor capacidad de intercambio eléctrico entre países vecinos, lo cual aporta una mayor seguridad de suministro, un aumento de la eficiencia y una mejor integración de las energías renovables.

España y Francia estaban conectadas mediante cuatro líneas de alta tensión. Dos de ellas en el País Vasco (una de 400 kV conectando Hernani con Argia y otra de 220 kV que conecta Arkale también con Argia), una en Aragón (de 220 kV entre Biescas y Pragnères) y otra en Cataluña (de 400 kV que conecta Vic con Baixas). Este conjunto de líneas permitía alcanzar un valor máximo de capacidad de intercambio de alrededor de 1.400 MW.

Desde 1982 no se había construido ninguna nueva línea de interconexión, a pesar del crecimiento de la demanda eléctrica en ambos países. Sin embargo, en octubre del pasado año 2015 entró en operación comercial la nueva interconexión entre Santa Llogaia y Baixas. Esta interconexión es la conexión de corriente continua (± 320 kV) de mayor capacidad en Europa (2x1000 MW) y de mayor longitud soterrada

(64,5 km). La consecución de este proyecto ha supuesto que la nueva capacidad de intercambio con Francia sea de 2800 MW.

Un nuevo proyecto de interconexión con Francia en fase de estudio es El Proyecto Golfo de Vizcaya. Se trataría en una nueva interconexión entre el País Vasco y la región francesa de Aquitania, consistente en un enlace en corriente continua de 2x1000 MW, submarino en su mayor parte. Este proyecto permitirá incrementar la capacidad de intercambio entre España y Francia hasta el rango de 4000-5000 MW. En la actualidad este proyecto se encuentra en fase de estudios de viabilidad y se prevé su puesta en servicio en el horizonte 2020-2022.

1.2. Objeto

La Unión Europea recomienda que todos los países miembros alcancen un 20% de ratio de interconexión como mínimo para poder aprovechar las ventajas que suponen las interconexiones internacionales. Sin embargo, dadas las características geográficas de España, nuestras opciones de interconexión pasan únicamente por Francia, Portugal y el norte de África. Por este motivo, la Unión Europea rebajó dicha cifra a un 10% para España. Aun así, hoy en día el ratio de interconexión de España se encuentra por debajo del 5%.

Este proyecto tiene como objeto el diseño y construcción de una subestación de 400kV como alimentación a una estación convertora que se supondrá de tecnología LCC, para posibilitar un enlace submarino en corriente continua entre el Golfo de Vizcaya y la región francesa de Aquitania, con una capacidad de 2x1000 MW.

Para la consecución de este objetivo es necesario cumplir varios requisitos en materia de seguridad, rentabilidad económica e impacto ambiental.

En cuanto a seguridad, al tratarse de una subestación que forma parte de una interconexión internacional, será necesario cumplir con las exigencias pertinentes a una interconexión, además de cumplir la normativa aplicable vigente respecto a instalaciones de alta tensión.

Para elaborar el mejor diseño posible se debe buscar un adecuado compromiso entre los gastos y la calidad de la tecnología a instalar, sin olvidar la importancia de la subestación para la red de transporte y tratando de maximizar la vida útil de la instalación.

La subestación formará parte de la red de transporte y será de intemperie, sin embargo, por necesidad estará situada en las cercanías de un puerto marítimo para el enlace submarino. Por este motivo, se debe buscar minimizar ruidos, campos electromagnéticos y posibles fugas de aceite aislante, así como integrar en la medida de lo posible la subestación con el entorno.

Este proyecto debe incluir los datos precisos para que sea viable la obtención de la Autorización Administrativa para la construcción de la subestación. Previamente, se ha debido aprobar la Declaración de Utilidad Pública, la Relación de Bienes y Derechos y el Estudio de Impacto Ambiental.

1.3. Alcance

El diseño de la subestación incluye en primer lugar la elección del terreno donde se va a ubicar. Se decidirá la configuración y tecnología de la subestación y se escogerá toda la aparamenta necesaria. También se diseñará la instalación de puesta a tierra y las protecciones de los equipos.

Se realizarán los cálculos necesarios para la correcta justificación de las decisiones tomadas.

Se diseñarán los planos tanto del emplazamiento como de la subestación y se elaborará un presupuesto para su construcción.

1.4. Normativa

Para el diseño de instalaciones de alta tensión como la subestación de este proyecto, ha de respetarse la regulación vigente en dicha materia en nuestro país. La norma jurídica correspondiente es 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, aprobado en el Real Decreto 337/2014.

2. Consideraciones de diseño

2.1. Emplazamiento

La subestación se encontrará situada en la provincia española de Vizcaya, concretamente en el municipio de Bermeo. La cercanía al puerto de Bermeo del terreno elegido facilita la interconexión debido al pequeño desplazamiento de los conductores de corriente continua al puerto desde donde continuarán su camino submarino hacia la subestación francesa.

En la siguiente figura se muestra la red eléctrica actual de transporte de Vizcaya, en la que se ha incluido la subestación diseñada en el presente proyecto. En color verde se pueden apreciar las líneas de 220 kV, mientras que las rojas corresponden a un nivel de tensión de 400 kV.

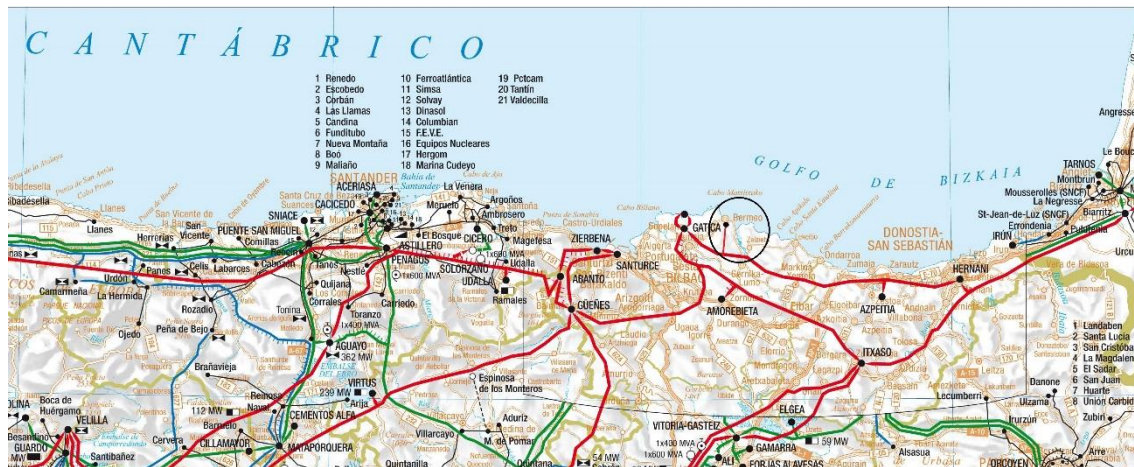


Figura 1. Red de transporte en la zona de implantación.

La subestación diseñada ocupará una superficie de 28,959 m² (197 x 147 m), sin embargo la extensión de la parcela será de 67,768 m² (197 x 344 m) debido a la obligación de prever el espacio necesario para la estación convertora.

En el documento de planos se encuentran los planos de situación y emplazamiento, destacando la parcela destinada a la subestación.

2.2. Condiciones ambientales

La zona en la que se va a instalar la subestación presenta un clima atlántico, moderado en cuanto a temperaturas y muy lluvioso. La temperatura media anual es de 15.3 °C. Por otro lado, la temperatura mínima anual es de 0.7 °C, mientras que la máxima temperatura anual es de 36.8 °C. Un dato relevante es que no es habitual que tengan lugar días de helada. Se observa la evolución mensual de los parámetros mencionados en la siguiente figura.

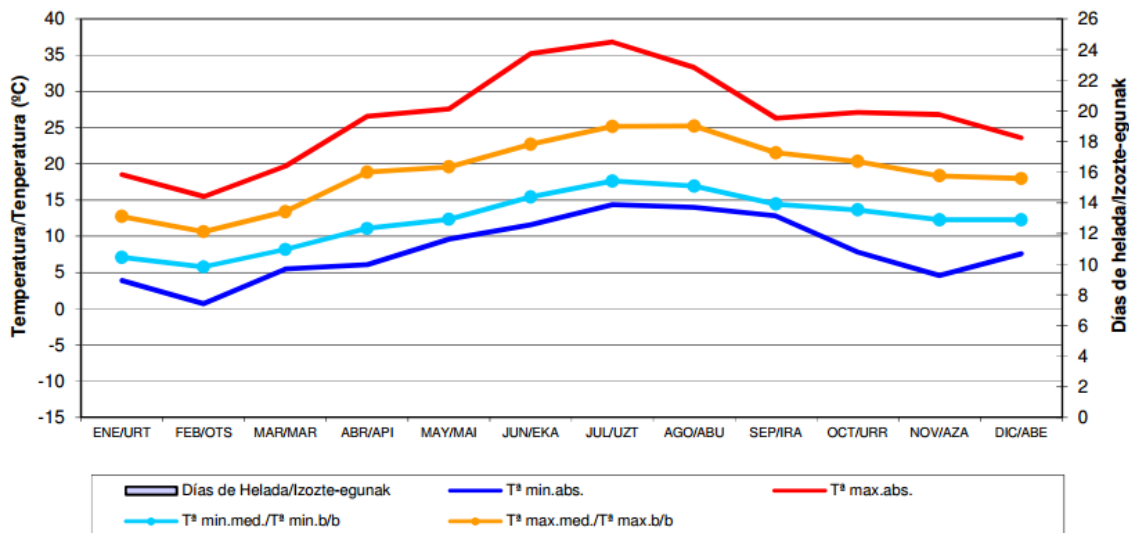


Figura 2. Evolución anual de temperaturas.

La altura del terreno sobre el nivel del mar es de 144 m. Al ser la altura menor de 500 m, la zona queda definida según el Reglamento de Líneas de Alta Tensión como zona A. Esto determina las sobrecargas a aplicar para el establecimiento de distintas hipótesis de cálculo.

La humedad relativa media diaria es del 76.7%.

La radiación solar media diaria es de 3.33 kWh/m² o lo que es lo mismo, 12 MJ/m².

La velocidad media del viento es de 10.3 km/h, mientras que la máxima velocidad del viento es de 109.4 km/h.

El nivel de contaminación ambiental es medio (nivel II), por lo que según la norma IEC 60815 la distancia de fuga nominal mínima es de 20 mm/kV.

El coeficiente sísmico básico es de 0.04 g. Según la norma NCSR-02 es necesario tener en cuenta las acciones sísmicas en el diseño en construcciones de

especial importancia, como esta, cuando la aceleración sísmica básica se igual o superior a 0,04 g.

La figura mostrada corresponde a la densidad de impacto de rayos. Se puede observar que en la zona de Vizcaya el número de impactos de rayos cada año es de 5/km². Este dato es importante para el dimensionamiento de las autoválvulas.

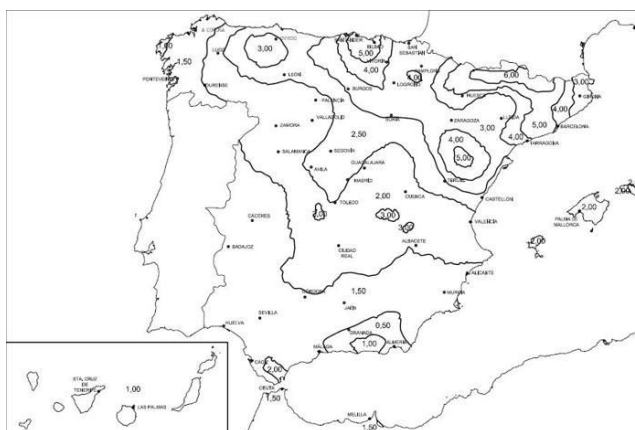


Figura 3. Densidad de impacto de rayos.

2.3. Magnitudes eléctricas

De acuerdo con la ITC-RAT 04 la subestación se clasifica como de categoría especial, pues la tensión nominal es igual o superior a 220 kV.

La tensión nominal de subestación es de 400 kV, por tanto la tensión más elevada de la red conectada a la subestación atendiendo a la instrucción técnica mencionada es de 420 kV. No obstante, las características del sistema eléctrico peninsular dan lugar a tensiones más elevadas de 435 kV, aunque se supondrá que este nivel de tensión no será continuo, sino transitorio. Así, 420 kV será la más elevada en funcionamiento continuo que pueda experimentar el material de la subestación, por lo que toda la aparamenta deberá estar diseñada para soportar tensiones iguales o superiores a este valor.

En la siguiente tabla se resumen las principales características eléctricas de la subestación.

Tensión nominal	400 kV
Tensión más elevada para el material	420 kV
Frecuencia	50 Hz
Intensidad de cortocircuito monofásica	15 kA
Intensidad de cortocircuito trifásica	16 kA

Tabla 1. Características eléctricas.

3. Descripción de la subestación

3.1. Configuración

La relevancia de la subestación objeto del presente proyecto, ocasiona que a la hora de elegir la configuración del embarrado sea imprescindible atender a conceptos como fiabilidad, flexibilidad de funcionamiento, seguridad y capacidad de ampliación.

En cuanto a fiabilidad y flexibilidad de operación, aquellas disposiciones cuyo cambio de configuración se consigue con maniobras de interruptores tienen grandes ventajas sobre aquellas en las que se realizan a través de maniobras de seccionadores. Desde este punto de vista las disposiciones más adecuadas son por un lado la de doble barra y doble interruptor y por otro lado la de interruptor y medio. Sin embargo, la configuración de doble barra y doble interruptor es únicamente empleada en centrales nucleares.

Así, la configuración elegida para la subestación es de interruptor y medio. Esta configuración dispone de dos juegos de barras y de tres interruptores por cada calle. Su coste es mayor que el de la mayoría de disposiciones. A cambio, es superior en flexibilidad, regularidad y seguridad. Adicionalmente, esta disposición facilita futuras ampliaciones.

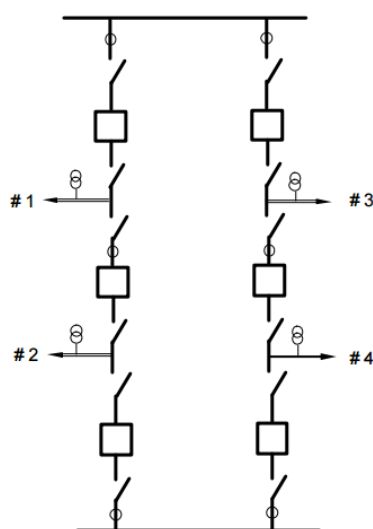


Figura 4. Esquema típico unifilar interruptor y medio.

Con este esquema, cualquiera de las dos barras puede quedar fuera de servicio en cualquier momento sin interrumpir el servicio. Si falla el interruptor central quedará otro circuito fuera de servicio, pero no se producirá la pérdida adicional de un circuito si el disparo de una línea incluye el fallo de un interruptor de barra.

3.2. Tecnología

La tecnología de la subestación será de aislamiento en aire (AIS) de tipo intemperie. Los motivos de esta elección son:

- Las condiciones ambientales son favorables para la instalación y funcionamiento de la subestación de intemperie.

- Al no tratarse de un área densamente poblada, sino más bien una zona rural, la solución de aislamiento en aire es la más apropiada al reducir costes frente a una subestación GIS.
- El impacto visual no es relevante en la ubicación de la subestación.

3.3. Disposición de las posiciones

Como se ha explicado, la configuración escogida es la de interruptor y medio, y está prevista para tres calles.

En total, son necesarias seis posiciones en la subestación. Cuatro posiciones de línea, de las cuales dos posiciones son de reserva ante una futura ampliación, y dos posiciones para los transformadores a la estación convertora.

La capacidad de transporte de las líneas es 2x1800 MW. Cada banco de transformadores estará compuesto por tres transformadores monofásicos de potencia 350 MVA, y se dispondrá de una reserva fría por si alguna de las máquinas tiene una avería.

El uso asignado a cada calle es el mostrado:

- Calle 1:
 - Posición transformador TP-1
 - Posición transformador TP-2
- Calle 2:
 - Posición línea AC 21
 - Posición línea AC 22
- Calle 3:
 - Posición futura línea 13
 - Posición futura línea 23

Estarán instalados los siguientes equipos:

CALLE 1		
Aparamenta	Unidades	Denominación
Transformador	Dos bancos de tres transformadores monofásicos	TP-1; TP-2
Interruptor de potencia	Tres juegos trifásicos	520-1 521-1; 522-1
Seccionador pantógrafo	Dos juegos trifásicos	89B1-1; 89B2-1
Seccionador de columnas giratorias	Cuatro juegos trifásicos	8901-1; 8902-1 8910-1; 8920-1
Seccionador de columnas giratorias con puesta a tierra	Dos juegos trifásicos	893-1/573-1 894-1/574-1
Transformador de intensidad	Quince unidades	TI01-1; TI3-1; TI4-1 TI10-1; TI20-1
Transformador de tensión capacitivo	Seis unidades	TC3-1; TC4-1
Transformador de tensión inductivo	Seis unidades	TT3-1 ; TT4-1
Autoválvula	Seis unidades	PY3-1; PY4-1

Tabla 2. Aparamenta calle 1.

CALLE 2		
Aparamenta	Unidades	Denominación
Interruptor de potencia	Tres juegos trifásicos	520-2 521-2; 522-2
Seccionador pantógrafo	Dos juegos trifásicos	89B1-2; 89B2-2
Seccionador de columnas giratorias con puesta a tierra	Cuatro juegos trifásicos	8901-2; 8902-2 8910-2; 8920-2
Seccionador de puesta a tierra	Dos juegos trifásicos	893-2/573-2 894-2/574-2
Transformador de intensidad	Nueve unidades	TI01-2; TI10-2; TI20-2
Transformador de tensión capacitivo	Seis unidades	TC3-2; TC4-2
Autoválvula	Seis unidades	PY3-2; PY4-2

Tabla 3. Aparamenta calle 2.

BARRA 1		
Aparamenta	Unidades	Denominación
Transformador de tensión capacitivo	Una unidad	TCB1

Tabla 4. Aparamenta barra 1.

BARRA 2		
Aparamenta	Unidades	Denominación
Transformador de tensión capacitivo	Una unidad	TCB2

Tabla 5. Aparamenta barra 2.

4. Aislamiento

4.1. Coordinación de aislamiento

La coordinación de aislamiento tiene como objetivo la selección de los niveles de aislamiento de los distintos equipos de la subestación, en función de las sobretensiones que pueden aparecer en la red en la cual se encuentran instalados, los medios de protección que se pueden instalar y las condiciones ambientales de la zona, aceptando una probabilidad de fallo.

Las sobretensiones que se presentan en los sistemas eléctricos son habitualmente de tres tipos distintos: por descargas atmosféricas, por maniobra de interruptores y a la frecuencia del sistema. De los tipos de sobretensiones mencionados, la que ocurre con mayor frecuencia y produce efectos más severos en la mayoría de instalaciones es la debida a la descarga de rayos. Se han estudiado las sobretensiones tipo maniobra y las sobretensiones tipo rayo.

Los niveles de aislamiento que debe cumplir toda la aparamenta de la subestación se detalla en la siguiente tabla, donde U_w es la tensión normalizada de aislamiento, U_m es la tensión más elevada del material.

AISLAMIENTO			
Sobretensiones tipo maniobra		Sobretensiones tipo rayo	
		Fase-fase	Fase-tierra
U_w	Fase-tierra	1425 kV	1425 kV
U_m	420 kV		

Tabla 6. Tensiones normalizadas.

En el documento de cálculos se justifican las elecciones de cada nivel de aislamiento de acuerdo a lo especificado en la ITC-RAT-12.

4.2. Distancias

Las distancias mínimas se han calculado y justificado en el documento de Cálculos y se pueden resumir en las siguientes tablas.

- Conductores:

Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra	conductor/estructura	2.6 m
	punta/estructura	3.4 m
Distancia mínima de aislamiento entre fases	conductor/estructura	3.6 m
	punta/estructura	4.2 m

Tabla 7. Distancia mínima de aislamiento en aire.

- Pasillos de servicio:

Altura mínima sobre el suelo de los elementos en tensión		5.1 m
Distancia mínima entre elementos en tensión y punto más alto de aparatos		2.7 m
Anchura mínima de pasillos de maniobra con elementos en tensión	A un lado	1 m
	A ambos lados	1.2 m
Anchura mínima de pasillos de inspección con elementos en tensión	A un lado	0.8 m
	A ambos lados	1 m

Tabla 8. Distancia mínima en pasillos de servicio.

- Zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto:

Distancia mínima de elementos en tensión	A paredes macizas de $H \geq 1.8$ m	2.63 m
	A enrejados de $H \geq 1.8$ m	2.7 m
	A cierres de $H \geq 1$ m	2.9 m

Tabla 9. Distancia mínima contra contactos accidentales en el interior.

- Zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto:

Distancia mínima de elementos en tensión al cierre	Pared maciza de $H < 5.1$ m	3.6 m
	Pared maciza de $H \geq 5.1$ m	2.63 m
	Enrejado de $H \geq 2.2$ m	4.1 m

Tabla 10. Distancia mínima contra contactos accidentales desde el interior.

Las distancias finales serán superiores a las mínimas mostradas, para mayor seguridad. Las distancias escogidas para la subestación son:

Entre fases	5 m
Anchura de calle	20 m
Altura de embarrado secundario	7.5 m
Altura de embarrado primario	13.5 m
Altura de tendidos altos	20.5 m
Anchura de vial principal longitudinal	4 m
Anchura de vial secundario transversal	3 m

Tabla 11. Distancias finales en la subestación.

5. Embarrados

Coexistirán en la subestación tres tipos distintos de embarrado. Todos ellos tienen una capacidad de corriente superior a la establecida en el documento de Cálculos. Los tipos de embarrado son:

- Tendidos altos compuestos por conductores flexibles.
- Embarrado principal compuesto por tubo de aluminio.
- Embarrado secundario compuesto por tubo de aluminio.

5.1. Tendidos altos

Los embarrados de tendido alto consistirán en conductores flexibles de aluminio desnudo con alma de acero (ACSR). El amarre de conexión de los tendidos consistirá en cadenas de aisladores.

Las particularidades del conductor elegido se detallan en la siguiente tabla.

Formación	Dúplex
Tipo	Bluebird
Sección total	1181 mm ²
Sección aluminio	1092 mm ²
Relación alambres	84/19
Diámetro de cada hilo de aluminio	4.07 mm
Diámetro de cada hilo de acero	2.44 mm
Diámetro núcleo de acero	12.2 mm
Diámetro exterior	44.8 mm
Masa nominal total	3739 kg/km
Esfuerzo mínimo de cada hilo de acero al 1% de extensión	1275 MPa
Carga de rotura	262.4 kN
Resistencia nominal a 20 °C	0.027 Ω/km
Capacidad de corriente (por conductor)	1634 A (85 °C)

Tabla 12. Características conductor.

5.2. Embarrado principal

El embarrado principal unirá los tendidos altos con las distintas posiciones. Será de tipo rígido, constituido por tubo de aleación de aluminio. En el interior de los tubos se introducirá un cable amortiguador del mismo tipo que el empleado para los tendidos altos (ACSR Bluebird).

Las características del embarrado principal se detallan a continuación.

Material	Aleación de aluminio 6063-T6 (AlMg0.5Si)
Resistividad eléctrica	$3.32 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$
Módulo de elasticidad	68900 N/mm ²
Carga de rotura	214 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	23.4 $\mu m/m^{\circ}C$
Dimensiones (ϕ_{ext}/ϕ_{int})	250/228 mm
Sección	8259 mm ²
Peso	22.3 Kg/m
Intensidad admisible (80°C)	6930 A
Vano admisible	24 m
Momento de inercia	5090.71 cm ⁴
Momento resistente	370.38 cm ³

Tabla 13. Características tubo principal.

5.3. Embarrado secundario

El embarrado secundario unirá los embarrados principales con la aparamenta de la subestación. Será de tipo rígido, constituido por tubo de aleación de aluminio. En el interior de los tubos se introducirá un cable amortiguador del mismo tipo que el empleado para los tendidos altos (ACSR Bluebird).

Las características del embarrado secundario se detallan a continuación.

Material	Aleación de aluminio 6063-T6 (AlMg0.5Si)
Resistividad eléctrica	$3.32 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$
Módulo de elasticidad	68900 N/mm ²
Carga de rotura	214 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	23.4 $\mu m/m^{\circ}C$
Dimensiones (ϕ_{ext}/ϕ_{int})	200/184 mm
Sección	4825 mm ²
Peso	13 Kg/m
Intensidad admisible (80°C)	5150 A
Vano admisible	24 m
Momento de inercia	2227.44 cm ⁴
Momento resistente	173.81 cm ³

Tabla 14. Características tubo secundario.

6. Aparamenta

6.1. Transformadores para alta tensión en continuo

Los transformadores de la subestación constituyen el principal elemento diferencial con respecto a subestaciones convencionales de corriente alterna. La función principal de estos transformadores es convertir la tensión nominal de la subestación a la tensión del enlace en corriente continua.

La tecnología de conversión de la futura estación convertidora se supondrá LCC, empleando rectificadores de doce pulsos.

El diseño de los transformadores de la subestación se ha realizado conforme a las normas indicadas en la ITC-RAT 02 sobre transformadores de potencia (UNE-EN 60076-1 Y UNE-EN 60076-3). Asimismo, se han empleado para el diseño otras normas como IEC 61378-1, IEC 61378-2, IEC 61378-3 y IEC 62199, todas ellas sobre transformadores para alta tensión en continuo.

Se encargará a la empresa Siemens la construcción de los transformadores de la subestación, que serán monofásicos de 350 MVA cada uno. Cada transformador dispondrá de tres devanados, con dos secundarios desfasados 150° eléctricos, uno en estrella y el otro en triángulo. El motivo de la elección de unidades monofásicas se justifica con el hecho de que presentan menos inconvenientes en cuanto al transporte y disponibilidad se refiere, ya que se puede contar con unidades de reserva que en caso de una contingencia pueden ser reemplazadas inmediatamente.

Se instalarán un total de siete transformadores, seis de ellos compondrán los bancos de transformación trifásicos y el restante será una reserva fría por si alguna de las otras seis máquinas tiene una avería.

Cada transformador estará equipado con cambiador de tomas en carga, para adecuar el nivel de tensión de alimentación del convertidor al nivel de carga en cada momento.

Las disposiciones de los devanados para las conexiones estrella y triángulo están configuradas cada una para un núcleo con dos columnas principales. Los devanados serán de cobre electrolítico, libre de impurezas, y de forma rectangular para mayor eficiencia en el aprovechamiento del espacio.

Los bushings (bujes) serán de composite pues proporcionan una mayor protección contra el polvo y residuos. La línea de fuga empleada será de 40 mm/kV, para mayor seguridad.

En la siguiente figura se muestra la conexión de los transformadores con el puente de rectificadores de doce pulsos.

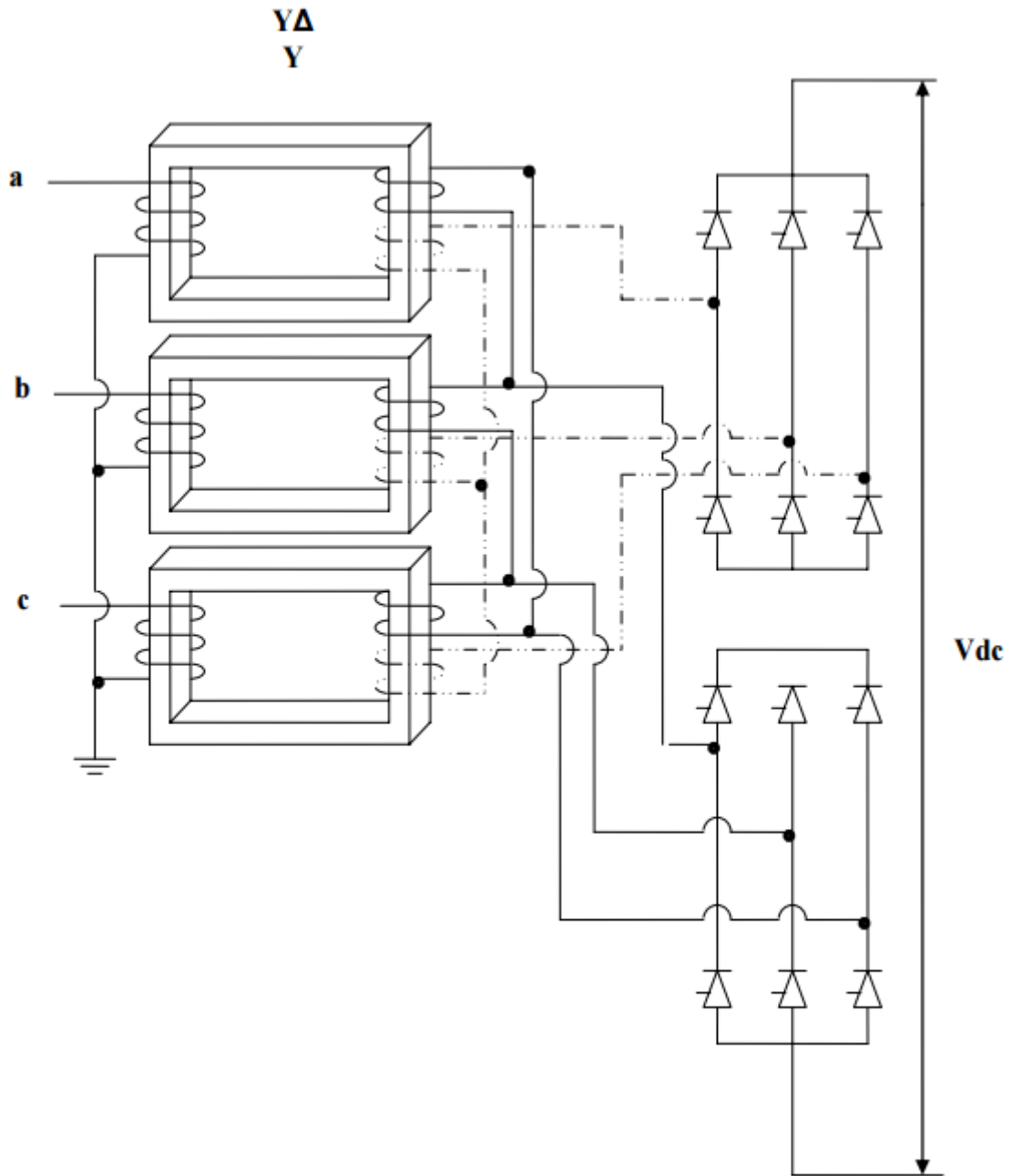


Figura 5. Conexión del transformador con el puente de rectificadores.

Las principales características eléctricas del transformador monofásico se detallan a continuación.

Potencia asignada	Arrollamiento primario	350 MVA
	Arrollamientos secundarios	175 MVA
Frecuencia nominal		50 Hz
Grupo de conexión	Primario	YNy0
	Secundario	YNd5
Tensión asignada en vacío	Arrollamiento primario	400 kV
	Arrollamientos secundarios	$333 \pm 10 \times 5$ kV
Tipo de refrigeración		ODAF
Tiempo a plena potencia sin refrigeración		10 min
Potencia en servicio continuo con la refrigeración al 50 %		290 MW

Tabla 15. Características principales del transformador.

Las características del transformador referidas al aislamiento son:

Intensidad de cortocircuito monofásica admisible	Arrollamiento primario	63 kA
	Arrollamientos secundarios	63 kA
Intensidad de cresta	Arrollamiento primario	138 kA
	Arrollamientos secundarios	138 kA
Sobretensión a frecuencia industrial	Arrollamiento primario	630 kV
	Arrollamientos secundarios	630 kV
Sobretensión tipo rayo	Arrollamiento primario	1425 kV
	Arrollamientos secundarios	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	Arrollamiento primario	1050 kV
	Arrollamientos secundarios	1050 kV

Tabla 16. Nivel de aislamiento del transformador.

6.2. Interruptores

Se instalarán un total de seis interruptores trifásicos de potencia en la subestación, tres juegos trifásicos por cada calle. Los interruptores seleccionados cumplirán con la norma UNE-EN 62271-104:2010.

Dado el nivel de tensión de la subestación, la técnica de ruptura será en hexafluoruro de azufre (SF_6), pues se trata del mejor gas agente extintor y aislante conocido, prácticamente no requiere de mantenimiento y posibilita una mayor vida útil del interruptor.

El interruptor elegido dispondrá de dos cámaras de extinción por polo. El método de accionamiento será por acumulador de resortes dado que la máxima potencia de cortocircuito esperada no es suficientemente elevada como para emplear accionamiento hidráulico. Serán de mando unipolar con un bastidor por polo.

Los interruptores trifásicos maniobrarán de forma sincronizada, no cerrando los tres al mismo tiempo, sino cerrando cada uno en el paso por cero de la corriente.

El interruptor escogido será de la marca SIEMENS, el modelo 3AP2 FI, o en su defecto un interruptor que cumpla con las especificaciones mencionadas. Será necesario realizar labores de mantenimiento del interruptor tras 25 años de funcionamiento.

Las principales características del interruptor son las siguientes:

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	610 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Corriente nominal máxima	5 kA
Corriente de cortocircuito máxima	63 kA
Rango de temperatura	-55 °C a +55 °C
Ciclo nominal de operación	O-0.3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO
Tiempo de ruptura	Dos ciclos
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 17. Características interruptor.

6.3. Seccionadores

Con motivo de aislar tramos de circuito de manera visible, para asegurar la protección necesaria cuando se realicen trabajos de mantenimiento, la subestación incluirá un total de dieciséis juegos trifásicos de seccionadores, ocho por cada calle. Todos ellos cumplirán la norma UNE-EN 62271-102:2005.

Existirán distintos tipos de seccionadores según los tramos que se deseen aislar. Los tipos de seccionadores empleados son:

- Seccionadores pantógrafo
- Seccionadores de tres columnas giratorias
- Seccionadores de tres columnas giratorias con puesta a tierra.

- **Seccionadores pantógrafo**

Los seccionadores de tipo pantógrafo realizarán la conexión entre las barras principales y secundarias, permitiendo unir dichas barras ahorrando espacio.

Se instalarán cuatro juegos trifásicos, dos por calle, y serán de mando unipolar motorizado. En el esquema unifilar aparecen representados como los seccionadores "89B".

El modelo escogido es el 3DN3 de SIEMENS, con accionamiento del motor 3DV8. Será necesario realizar labores de mantenimiento del seccionador tras 25 años de funcionamiento. Sus características son:

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	610 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Corriente nominal máxima	4 kA
Corriente de cortocircuito máxima	63 kA
Rango de temperatura	-55 °C a +55 °C
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 18. Características seccionador pantógrafo.

- **Seccionadores de tres columnas giratorias**

Los seccionadores de tres columnas giratorias se emplearán como seccionadores de calle. Estos seccionadores tendrán la función de aislar los tramos de circuito en los que esté presente un interruptor.

Se instalarán ocho juegos trifásicos, cuatro por calle, y serán de mando unipolar motorizado. En el esquema unifilar aparecen representados como los seccionadores “8920”, “8902”, “8901” y “8910”.

El modelo escogido es el 3DN2 de SIEMENS, con accionamiento del motor 3DV8. Será necesario realizar labores de mantenimiento del seccionador tras 25 años de funcionamiento. Sus características son:

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	610 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Corriente nominal máxima	4 kA
Corriente de cortocircuito máxima	63 kA
Rango de temperatura	-55 °C a +55 °C
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 19. Características seccionador de columnas.

- **Seccionadores de tres columnas giratorias con puesta a tierra**

Los seccionadores de tres columnas giratorias con cuchillas de puesta a tierra se emplearán como seccionadores de salida. Estos seccionadores tendrán la función de aislar los tramos correspondientes a las líneas o transformadores.

Se instalarán cuatro juegos trifásicos, dos por calle, y serán de mando unipolar motorizado. Para impedir falsas maniobras las cuchillas de puesta a tierra estarán enclavadas mecánicamente con las cuchillas principales. En el esquema unifilar aparecen representados como los seccionadores “893” y “894”.

El modelo escogido es el 3DN2 3ND0 de SIEMENS, con accionamiento del motor 3DV8. Será necesario realizar labores de mantenimiento del seccionador tras 25 años de funcionamiento. Sus características son:

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	610 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Corriente nominal máxima	4 kA
Corriente de cortocircuito máxima	63 kA
Rango de temperatura	-55 °C a +55 °C
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 20. Características seccionador de columnas con puesta a tierra.

6.4. Transformadores de intensidad

Se instalarán un total de veinticuatro transformadores de intensidad monofásicos. Los transformadores de intensidad de la subestación cumplirán con la norma UNE-EN 6044-1.

La necesidad de contar con estos aparatos en la subestación se debe a que reducen la magnitud de la corriente a valores más manejables, de tal forma que permiten el funcionamiento de los equipos de protección y medida.

En el Reglamento Unificado de Puntos de Medida del Sistema Eléctrico Español clasifica los puntos de medida para facturación oficial de la subestación como tipo 1, pues la energía intercambiada anual se espera que sea igual o superior a 5 GWh. De esta manera, el devanado de medida para facturación oficial de los transformadores de intensidad tendrá una clase de precisión de 0.2 S. Los devanados de protección tendrán una clase de precisión 5P20. La potencia de precisión del

devanado de medida será de 20 VA, mientras que será 50 VA para el devanado de protección.

Se utilizarán transformadores de intensidad CG-420 de la marca Arteche. Estos transformadores de intensidad están aislados en gas y sus principales características se encuentran detalladas en la siguiente tabla.

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	630 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Intensidad primaria	5 kA
Intensidad secundaria	5 A
Línea de fuga	13020 mm
Rango de temperatura	-45 °C a +55 °C
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 21. Características transformador de intensidad.

6.5. Transformadores de tensión capacitivos

La subestación contará con catorce transformadores de tensión capacitivos monofásicos, seis por calle y uno en la fase 4 de cada barra. Los transformadores de tensión capacitivos de la subestación cumplirán con la norma UNE-EN 6044-5 y UNE-EN 6189-5.

La función de estos aparatos es transformar la tensión a valores muy inferiores al nominal que puedan ser soportados por los aparatos de medida y los relés de protección, así como evitar la presencia de elevadas tensiones en los equipos al alcance de trabajadores.

Se usará este tipo de transformadores de tensión para medidas meramente informativas y para protección. El arrollamiento primario estará conectado entre fase y tierra. La clase de precisión de los devanados será 0.2/3P. La potencia de precisión de los devanados de medida y protección será de 250 VA.

Se utilizarán transformadores de tensión capacitivos DFK-420 de la marca Arteche. Estos transformadores de tensión capacitivos presentan aislamiento en papel-aceite y sus principales características se encuentran detalladas en la siguiente tabla.

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	630 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Capacidad estándar	3500 pF
Alta capacidad	7700 pF
Tensión primaria nominal	$396/\sqrt{3}$ kV
Tensión nominal secundaria	$110/\sqrt{3}$ - $110/\sqrt{3}$ V
Línea de fuga	10050 mm
Rango de temperatura	-55 °C a +55 °C
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 22. Características transformador de tensión capacitivo.

6.6. Transformadores de tensión inductivos

Se instalarán un total de seis transformadores de tensión inductivos monofásicos. Los transformadores de tensión inductivos de la subestación cumplirán con la norma UNE-EN 6044-2 y UNE-EN 6189-3.

La función de estos aparatos es transformar la tensión a valores muy inferiores al nominal que puedan ser soportados por los aparatos de medida para facturación oficial.

Como se especifica en el Reglamento Unificado de Puntos de Medida del Sistema Eléctrico Español, la clase de precisión ha de ser como máximo 0.2. Así, la clase de precisión de los transformadores de tensión inductivos será 0.2/3P y la potencia de precisión 100 VA.

Se utilizarán transformadores de tensión inductivos UG-420 de la marca Arteche. Estos transformadores de tensión inductivos presentan aislamiento en gas y sus principales características se encuentran detalladas en la siguiente tabla.

Tensión nominal	420 kV
Sobretensión a frecuencia industrial	630 kV
Sobretensión tipo rayo	1425 kV
Sobretensión tipo maniobra	1050 kV
Tensión primaria nominal	$396/\sqrt{3}$ kV
Tensión nominal secundaria	$110/\sqrt{3}$ V
Línea de fuga	13020 mm
Rango de temperatura	-55 °C a +55 °C
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 23. Características transformador de tensión inductivo.

6.7. Autoválvulas

La subestación dispondrá de un total de doce autoválvulas, una por fase por cada línea o transformador. Serán de óxido metálico, cumpliendo con la norma UNE-EN 60099-4 como viene indicado en la ITC-RAT 02.

Se instalarán con el objetivo de absorber las sobretensiones producidas por descargas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que, en otras condiciones, se descargarían sobre aisladores o perforando el aislamiento provocando daños en los transformadores o líneas.

En el documento de Cálculos, capítulo 6, se detallan los cálculos justificativos para la elección de las autoválvulas.

El modelo elegido corresponde a la autoválvula de la marca SIEMENS, en concreto el modelo 3EL2-336-6LJ43-4DF3. Esta autoválvula presenta las siguientes características.

Tensión de funcionamiento continuo	$U_c = 269 \text{ kV}$
Tensión nominal	$U_r = 336 \text{ kV}$
Tensión residual	$U_p = 887 \text{ kV}$
Corriente nominal de descarga	20 kA
Clase de descarga	4
Línea de fuga	$L_{fuga} = 11460 \text{ mm}$

Tabla 24. Características autoválvula.

6.8. Aisladores

En cuanto a los aisladores, estos serán de la marca ABB, modelo GOE 1550-1050, o similar. Se trata de aisladores de soporte exterior con herrajes internos. Las características mecánicas de estos aisladores son:

Línea de fuga mínima	8400 mm
Altura del aislador montado	3225 mm
Diámetro parte aislante	660 mm
Carga de rotura a flexión	16000 N
Carga de rotura a torsión	6000 N
Longitud pieza de conexión	394 mm

Tabla 25. Características aisladores.

7. Instalaciones de puesta a tierra

Las instalaciones de puesta a tierra cumplen funciones principalmente de seguridad, pero también de fiabilidad. Protegen al personal y equipo contra contactos peligrosos, proporcionan un camino a tierra para las intensidades originadas por descargas atmosféricas y facilitan el despeje de faltas a tierra a los elementos de protección.

Tal y como se indica en la ITC-RAT 13, han de ponerse a tierra las partes metálicas de la subestación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones. Se pondrán a tierra:

- Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos.
- Las puertas metálicas de los locales.
- Las vallas y cercas metálicas.
- Las columnas, soportes, pórticos, etc.
- Las tuberías y conductos metálicos.
- Las carcasas de transformadores.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.
- La pantalla de separación de los circuitos primario y secundario de los transformadores de medida o protección.
- Los neutros de los transformadores.
- Las autoválvulas.

Los conductores de las líneas de puesta a tierra se instalarán procurando que su recorrido sea lo más corto posible, evitando trazados tortuosos y curvas de poco radio. Se tratarán de conductores desnudos instalados al exterior de forma visible.

7.1. Red de tierras inferiores

La red de tierras inferiores constituye una parte fundamental dentro de la seguridad de la subestación. Protege al personal y a cualquier persona que pueda quedar sometida a las tensiones de paso y contacto.

El diseño de la red de tierras se ha realizado convenientemente en el documento de cálculos justificando paso a paso el diseño final.

El sistema empleado es un mallado de conductores desnudos de cobre de 95 mm² formando retículas lo más uniforme posibles de 10 m, unidas entre sí mediante soldaduras aluminotérmicas en cruz.

El mallado cubrirá en total una superficie de 30,000 m² (200 x 150 m), correspondientes al terreno de la subestación y cubriendo además 1.5 m a cada lado del perímetro. La longitud total de conductor es de 6,350 m.

7.2. Red de tierras superiores

El cometido de la red de tierras superiores de esta subestación es proteger a los equipos frente a descargas atmosféricas directas.

El método de protección consiste en el apantallamiento de equipos y embarrados. En el documento de cálculos se ha empleado un modelo electromagnético, siendo el radio crítico de cebado 53.49 m.

La red de tierras superiores estará formada por puntas Franklin de 3m sobre columnas y conductores Alumoweld tendidos entre las columnas de los pórticos. Las puntas Franklin y los conductores estarán unidos a la red de tierras inferiores para disipar en ella las descargas.

8. Obra civil

8.1. Vallado

Al tratarse de una subestación tipo intemperie es de obligado cumplimiento la construcción de un cerco de seguridad que impida la entrada de animales o personas ajenas a la subestación.

En la ITC-RAT 15 se establece una altura mínima de valla 2.2 m, medida desde el exterior. Aplicando un coeficiente de seguridad ($C_s=1.25$) se construirá una valla de 2.75 m.

El cierre perimetral estará constituido por postes metálicos de tubería de acero reforzado y galvanizado de 50 mm de diámetro y una malla metálica de simple torsión. Para impedir la escalada, la valla estará rematada en la parte superior por dos filas de alambre de espino galvanizado de 2 mm de diámetro, con una separación de púas de 15 cm.

Por último, la valla contará con señales de advertencia de peligro por alta tensión en cada una de sus orientaciones.

8.2. Accesos

Se construirá una puerta de 6.5 m de anchura para el acceso de vehículos, dotada de tren de rodadura para deslizamiento sobre canal de guía y con apertura y cierre automáticos.

Para el acceso del personal se construirá una puerta de 1 m de anchura, con apertura y cierre manual.

8.3. Movimiento de tierras

La subestación se encuentra sobre una superficie total de 67,768 m², en un terreno con cierto desnivel.

Inicialmente se llevarán a cabo tareas de desbroce y limpieza del terreno hasta una profundidad de 30 cm. De esta forma se eliminarán pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente. El desbroce y limpieza se realizará a través de medios mecánicos. Los materiales retirados serán cargados en camiones de 12 t y llevados a vertedero autorizado.

La plataforma se construirá a cota única por lo que será necesario llevar a cabo labores de excavación. En las zonas donde las tierras se sitúen por encima de la cota se realizará un desmonte, mientras que en las zonas en las que el terreno se encuentre por debajo de la cota elegida se realizará un terraplenado. Todo el material retirado deberá ser cargado en camiones de 12 t y conducidos a vertedero autorizado.

Será necesario excavar para realizar las cimentaciones. Para montar la red de tierras inferiores se excavará a una profundidad de 0.8 m. Igualmente, para el montaje del sistema de drenaje, se excavará una zanja a 2 m de profundidad.

8.4. Cimentaciones

Se realizarán cimentaciones de las estructuras soporte de la aparatenta y embarrados de la subestación y para soporte y anclaje de los transformadores.

Para cimentar las estructuras soporte de la subestación se van a emplear cimentaciones tipo zapata de hormigón en masa HM-30, cuya resistencia característica es 30 N/mm^2 . Para el anclaje de toda la estructura metálica de soporte de apartamento y embarrados se usarán pernos.

Para la cimentación de los transformadores se realizarán bancadas para su soporte y anclaje. Las bancadas serán de hormigón armado HA-30, cuya resistencia característica es 30 N/mm^2 . Cada bancada se cerrará con una capa de canto rodado sobre una rejilla metálica galvanizada.

8.5. Canalizaciones

Para aislar los tramos de cables de control y fuerza que llegan a cada equipo y a las casetas de relés se instalará una red de canales, realizada en hormigón armado HA-30.

Se construirán instalarán distintos tipos de canales prefabricados de la empresa Gilva. Estos canales son:

- Canal tipo A (2,000 x 420 x 470 mm).
- Canal tipo B (2,000 x 670 x 530 mm).
- Canal tipo BR (1,000 x 870 x 530 mm).

Los canales tipo A y B se emplearán para conexión con apartamento y casetas de relés, mientras que los canales tipo BR serán utilizados para el cruce de viales.

8.6. Drenajes

Con motivo de evacuar eficientemente las aguas procedentes de lluvias se instalará un sistema de drenaje en la subestación.

El sistema consistirá en el montaje de tubería enterrada de drenaje, de 315 mm de diámetro, con una pendiente mínima del 0,50%, de tubo ranurado de PVC de doble pared, la exterior corrugada y la interior lisa, con ranurado a lo largo de un arco de 220° en el valle del corrugado. La rigidez anular nominal es de 4 kN/m² y la longitud nominal 6 m. La unión se realizará por copa con junta elástica de EPDM, colocada sobre solera de hormigón en masa HM-20, de 10 cm de espesor.

9. Estructuras metálicas

Todas las estructuras metálicas definidas a continuación serán sometidas a un proceso de galvanizado en caliente, con el fin de asegurar una eficaz protección contra la corrosión. Estas estructuras se completarán con herrajes y tornillería auxiliares para fijación de cajas de centralización, sujeción de cables y otros elementos accesorios.

9.1. Estructuras metálicas de aparamenta

Con objeto de soportar los equipos y mantener la distancia establecida con el suelo se emplearán estructuras metálicas.

Estas estructuras serán de acero, de perfil tubular. El coste del material por unidad de longitud es más caro que para una estructura de alma llena, sin embargo destaca su superioridad con respecto a la resistencia y a la estabilidad.

La longitud de las estructuras tubulares será tal que la distancia al suelo de cualquier punto en tensión de la aparamenta sea 7.5 m, distancia superior a la mínima especificada en la ITC-RAT 15.

9.2. Pórticos de barra

Los pórticos de barra sujetan las barras principales de la subestación. La estructura elegida es de alma llena de acero, perfil HEB con uniones atornilladas. Se elige este tipo de estructura pues posee mejores propiedades mecánicas que la celosía y es más robusta.

La altura de estas estructuras será tal que las barras tubulares estén se encuentren a una distancia del suelo de 13.5 m, distancia superior a la mínima especificada en la ITC-RAT 15.

9.3. Pórticos de línea

Las líneas que entran en la subestación lo hacen desde su apoyo de fin de línea como indica el RLAT. No obstante, la altura del apoyo de fin de línea es demasiado elevada como para llevar los conductores hasta la apartamenta con la que debe conectar. Por este motivo, son necesarios pórticos de línea que sirven de enlace entre el apoyo de fin de línea y los equipos con los que debe conexionar.

Los pórticos de línea estarán constituidos por alma llena de acero, perfil HEB con uniones atornilladas. La altura de estos pórticos será tal que los conductores estén situados a una distancia del suelo de 20.5 m, distancia superior a la mínima especificada en la ITC-RAT 15.

10. Edificaciones

10.1. Edificio de Control

La subestación contará con un Edificio de Control de 25 x 15 m, formado por bloques huecos de hormigón, tanto los muros exteriores como interiores. El Edificio de Control estará constituido por las siguientes salas, además de un almacén:

- Sala de mando y control.
- Sala de comunicaciones.
- Sala de servicios auxiliares.
- Sala de aseos y vestuario para personal.

En este edificio se encontrarán los equipos correspondientes a las comunicaciones, unidad central de mando y monitores de control digital, cuadros de servicios auxiliares tanto de corriente alterna como continua, equipos de rectificadores cargadores de batería y centralitas de alarmas de los sistemas de seguridad y antiintrusismo.

La sala de mando y control, sala de comunicaciones y sala de servicios auxiliares dispondrán de un falso suelo para el paso de cables mientras que la solera del suelo de la sala de servicios auxiliares será pavimento de hormigón industrial..

El suministro de agua al edificio se realizará mediante una acometida a la red municipal. Las aguas residuales procedentes del Edificio de Control no serán evacuadas a través del sistema de drenaje, sino que se instalará un sistema de depuración para este fin. Dicho sistema estará formado por una arqueta de control de vertido, una fosa séptica y un pozo filtrante.

10.2. Casetas de relés

Se construirá dos casetas de relés, una por cada calle de la subestación, de 10 x 6 m. Serán de una planta, ejecutadas en fábrica de bloques de hormigón reforzados, con un murete perimetral de hormigón armado de 20 cm de espesor.

En las casetas de relés se ubicarán los bastidores de relés y los cuadros auxiliares tanto de corriente alterna como continua de la calle correspondiente, así como las protecciones diferenciales de barras.

Cada caseta dispondrá de una solera de hormigón al interior para el paso y distribución de los cables.

11. Sistemas secundarios

11.1. Protecciones

La subestación estará dotada de un sistema de protección ante las distintas anomalías o defectos que puedan surgir. Se cumplirán las instrucciones señaladas en la ITC-RAT 09 a la hora de diseñar el sistema de protección.

Las protecciones de la subestación identificarán y localizarán la falta, ejecutarán las actuaciones necesarias para despejarla (dejando fuera de servicio la menor parte posible) y proporcionarán información para el análisis del incidente.

Los relés electrónicos digitalizados son el elemento principal del sistema de protección y estarán ubicados en las casetas de relés de cada calle. También forman parte de las protecciones los transformadores de intensidad y tensión capacitivos así

como la fuente auxiliar de tensión y los sistemas de señalización, registro y oscilografía.

Los rasgos que debe cumplir el sistema de protección son:

- Sensibilidad: detectar pequeñas variaciones en la magnitud vigilada.
- Selectividad: discriminar cuando actuar, esperar o bloquearse.
- Rapidez: actuar en el menor tiempo posible.
- Fiabilidad: probabilidad de funcionamiento correcto.
- Robustez: soportar las condiciones de trabajo.
- Autonomía: independiente de otros elementos de la subestación.

A continuación se detallarán los relés a instalar para cada posición de barras, de transformador y de líneas.

- **Posición de barras**

Se instalarán dos protecciones diferenciales de barras (87B), una principal y otra de reserva, de la marca Siemens, modelo 7SS52. Este modelo consiste en una protección descentralizada con protección contra fallo de interruptor (50BF) que consta de una unidad de campo en cada posición. Estas se conectan mediante fibra óptica a la unidad central de control que gobierna sobre ellas.

También se incluirá un relé de sobrefrecuencia (81M) y un relé de subfrecuencia (81m) por cada barra, con el fin de asegurar la estabilidad de la frecuencia entre 49.85 Hz y 50.15 Hz.

- **Posición de línea**

Se instalarán una protección principal y una protección de respaldo o reserva para cada posición.

La protección principal consistirá en una protección de distancia (21) de característica cuadrangular. El modelo elegido es el 7SA522 de la marca Siemens. El paquete básico de la protección incluye:

- Supervisión direccional de potencia (32).
- Protección de tensión para secuencia de fase (47).
- Protección de sobreintensidad de tiempo definido de fase y de neutro (50 y 50N).
- Protección de sobreintensidad de tiempo inverso tanto de fase como de neutro (51 y 51N).
- Protección de factor de potencia (55).
- Protección de equilibrio de tensión (60).
- Protección de sobreintensidad direccional de fase (67).
- Reenganche automático (79).
- Teleprotección (85).
- Teledisparo.
- Transmisión digital de datos de protección al terminal opuesto mediante fibra óptica.

Además, al paquete básico se le incluirán las siguientes funciones:

- Protección de mínima tensión (27).
- Protección de sobretensión (59).

La protección de respaldo será una protección diferencial de línea (87L). Se instalará el modelo 7SD5 de la marca Siemens, que incluirá las mismas funciones que la protección principal.

- **Posición de transformador**

Para la posición de transformador la protección principal elegida es una protección diferencial compensada, que engloba tanto al transformador como al regulador de tensión del devanado secundario. El modelo elegido es el 7UT612 de la marca Siemens.

El paquete básico de la protección incluye:

- Protección de tensión para secuencia de fase (47).
- Protección de imagen térmica (49).
- Protección de sobreintensidad de tiempo definido de fase y de neutro (50 y 50N).
- Protección de sobreintensidad de tiempo inverso tanto de fase como de neutro (51 y 51N).
- Protección de factor de potencia (55).

La protección de respaldo será igual que la protección principal.

11.2. Sistemas de control

La subestación incluirá un sistema de control que informe del estado de todos los equipos, que permita maniobrar estos equipos y que avise de las faltas existentes. Para mayor seguridad, se tratará de un sistema redundante.

El sistema de control que se implantará es un sistema de adquisición y tratamiento de datos (SCADA). El SCADA es un software que permite la monitorización en tiempo real de la subestación con poder de interacción del operador a través de equipos HMI, y no de una simple lógica automática como en el caso del sistema de protección. El SCADA está conectado a los relés de protección para permitir la recepción de la información y también el envío de las órdenes.

11.3. Sistemas de telecomunicaciones

El sistema de control permite actuar sobre los equipos desde la sala de control de la subestación. Pero también es necesario una conexión a mayor distancia al sistema de control de la subestación. Por este motivo se instalará un sistema de telecomunicaciones que permita por un lado establecer la comunicación entre la subestación y las subestaciones interconectadas y por otro lado que permita el control remoto de la subestación desde un centro de mando.

El sistema de comunicación consistirá en enlaces por fibra óptica, por lo que será necesario llevar a cabo canalizaciones de fibra óptica entre los pórticos de salida de las líneas, las casetas de relés y la sala de comunicaciones del Edificio de Control.

Hacen falta equipos multiplexores en la subestación para la emisión y recepción de las señales. Estos equipos serán de tecnología SDH, en concreto se instalará el equipo multiplexor FOX515H STM-4 (622.080 Mbit/s) de la marca ABB.

11.4. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares de la subestación están destinados a la alimentación tanto de equipos como de edificios que requieran energía para su funcionamiento

en baja tensión. Se distingue entre servicios auxiliares de corriente alterna y servicios auxiliares de corriente continua.

- **Servicios auxiliares de corriente alterna**

La tensión de distribución de los servicios auxiliares de corriente alterna será 400/230 V c.a, con tres fases y neutro a tierra.

Los servicios auxiliares de corriente alterna alimentarán al cuadro general de corriente alterna situado en la sala de mando y control del Edificio de Control. La alimentación a los servicios auxiliares no se hará desde el devanado terciario de los transformadores monofásicos para alta tensión en continuo, pues este arrollamiento se aprovechará como compensación.

De esta manera se alimentará a los servicios auxiliares de corriente alterna desde una acometida de media tensión de uso exclusivo. Se instalará igualmente un grupo electrógeno como respuesta a los altos requerimientos en términos de seguridad y fiabilidad de la subestación.

- Acometida de media tensión

La acometida de media tensión será de 20 kV conectando con un centro de transformación, constituido por una celda de remonte, celda de ruptofusible, celda de medida y celda de transformador de 400 kVA, reduciendo la tensión a 400 V c.a.

- Grupo electrógeno

El grupo electrógeno suministrará la energía necesaria a la totalidad de las cargas esenciales durante un tiempo máximo de 10 h. La potencia de este grupo será de 350 kVA.

- **Servicios auxiliares de corriente continua**

Existirán dos sistemas de corriente continua, uno de 125 V c.c y otro de 48 V c.c. y sistema de telecomunicaciones.

- Sistema de 125 V cc

El sistema de 125 V c.c alimentará a los sistemas de control y protección, así como al sistema de fuerza. Estará constituido por dos equipos formados por dos rectificadores con una batería independiente de 125 V c.c trabajando en barras independientes.

- Sistema de 48 V cc

El sistema de 48 V c.c alimentará al sistema de telecomunicaciones. Estará constituido por dos equipos formados por dos rectificadores con una batería independiente de 48 V c.c trabajando en barras independientes.

11.5. Instalación de alumbrado y fuerza

Con la finalidad de efectuar las maniobras precisas en todo momento con un elevado nivel de seguridad, se instalará un sistema de alumbrado y fuerza en la

subestación. El alumbrado será tanto exterior para el patio de 400 kV, como interior para el Edificio de Control y casetas de relés.

El sistema de iluminación exterior estará constituido por lámparas de vapor de sodio de 400 W, con un nivel de iluminación de 60 luxes. La altura de montaje será 12 m y el sistema de encendido será electrónico por medio de una célula fotovoltaica.

El sistema de iluminación interior estará compuesto por lámparas fluorescentes de 35 W y nivel de iluminación de 300 lux para la sala de mando y control del Edificio de Control. Para el resto de salas y edificios se emplearán lámparas fluorescentes de 32 W y 100 lux. Para el perímetro del Edificio de Control se instalarán lámparas tipo bala de 25 W.

En la ITC-RAT 15 se establece que deberán disponerse los medios propios de alumbrado auxiliar que puedan servir como socorro en caso de faltar energía propia o procedente del exterior. La conmutación del alumbrado normal al de socorro se efectuará automáticamente.

11.6. Sistema de insonorización

Los transformadores monofásicos de potencia para alta tensión en continuo son de gran tamaño debido a la potencia nominal de cada uno de ellos (350 MVA). Pese a que el diseño de estos transformadores cuida el ruido emitido, se incluirá un sistema de insonorización para evitar que el ruido sobrepase los 50 dB, nivel de ruido algo menor al establecido en el Real Decreto 1367/2007 sobre emisiones acústicas.

El sistema de insonorización consistirá en la absorción acústica activa a través de un dispositivo que utilice un amplificador y altavoces, logrando reducir hasta 10 dB.

11.7. Sistema anti-intrusismo

La subestación estará dotada de un sistema para controlar y evitar la intrusión de personas ajenas a la subestación.

El sistema estará compuesto por detectores volumétricos por toda la instalación, detectores magnéticos de alta potencia que indiquen el estado de apertura o cierre de las puertas, instalaciones de vídeo-vigilancia y sistema de sirenas acústicas exteriores. Además, el acceso desde el exterior al Edificio de Control tendrá barra antipánico eléctrica para apertura automática con lector de tarjeta del sistema de control de accesos.

11.8. Sistema contra incendios

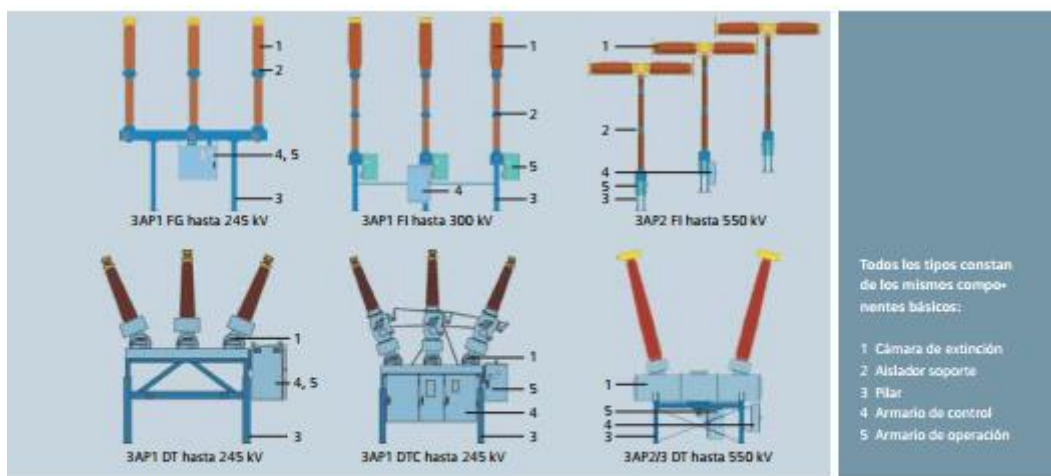
La subestación está constituida por el parque de 400 kV y las edificaciones descritas. Se diferenciará entre sistema pasivo y activo.

En cuanto al sistema pasivo, se dispondrá de muros cortafuegos en transformadores, cierre automático en ventilaciones forzadas y fosos colectores de recogida de aceite, con base cortafuegos.

En cuanto al sistema activo, se dispondrá de sistemas de detección automática tales como detectores ópticos de llama en transformadores y detectores de humo en los edificios. Así mismo, tanto el patio exterior como los edificios estarán dotados de extintores móviles.

12. Anejos

12.1. Interruptores



Diseño modular

Con pocos componentes básicos se ofrece una gran variedad de tipos

Los interruptores de potencia de alta tensión están diseñados con un concepto de plataforma modular para todos los tipos y niveles de tensión. Esto ofrece una gran variedad de tipos de interruptores de potencia y una flexibilidad elevada cumpliendo con los distintos requerimientos de nuestros clientes.

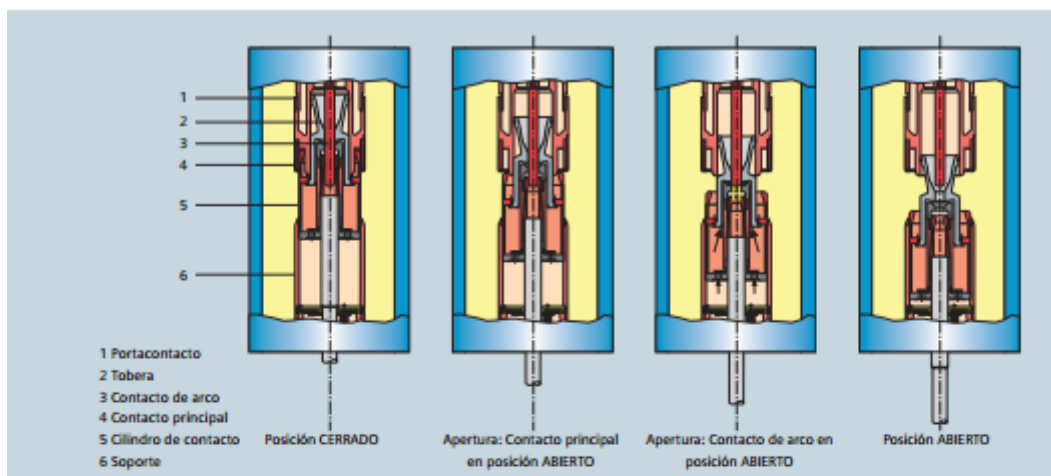
Los componentes principales como

- el accionamiento,
- el sistema de mando,
- el soporte base,
- la cadena cinemática y
- los diseños del aislador

son idénticos y se basan en la experiencia de producción y de servicio acumulada durante décadas. Nuestras subestaciones GIS también incluyen las mismas cámaras de extinción, accionamientos y elementos de control. Aplicando esta construcción modular probada, no solo en nuestra fábrica central en Alemania, sino también en nuestra red de fabricación global, cumplimos con las más altas expectativas en cuanto a disponibilidad y confiabilidad con precios especialmente competitivos.

Este principio modular también se refleja en la definición del tipo de nuestros interruptores de potencia de alta tensión.

3AP1 FG	Interruptor de potencia tripolar para uso en intemperie
3AP1 FG	Nombre de la serie de interruptores de potencia (F, Q, T, V)
3AP1 FG	Número de cámaras de extinción por polo
3AP1 FG	Accionamiento de resortes (F) / - electrohidráulico (E)
3AP1 FG	G: 1 accionamiento + 1 bastidor común E: 3 accionamientos + 1 bastidor común I: 3 accionamientos + 3 bastidores separados
3AP1 DT	DT: Tanque muerto DTC: Arreglo híbrido compacto DCB: Interruptor desconector



Principios de extinción

Toda nuestra familia completa 3AP hasta 800 kV y superior se basa en nuestros principios de extinción del arco, ya sea en el principio de autocompresión o en el principio dinámico de autocompresión, que permiten el aprovechamiento máximo de la energía térmica del arco eléctrico para su extinción. Siemens patentó este procedimiento para la extinción del arco en el año 1973 y, desde entonces, ha perfeccionado la tecnología de la cámara de extinción de autocompresión. En caso de que se produzcan desconexiones por cortocircuito se reduce la energía de accionamiento a la energía necesaria para el movimiento mecánico del contacto.

Principio de autocompresión

Nuestros interruptores de autoextinción 3AP garantizan una potencia de conmutación óptima en cualquier condición de servicio para las aplicaciones hasta 245 kV.

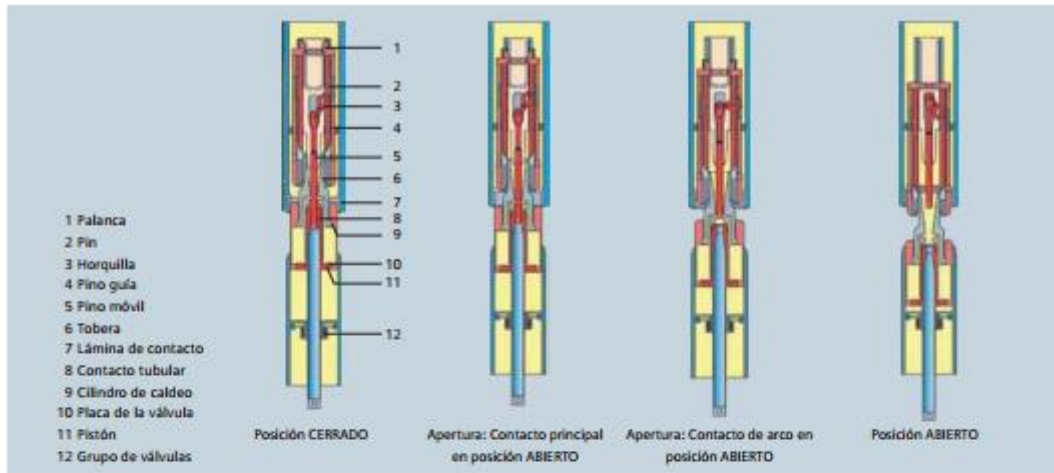
Modo de funcionamiento - El circuito principal
El circuito principal de corriente de cada polo está formado por el portacontactos (1), el cilindro de caldeo (5) y el soporte (6). En estado "cerrado", la corriente circula a través del contacto principal (4). Paralelo a éste se encuentra el contacto de arco (3).

El corte de corrientes de servicio

Durante la apertura primero se abre el contacto principal (4) y la corriente conmuta al contacto de arco aún cerrado. Después abre el contacto de arco (3) y se genera un arco eléctrico. Simultáneamente el cilindro de caldeo (6) se desplaza hacia el soporte (6) y comprime el gas SF₆ contenido ahí. Entonces el gas se desplaza en sentido contrario al movimiento del contacto móvil, fluye a través del cilindro de caldeo (6) hacia el contacto de arco (3) y extingue el arco.

El corte de corrientes de cortocircuito

Durante la interrupción de corrientes de cortocircuito de alta intensidad la energía del arco calienta considerablemente el gas SF₆ alrededor del contacto de arco. Consecuentemente aumenta la presión en el cilindro de caldeo y genera un flujo de gas a través de la tobera (2) que extingue el arco eléctrico. En este caso se aprovecha la energía del arco para interrumpir la corriente de cortocircuito. Esta energía no debe ser suministrada por el accionamiento.



Principio dinámico de autocompresión

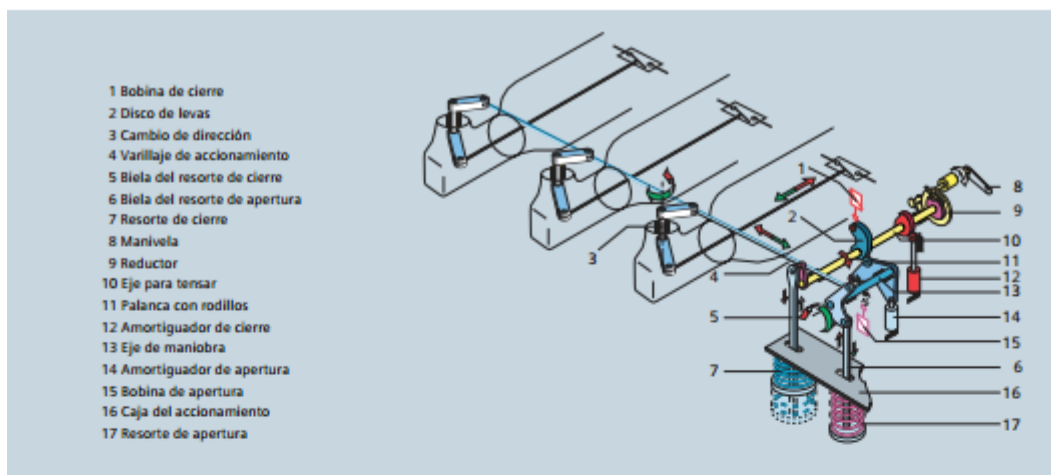
Nuestros interruptores de potencia 3AP a partir de 245 kV aplican el principio dinámico de autocompresión con contactos de arco móviles en dos direcciones.

Modo de funcionamiento

Durante la apertura, primero se abre el contacto principal formado por las láminas de contacto (7) y el cilindro de caldeo (9). La corriente conmuta al contacto de arco aún cerrado, que consiste del pino móvil (5) y el contacto tubular (8).

El pino móvil (5) es desplazado en dirección contraria al movimiento del contacto tubular (8) por la horquilla (3) y el pino guía (4) conectados al conjunto de cilindro de caldeo (9) y tobera (6). Asimismo, el electrodo es desplazado hacia el cilindro de caldeo (9). El contacto de arco se abre y se forma un arco eléctrico. Al mismo tiempo el movimiento del cilindro de caldeo (9) comprime el gas de extinción entre el pistón (11) y el grupo de válvulas (12). El gas de extinción fluye en dirección contraria al movimiento de los contactos móviles a través de la válvula de retención, el cilindro de caldeo y la tobera de extinción, y así provoca que se extinga el arco eléctrico.

En caso de corrientes de cortocircuito de alta intensidad, la energía del arco calienta al gas de extinción en la cámara de extinción alrededor del pino móvil (5). La presión elevada produce el flujo del gas hacia el cilindro de caldeo (9). Cuando la corriente pase por cero el gas refluye del cilindro de caldeo hacia la tobera y extingue el arco voltaico. Entretanto, la placa de la válvula (10) en el cilindro de caldeo (9) evita que la presión elevada penetre al espacio de compresión entre el pistón (11) y al grupo de válvulas (12).



Sistemas de accionamiento

Accionamiento por acumulador de resortes

El accionamiento es un elemento central de los interruptores de potencia de alta tensión. El principio de accionamiento de la familia de interruptores de potencia 3AP se basa en el principio patentado del acumulador de resortes. La utilización de un accionamiento de resortes para los niveles de tensión hasta 800 kV resultó posible en base al desarrollo de la cámara de extinción de autocompresión, que necesita una energía de accionamiento mínima. El accionamiento compacto de acumulador de resortes está ubicado en el armario de control.

Los tipos de accionamiento se diferencian por su cantidad y por los tamaños y la disposición de los resortes de apertura y cierre. Los resortes, tanto el de cierre como el de apertura están claramente visibles en una caja fundida resistente a la corrosión. Este diseño a su vez ha contribuido a reducir el número de piezas móviles.

La aplicación de rodamientos y engranaje exentos de mantenimiento aseguran por decenios un funcionamiento seguro y fiable. Además seguimos empleando sistemas de probada eficacia, como el de los trinquetes desacoplados contra vibraciones y el de desacoplamiento del engranaje para tensar sin tensiones mecánicas, que contribuyen a que el interruptor funcione durante décadas sin revisión.

Las ventajas del mecanismo de accionamiento por resorte:

- Principio idéntico para tensiones asignadas de 72,5 kV hasta 800 kV
- Alta confiabilidad gracias a la baja energía de accionamiento (10.000 ciclos de maniobras garantizados)
- Económico y larga vida útil gracias al diseño simple y resistente utilizando un número reducido de piezas
- Posición de maniobra visible en todo momento
- Resortes fácilmente accesibles, ya que no se encuentran alojados en compartimentos de SF₆
- Exento de mantenimiento durante 25 años o 6.000 ciclos de maniobras
- Alta compatibilidad con el medio ambiente, si se lo compara con sistemas de accionamiento anteriores



3AP1 FG 145 kV



3AP2 FI 420 kV

El interruptor de potencia de tanque vivo 3AP: el más vendido

Para aplicaciones de 72,5 kV a 800 kV

En comparación con los interruptores de potencia tipo tanque muerto, la cámara de extinción de los interruptores de potencia tipo tanque vivo no está puesta a tierra sino se encuentra bajo alta tensión, por lo que estos interruptores de potencia se denominan tipo tanque vivo (3AP).

La familia 3AP se puede suministrar para niveles de tensión de 72,5 kV a 800 kV. Los interruptores 3AP1 hasta 300 kV están equipados con una cámara por polo, y los 3AP2 hasta 550 kV incluyen dos cámaras de extinción. Los interruptores de potencia se pueden equipar opcionalmente con resistores de preinserción (3AP3) para las aplicaciones de 362 kV hasta 550 kV. El 3AP4 incluye 4 cámaras de interrupción por polo y si lo desea también se puede suministrar con resistores de preinserción (3AP5). Además, nuestros interruptores tanque vivo están equipados con un accionamiento tripolar y un bastidor común (FG), o con bastidor común y tres accionamientos monopolares (FE) o con un accionamiento monopolar y un bastidor por polo (FI).

De acuerdo con nuestro concepto modular todos los interruptores 3AP están equipados con nuestro mecanismo de accionamiento por resorte y nuestras cámaras de extinción de autocompresión.

Seguridad y disponibilidad en cualquier momento

Los interruptores 3AP maniobran de forma segura y resisten cargas mecánicas elevadas. Los aisladores de porcelana especialmente resistentes y su diseño optimizado, les otorgan una resistencia antisísmica muy alta durante el

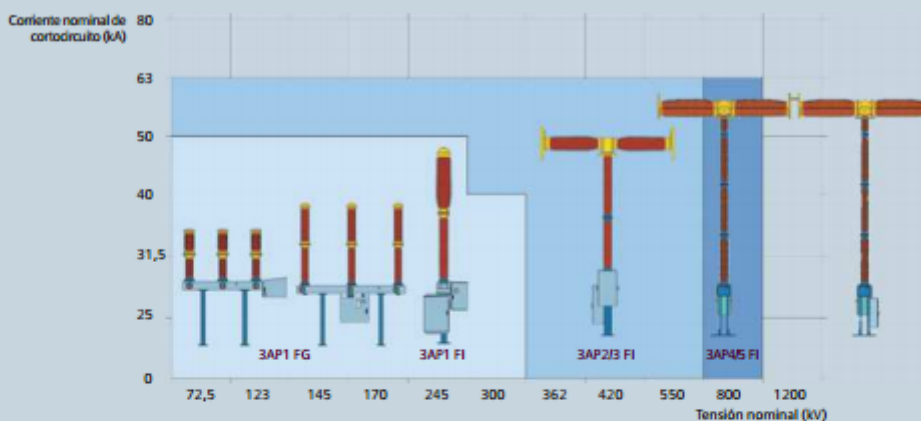


Polo de un 3AP4 FI 800 kV

funcionamiento, permitiendo así un alto rendimiento durante toda la vida útil.

Nuestra experiencia de casi 100 años en la tecnología de alta tensión se hace visible en el diseño y la producción del interruptor de potencia 3AP y crea tendencias internacionales respecto a productos atractivos a precios competitivos.

Características técnicas



Tipo	3AP1					3AP2/3		3AP4/5		
Tensión nominal	kV	72,5	123	145	170	245	300	420	550	800
Cantidad de cámaras de extinción por polo		1					2		4	
Tensión de prueba a frecuencia industrial, 1 min	kV	140	230	275	325	460	460	610	800	830
Tensión de prueba de impulso por rayo (1,2 x 50 µs)	kV	325	550	650	750	1050	1050	1425	1550	2100
Tensión de prueba de impulso de maniobra	kV	-					850	1050	1175	1425
Corriente nominal, hasta	A	2500	4000	4000	4000	4000	4000	5000	5000	5000
Corriente nominal de corta duración, hasta	kA _(ms)	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63
Corriente nominal de cortocircuito, hasta	kA	31,5	40	40	40	50	40	63	63	63
Rango de temperatura	°C	-55 a +55								
Ciclo nominal de operación		0-0,3 s-CO-3 min-CO o CO-15 s-CO								
Tiempo de ruptura		3 ciclos					2 ciclos			
Frecuencia	Hz	50 o 60								
Mantenimiento después de		25 años								

12.2. Seccionadores pantógrafo



Since the 1930s, Siemens has exported disconnectors and related components throughout the world. Based on the "genetic code" of the proven Siemens disconnectors, our portfolio has now been enhanced and harmonized to respond even better to varied customer needs and to make it easier for you to select the right product. All Siemens disconnectors are delivered pre-adjusted and are therefore easy to assemble on site. You will benefit from reduced set-up time and cost.



Pantograph
3DN3

Application and design of the disconnector

The pantograph disconnector 3DN3 is characterized by its typical scissor design: by using vertical instead of horizontal disconnection, the pantograph allows for diagonal arrangement and space-saving plant design. The scissors provide a highly flexible contact zone. The pantograph is applicable for both rigid and flexible busbar connections.

**Disconnectors
designed for your needs.**

Customer-specific solutions


The modular design of Siemens disconnectors ensures the availability of the right product for your requirements. The 3DN3 can be configured according to your technical specifications for voltage ranges from 123 kV up to 550 kV. Further customization is possible to meet your individual requirements. Various colors are available.

Proven quality that serves you a lifetime

The enhanced contact system of the 3DN3 is designed in a way that makes it maintenance-free and extremely reliable. The spherical contacts ensure high mechanical stability and safe operation even under severe environmental conditions and in seismic zones. Highly resistant flexible aluminum leads minimize the need for maintenance and replacement thanks to their optimized short-circuit and icing behavior. Of course, our pantograph disconnectors fulfill all requirements of international standards like IEC, GOST R and GB, and are proven in extensive type tests.

Long-term partnership

Siemens is not just a supplier for high voltage products, but a long-term, reliable partner. Decades of experience in the high voltage sector and our presence in more than 190 countries worldwide ensure our competence and global availability. Knowing your business, we can provide the best technical solutions for any special requirements and can support you in finding the ideal product type, configuration, and accessories.

	Design	Pantograph							
	Rated voltage [kV]	123	145	170	245	300	362	420	550
	Rated normal current up to [A]	2000 – 4000							
	Rated peak withstand current up to [kA]	164 / 200*							
	Rated short-time withstand current up to [kA-s]	63-3 / 80-1*							
	Ice coating class (optional) [mm]	10 / 20							
	Temperature range [°C]	-55 / +55							
	Operating mechanism type	Motor or manual operation							
	Control voltage	Different variants of motor drives are available. Detailed information can be found in the respective product flyers.							
	Motor voltage								
Maintenance period	25 years								

*for 420 kV

Technical structure

Thanks to its structure, the pantograph is the disconnector that leaves the smallest footprint. It has a high contact force and excellent ice-breaking and short-circuit behavior. The 3DN3 has an extremely long service life due to corrosion-free material such as hot-dip galvanized steel parts and weather-proof aluminum alloys. The self-interlocking end position ensures high mechanical stability and safe operation even in the event of external disturbances. Reduction of cast parts in the fixed contact system leads to reduced mechanical load on the supporting structure, compared to the previous design.

Main features:

- Highly reliable spherical contacts
- Easy set-up due to pre-adjusted delivery
- Maintenance-free
- Short-circuit currents up to 80 kA - 1s or 63 kA - 3s
- Bus transfer current switching capability of 1600 A (optional)
- Designed according to IEC 62271-102 standard
- Exceeding the IEC and meeting GOST R and GB

12.3. Seccionadores de columnas

Product Portfolio

Horizontal Double Break Disconnecter

Double Break Disconnecter can be installed in locations, which have minimal overhead clearance, as blades swing open to the side rather than lifting upwards. Double break disconnecters are normally supplied with earth or without earth switch based on the requirement and they can be either with mechanical gang or with electrical gang operation in order to ensure the smooth operation of all the three poles simultaneously. They are excellent for installations, which have large amount of fault current due to reverse loop contact design. The design of two breaks per phase in series provides much greater line charging or magnetizing current interrupting capability with standard arcing horns.

Special Features in our Double Break Isolators:

- Successfully type tested design meeting the requirements of IEC 62271-102.
- Successfully tested for short circuit level of 40kA, 50kA and 63kA.
- Confirming to mechanical endurance of class M2 as per IEC requirements.



Product Range & Technical Data

Horizontal Double Break Disconnecter							
Technical Particulars	Unit	Rated Values					
Rated voltage (kV)	[kV]	36	72.5	123	145	245	420
Rated frequency	[Hz]	50	50	50	50	50	50
Rated current	[A]	3150	3150	3150	3150	3150	3150*
Rated short circuit withstand value	[kA]	25	40	40	40/50	40/50	40/50/63
Rated short circuit duration	S	3	3	3	3/1	3/1	3/1/1
Rated PF withstand voltage across isolating distance	[kV]	80	160	265	315	530	610
Rated PF withstand voltage between live terminals and ground	[kV]	70	140	230	275	460	520
Lightning Impulse withstand across Isolating distance	[kVp]	195	375	630	750	1200	1425
Lightning Impulse withstand between live terminals and ground	[kVp]	170	325	550	650	1050	1665
Switching Impulse withstand across Isolating distance	[kVp]	*	*	*	*	*	1245
Switching Impulse withstand across between live terminals and ground	[kVp]	*	*	*	*	*	1050

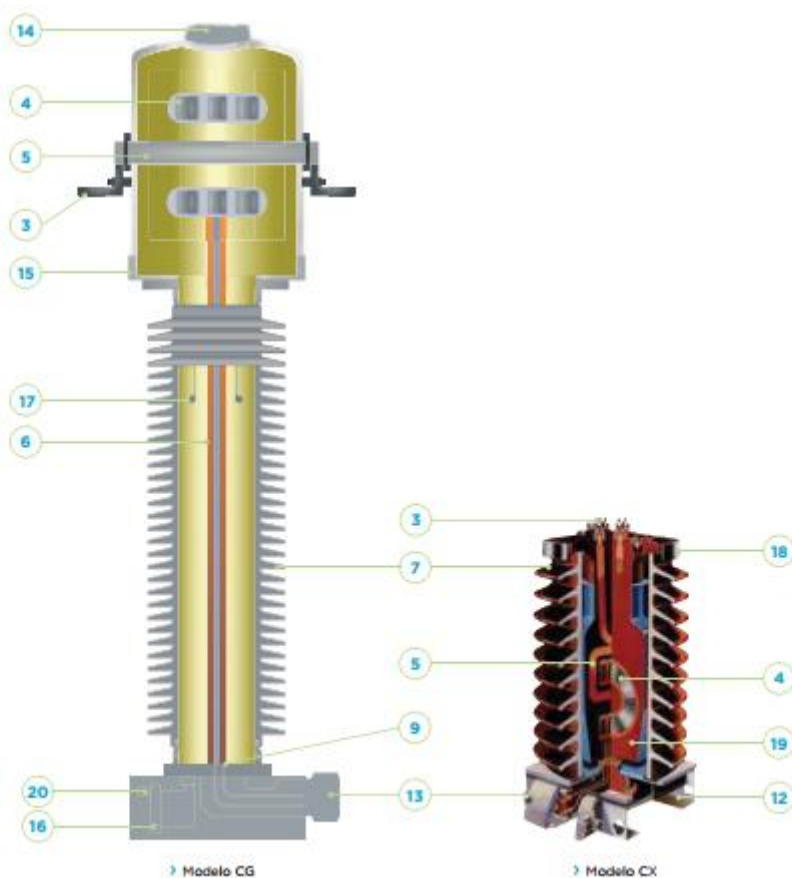
12.4. Transformadores de intensidad



1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento papel-aceite, gas y seco

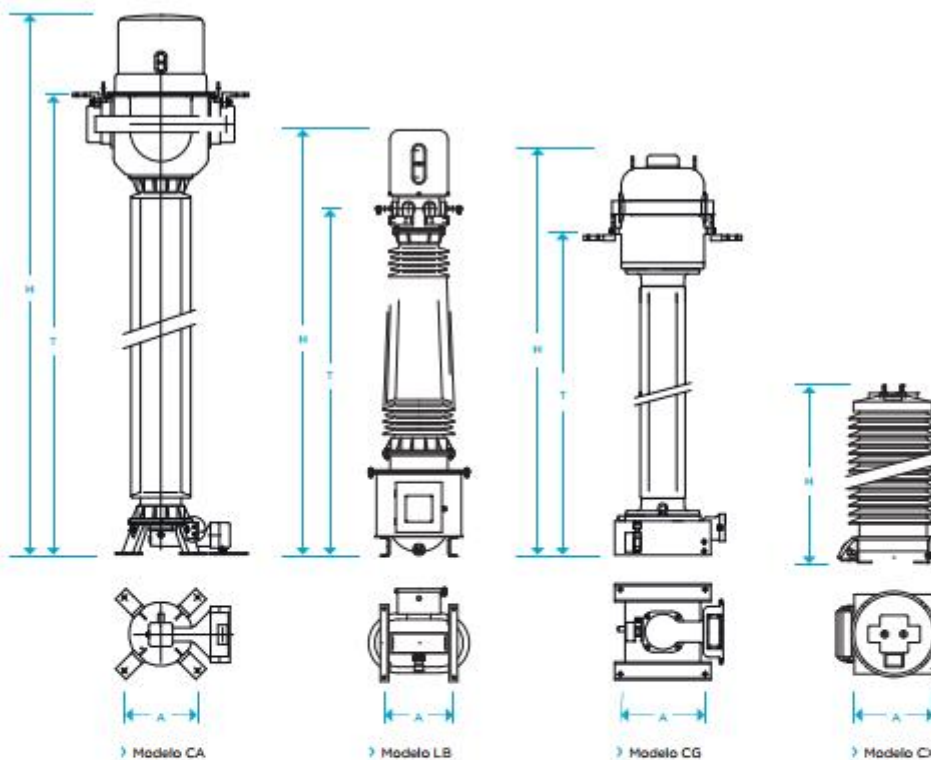
- 11. Toma medida tangente delta
- 12. Terminal de puesta a tierra
- 13. Caja de terminales secundarios
- 14. Dispositivo liberador de presión
- 15. Cabeza

- 16. Manómetro
- 17. Electrodo AT
- 18. Anillo equipotencial
- 19. Aislamiento (resina)
- 20. Válvula de llenado de gas





1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento papel-aceite, gas y seco



Ensayo de tipo. CG
245 kV.
Transformadores de
intensidad de 36 kV.
Fingrid, Kimy (Finlandia).



1. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD > Aislamiento papel-aceite, gas y seco

Aislamiento gas > Modelo CG

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)	
CG-145	123	230	550	*	3.625	450x450	1.895	2.330	205
CG-145	145	275	650	*	3.625	450x450	1.895	2.330	205
CG-170	170	325	750	*	4.250	450x450	2.070	2.505	235
CG-245	245	395	950	*	6.125	450x450	2.795	3.370	400
		460	1.050	*					
CG-300	300	460	1.050	850	7.500	450x450	3.180	3.755	430
CG-362	362	510	1.175	950	11.222	600x600	4.400	5.080	1.650
CG-420	420	630	1.425	1.050	13.020	800x800	4.900	5.580	1.700
CG-550	550	680	1.550	1.175	17.050	800x800	5.900	6.580	1.800

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: hasta 5.000 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 120 kA/1 s.

Aislamiento seco > Modelo CX

Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	A (mm)		H (mm)		
CXD-24	24	50	125	744	210	462	43	
CXE-24	24	50	125	744	250	480	72	
CXE-36	36	70	170	900	250	532	80	
CXG-36	36	70	170	900	250	670	150	
CXE-52	52	95	250	1.440	250	712	111	
CXG-52	52	95	250	1.560	250	798	186	
CXH-52	52	95	250	1.560	330	800	263	
CXG-72	72,5	140	325	1.860	250	918	190	
CXH-72	72,5	140	325	1.860	330	920	305	

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: desde 1 A hasta 2.400 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 120 kA/1 s.

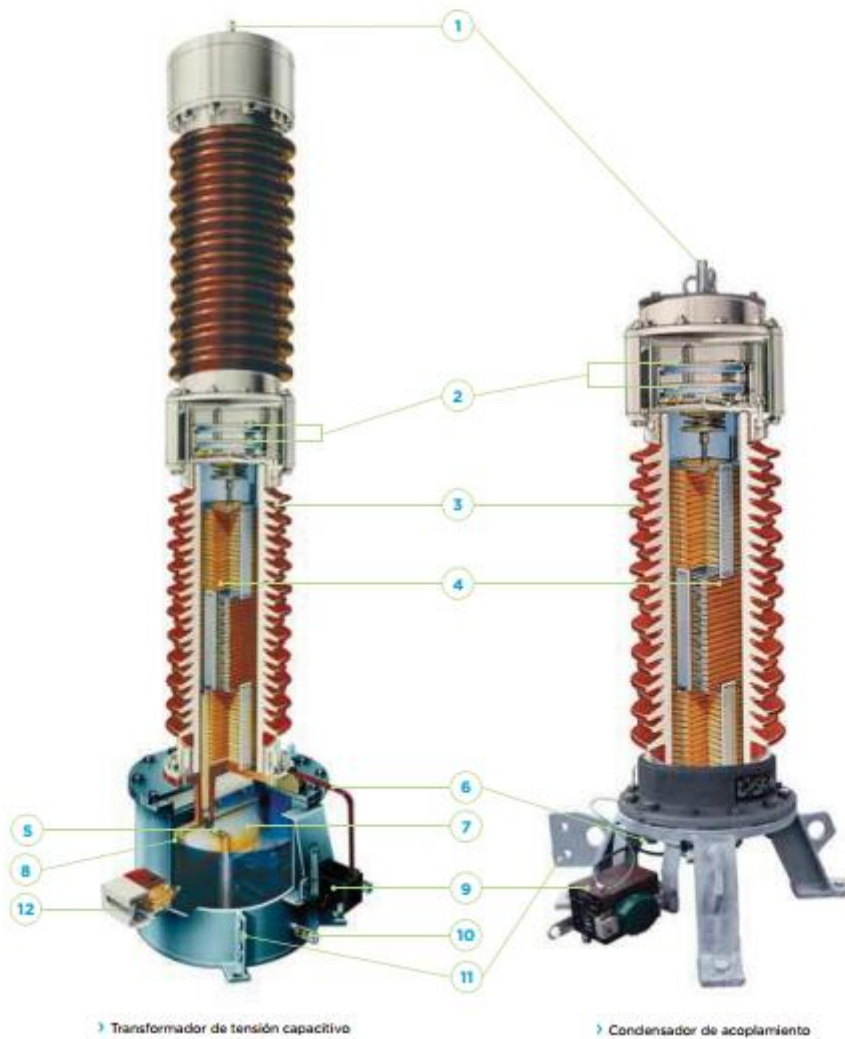
12.5. Transformadores de tensión capacitivos



4. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS Y CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO > Aislamiento papel-aceite

SECCIONES

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Terminal primario | 7. Transformador de tensión inductivo |
| 2. Compensador de volumen de aceite | 8. Indicador de nivel de aceite |
| 3. Aislador (porcelana o silicona) | 9. Accesorios de onda portadora |
| 4. Condensadores | 10. Toma de muestras de aceite |
| 5. Toma de tensión intermedia | 11. Terminal de puesta a tierra |
| 6. Terminal de alta frecuencia | 12. Caja terminales secundarios |





4. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS Y CONDENSADORES DE ACOPLAMIENTO > Aislamiento papel-aceite

GAMA

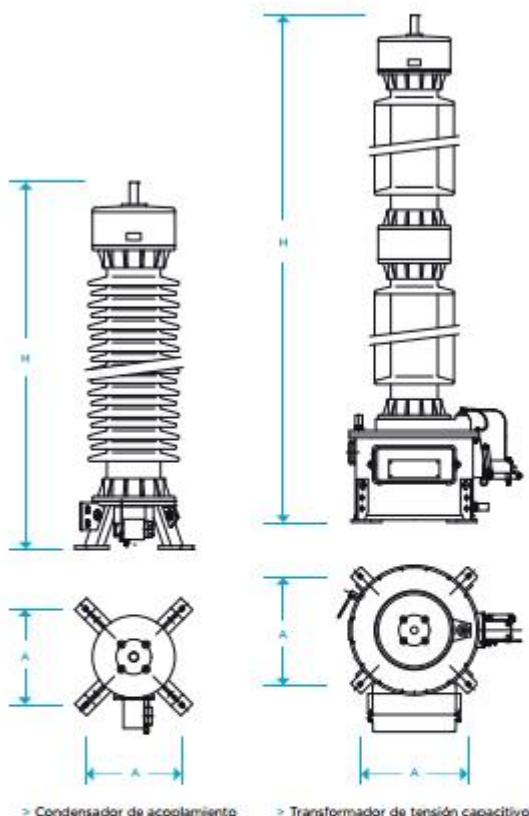
Los transformadores de tensión capacitivos y los condensadores de acoplamiento de ARTECHE se denominan mediante el uso de diferentes letras (DDB o DFK para transformadores; DDN o DFN para condensadores) seguidas de 2 ó 3 cifras que coinciden con la tensión máxima de la red para la que han sido diseñados.

Las tablas muestran las gamas de ambos tipos de equipos fabricados por ARTECHE. Las características son orientativas y pueden fabricarse de acuerdo con cualquier norma nacional o internacional.

Clases y potencias de precisión estándar:

- > Según normas IEC
 - 100 VA Clase 0,2 / 3P
 - 250 VA Clase 0,5 / 3P
- > Según normas IEEE
 - 0.3 WXYZ
 - 1.2 WXYZ, ZZ

Posibilidad de clases y potencia de precisión superiores.



- > Transformadores de tensión capacitivos de 245 kV. NEPCO (Jordania).
- > Transformadores de tensión capacitivos de 525 kV. UTE (Uruguay).



4. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS Y CONDENSADORES DE
ACOPPLAMIENTO > 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	1050	*	5.800	11.000	6.125	450	2.885	450
		395	950							
DFK-300	300	460	1050	850	6.000	12.500	7.500	450	3.205	480
DFK-362	362	510	1175	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	1175	3.000	6.200	13.125	450	5.560	1.065
		800	1.800	1175						
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.

Condensadores de acoplamiento										
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)	
DDN-72	72,5	140	325	*	10.300	25.500	1.825	450	1.235	115
DDN-100	100	185	450	*	5.700	14.300	2.500	450	1.325	120
DDN-123	123	230	550	*	5.600	14.000	3.075	450	1.585	145
DDN-145	145	275	650	*	3.900	19.500	3.625	450	1.675	150
DDN-170	170	325	750	*	7.500	16.500	4.250	450	1.805	170
DFN-245	245	460	1050	*	5.800	11.000	6.125	450	2.625	255
		395	950							
DFN-300	300	460	1050	850	6.000	12.500	7.500	450	2.945	305
DFN-362	362	510	1175	950	4.500	10.100	9.050	450	3.415	345
DFN-420	420	630	1.425	1.050	3.500	7.700	10.500	450	4.335	495
		575	1.300	950						
DFN-525	(525) 550	680	1.550	1175	3.000	6.200	13.125	450	5.300	890
		800	1.800	1175						
DFN-765	(765) 800	880	1.950	1.425	3.000	4.500	15.300	450	6.760	1.095
		975	2.100	1.550						

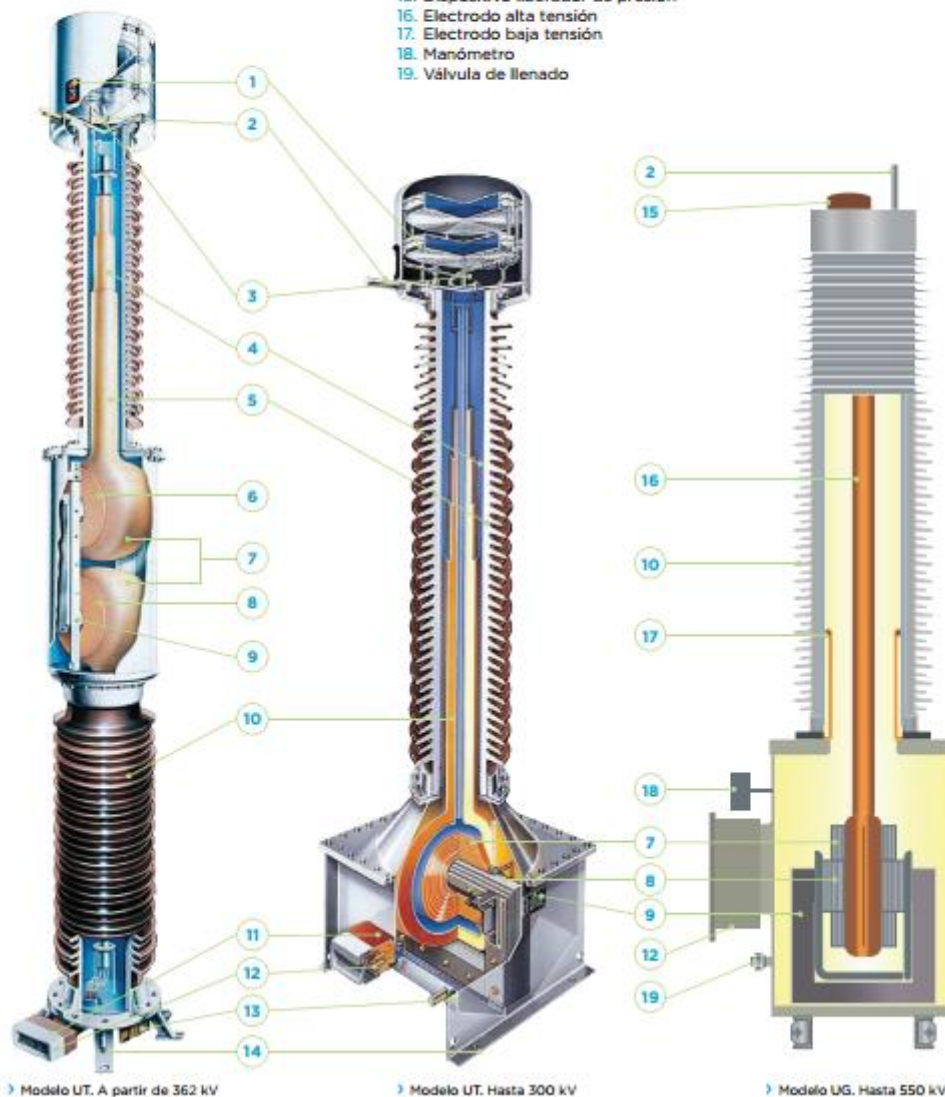
12.6. Transformadores de tensión inductivos



2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite y gas

SECCIONES

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Indicador de nivel de aceite | 8. Arrollamientos secundarios |
| 2. Terminal primario | 9. Núcleo |
| 3. Compensador de volumen de aceite | 10. Aislamiento (porcelana o silicona) |
| 4. Borna condensadora | 11. Toma medida tangente delta |
| 5. Aislamiento papel-aceite | 12. Caja terminales secundarios |
| 6. Arrollamiento de compensación | 13. Toma de muestras de aceite |
| 7. Arrollamientos primarios | 14. Terminal de puesta a tierra |
| | 15. Dispositivo liberador de presión |
| | 16. Electrodo alta tensión |
| | 17. Electrodo baja tensión |
| | 18. Manómetro |
| | 19. Válvula de llenado |





2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite y gas

GAMA

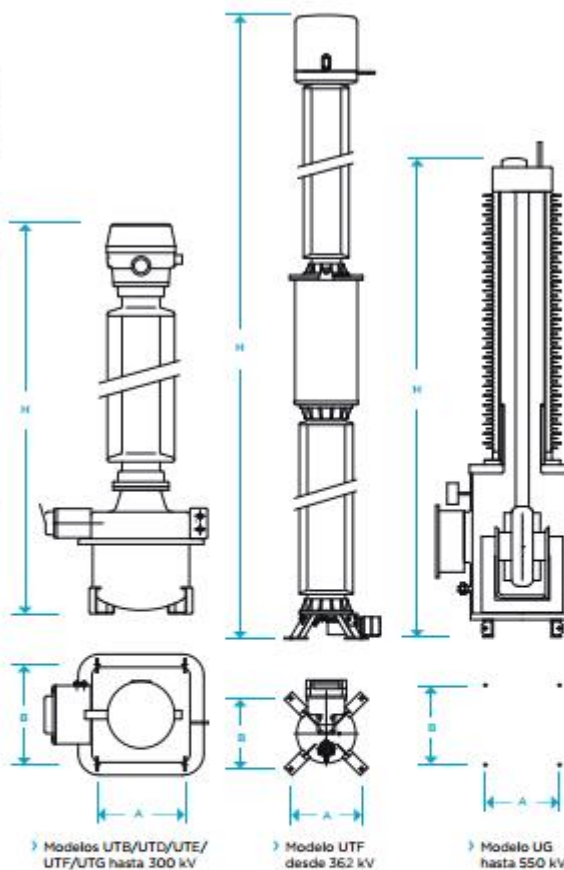
Los transformadores de tensión inductivos de ARTECHE se denominan mediante el uso de las letras (UT papel aceite, UG gas) seguidas de una tercera letra (sólo papel aceite), y de 2 ó 3 cifras que coinciden con la tensión máxima de la red para la que han sido diseñados.

Las tablas (siguiente página) muestran las gamas de ambos tipos de equipos fabricados por ARTECHE. Las características son orientativas; ARTECHE puede fabricarlos de acuerdo con cualquier norma nacional o internacional.

Clases y potencias de precisión estándar:

- > Según normas IEC
 - 100 VA Clase 0,2 / 3P
 - 250 VA Clase 0,5 / 3P
- > Según normas IEEE
 - 0.3 WXYZ
 - 1.2 WXYZ, ZZ

Posibilidad de clases y potencia de precisión superiores.



> Transformadores de tensión inductivos de 123 kV. Electronet Services (Nueva Zelanda).

> Transformadores de tensión inductivos de 420 kV. Elia (Bélgica).

2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite y gas

Aislamiento papel-aceite > Modelo UT									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UTB-52	52	95	250	*	1.500	1.300	300x300	1.335	95
UTD-52	52	95	250	*	2.000	1.300	330x300	1.395	150
UTB-72	72,5	140	325	*	1.500	1.825	300x300	1.335	108
UTD-72	72,5	140	325	*	2.000	1.825	330x300	1.395	150
UTE-72	72,5	140	325	*	2.500	1.825	400x430	1.645	285
UTD-100	100	185	450	*	2.000	2.500	330x300	1.690	165
UTD-123	123	230	550	*	3.000	3.075	350x475	2.120	292
UTE-123	123	230	550	*	3.500	3.075	350x475	2.120	355
UTE-145	145	275	650	*	3.500	3.625	350x475	2.105	335
UTE-170	170	325	750	*	3.500	4.250	350x475	2.235	350
UTF-245	245	460	1.050	*	3.500	6.125	450x590	3.210	650
		395	950						
UTG-245	245	460	1.050	*	3.500	6.125	500x640	3.260	800
		395	950						
UTG-300	300	460	1.050	850	3.500	7.500	500x640	3.660	910
UTF-420	420	630	1.425	1.050	3.500	10.500	600x600	5.210	1.315
		575	1.300	950					
UTF-525	550(525)	680	1.550	1.175	3.500	13.125	600x600	6.070	1.700

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Aislamiento gas > Modelo UG									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UG-123	123	230	550	*	1.000	3.813	315x315	2.400	450
UG-145	145	275	650	*	1.000	4.495	315x315	2.400	450
UG-170	170	325	750	*	1.000	5.270	315x315	2.600	470
UG-245	245	460	1.050	*	1.000	7.595	450x450	3.200	650
UG-300	300	460	1.050	850	1.000	9.300	450x450	3.550	700
UG-362	362	510	1.175	950	1.000	11.222	600x600	3.900	1.100
UG-420	420	630	1.425	1.050	1.000	13.020	600x600	4.600	1.200
UG-550	550	680	1.550	1.175	1.000	17.050	600x600	5.100	1.300

12.7. Autoválvulas

3EL2 Surge arrester with silicone rubber housing and Cage Design™

Technical datasheet

Protection of:

- Transformers
- Circuit breakers
- Generators
- Motors
- Capacitors
- Traction vehicles
- Bushings
- Switchgear
- Transmission lines



Maximum values		3EL2	3EL2	3EL2	3EL2
Highest voltage of the system	kV	362	420	420	420
Maximum rated voltage	kV	288	360	360	360
Nominal discharge current	kA	10	10	20	20
Line discharge class		2	3	3	4
Energy absorption capability	kJkV	5.0	8.0	8.0	10.0
Long duration current impulse	A	1100	1100	1200	1200
Rated short-circuit current	kA	65	65	65	65
High current impulse	kA	100	100	100	100
Bending moment dynamic	kNm	4.0	4.0	4.0	4.0

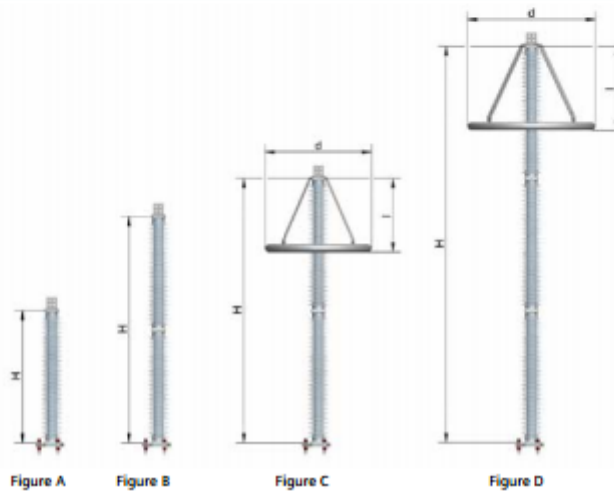
Ratings and specifications

Electrical characteristics – phase arresters														
Highest voltage of the system	Rated voltage	Continuous operating voltage	Line discharge class	Long duration current 2ms	Maximum values of the residual voltages at discharge currents of the following impulses								Arrester type	Minimum housing size
					30kV µs 0.5 kA	30kV µs 1 kA	30kV µs 2 kA	8/20 µs 5 kA	8/20 µs 10 kA	8/20 µs 20 kA	8/20 µs 40 kA			
U _s kV	U _r kV	U _c kV	LD Class	A	0.5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA			
123	96	77	3	1100	180	185	194	212	226	250	284	3EL2 096 - 2 P. 3 - ...	J	
	96	77	4	1200	187	191	200	217	230	253	276	3EL2 096 - 6 P. 4 - ...	J	
	102	82	3	1100	192	197	206	225	240	266	302	3EL2 102 - 2 P. 3 - ...	J	
	102	82	4	1200	198	203	213	230	245	269	294	3EL2 102 - 6 P. 4 - ...	J	
	108	86	3	1100	203	208	218	239	254	282	320	3EL2 108 - 2 P. 3 - ...	J	
	108	86	4	1200	210	215	226	244	259	285	311	3EL2 108 - 6 P. 4 - ...	J	
	154	123	3	1100	290	297	311	340	362	402	456	3EL2 154 - 2 P. 3 - ...	M	
145	120	96	3	1100	226	231	243	265	282	313	355	3EL2 120 - 2 P. 3 - ...	J	
	120	96	4	1200	233	239	251	271	288	317	346	3EL2 120 - 6 P. 4 - ...	J	
	132	106	3	1100	248	254	267	292	310	344	391	3EL2 132 - 2 P. 3 - ...	M	
	132	106	4	1200	257	263	276	298	317	348	380	3EL2 132 - 6 P. 4 - ...	M	
	144	115	3	1100	271	277	291	318	338	376	426	3EL2 144 - 2 P. 3 - ...	M	
	144	115	4	1200	280	287	301	325	346	380	415	3EL2 144 - 6 P. 4 - ...	M	
170	138	110	3	1100	259	266	279	305	324	360	409	3EL2 138 - 2 P. 3 - ...	M	
	138	110	4	1200	268	275	288	311	331	364	397	3EL2 138 - 6 P. 4 - ...	M	
	144	115	3	1100	271	277	291	318	338	376	426	3EL2 144 - 2 P. 3 - ...	M	
	144	115	4	1200	280	287	301	325	346	380	415	3EL2 144 - 6 P. 4 - ...	M	
	150	120	3	1100	282	289	303	331	353	391	444	3EL2 150 - 2 P. 3 - ...	M	
	150	120	4	1200	292	299	313	338	360	396	432	3EL2 150 - 6 P. 4 - ...	M	
245	192	154	3	1100	361	370	388	424	451	501	569	3EL2 192 - 2 P. 3 - ...	Q	
	192	154	4	1200	373	382	401	433	461	507	553	3EL2 192 - 6 P. 4 - ...	Q	
	198	158	3	1100	372	382	400	437	465	516	586	3EL2 198 - 2 P. 3 - ...	Q	
	198	158	4	1200	385	394	413	447	475	523	570	3EL2 198 - 6 P. 4 - ...	Q	
	228	182	3	1100	429	439	461	504	536	595	675	3EL2 228 - 2 P. 3 - ...	R	
	228	182	4	1200	443	454	476	514	547	602	657	3EL2 228 - 6 P. 4 - ...	2xJ	
300	228	182	3	1100	429	439	461	504	536	595	675	3EL2 228 - 2 P. 3 - ...	R	
	228	182	4	1200	443	454	476	514	547	602	657	3EL2 228 - 6 P. 4 - ...	2xJ	
	240	192	3	1100	451	462	485	530	564	626	711	3EL2 240 - 2 P. 3 - ...	2xJ	
	240	192	4	1200	467	478	501	541	576	634	691	3EL2 240 - 6 P. 4 - ...	2xJ	
362	276	221	3	1100	519	532	558	610	649	720	817	3EL2 276 - 2 P. 3 - ...	W	
	276	221	4	1200	537	550	576	623	662	729	795	3EL2 276 - 6 P. 4 - ...	W	
	288	230	3	1100	541	555	582	636	677	751	853	3EL2 288 - 2 P. 3 - ...	2xM	
	288	230	4	1200	560	574	601	650	691	760	829	3EL2 288 - 6 P. 4 - ...	2xM	
420	336	269	3	1100	632	647	679	742	790	876	995	3EL2 336 - 2 P. 3 - ...	3xJ	
	336	269	4	1200	653	669	702	758	806	887	968	3EL2 336 - 6 P. 4 - ...	3xJ	
	360	288	3	1100	677	694	728	795	846	939	1066	3EL2 360 - 2 P. 3 - ...	3xJ	
	360	288	4	1200	700	717	752	812	864	950	1037	3EL2 360 - 6 P. 4 - ...	3xJ	

Ratings and specifications

Mechanical characteristics												
Housing size	Height [H]	Creepage distance	Housing insulation			Specified short-term load SSL	Specified long-term load SLL	Grading ring diameter [D]	Maximum weight of arrester	Flash-over distance	Arrester type	Figure
	mm	mm	Lightning impulse withstand voltage 1.2/50µs kV	Switching impulse withstand voltage 250µs, wet kV	Power frequency withstand voltage 1 min., wet kV	N	N	mm	kg	mm		
C	482	1470	235	170	109	8290	5800	-	17.7	405	SEL2 ... C. 1 - ...	A
F	705	2340	365	265	170	5670	3970	-	23.5	630	SEL2 ... F. 1 - ...	A
J	1062	3820	571	414	266	3760	2630	-	32.3	985	SEL2 ... J. 1 - ...	A
M	1240	4495	676	489	315	3220	2250	-	37.6	1165	SEL2 ... M. 1 - ...	A
P	1544	5290	806	584	375	2590	1810	-	46.2	1390	SEL2 ... P. 2 - ...	B
Q	1767	6160	936	678	436	2260	1580	-	51.3	1615	SEL2 ... Q. 2 - ...	B
R	1945	6835	1041	754	485	2050	1430	-	56.9	1795	SEL2 ... R. 2 - ...	B
2xJ	2124	7640	1142	827	532	1880	1310	-	57.2	1970	SEL2 ... J. 2 - ...	B
W	2302	8315	1247	903	581	1730	1210	600	63.6	1905	SEL2 ... W. 2 - ...	C
2xM	2480	8990	1352	979	629	1610	1120	800	69.6	1925	SEL2 ... M. 2 - ...	C
X	2829	9980	1507	1093	702	1410	980	800	79.8	2250	SEL2 ... X. 3 - ...	D
3xJ	3186	11460	1713	1242	798	1250	870	1000	86.7	2470	SEL2 ... J. 3 - ...	D
3xM	3720	13485	2028	1467	945	1070	750	1000	93.2	2950	SEL2 ... M. 3 - ...	D

The maximum arrester weight can vary depending on rated voltage and line discharge class.



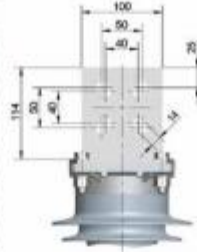
Line terminals



Plate
3EL2A..

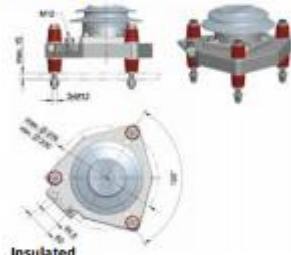


Bolt
3EL2D..

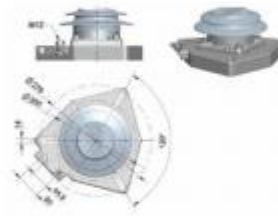


DIN/NEMA flat terminal
3EL2T.. (aluminum)
3EL2X.. (hot dip galvanized)
3EL2Y.. (stainless steel)

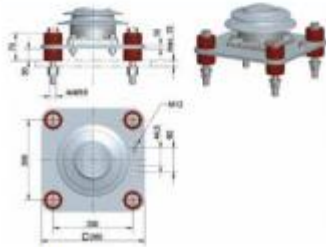
Mounting



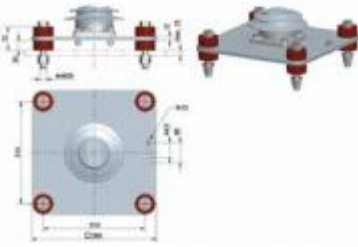
Insulated
3EL21



Grounded
3EL25



Insulated
3EL22



Insulated
3EL23

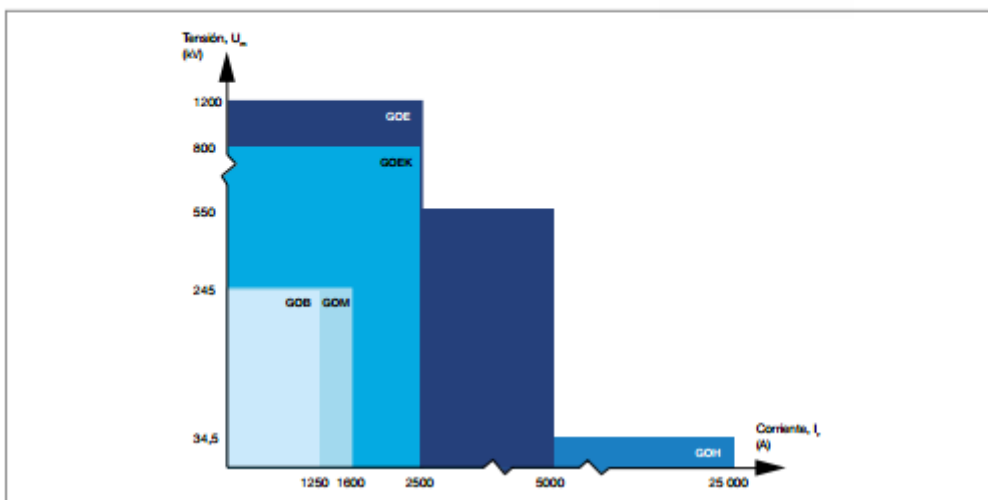
12.8. Aisladores

Aisladores impregnados en aceite

Los aisladores se construyen en torno a un tubo central en el que está devanado el cuerpo capacitivo con papel kraft. Las inserciones de conducción de aluminio se colocan en posiciones axiales y radiales calculadas y muy precisas para crear la graduación del campo eléctrico. Los aislantes cerámicos se fabrican en una sola pieza sin juntas y se mantienen entre las placas terminales mediante el tubo central. Una serie de juntas de caucho resistentes al aceite y encajadas en ranuras garantizan la estanqueidad. El espacio entre el cuerpo capacitivo y los aisladores se rellena con aceite de transformador, excepto en la parte superior, donde queda una cámara de expansión llena de gas. Existen diversas líneas de productos disponibles y los detalles de los diseños varían en función de los valores de tensión y corriente.

Los aisladores impregnados en aceite ofrecen las siguientes ventajas:

- Gama completa y rendimiento excelente en las condiciones más exigentes.
- Utilizamos un sistema de sellado que cuenta con más de 40 años de demostrada fiabilidad en todos los continentes.
- Modemas instalaciones de producción y 100 años de experiencia.
- Nuestro exclusivo sistema de conductor rígido desmontable facilita la instalación y el desmontaje in situ sin reducir el nivel de aceite.
- El aislador de 800 kV más utilizado del mundo.



Alcance del producto

Los aisladores de condensador facilitan el control del esfuerzo eléctrico a través de la inserción de pantallas ecualizadoras de aluminio variables que se encuentran en el cuerpo capacitivo. Una banda de papel corrugado o Kraft se bobina en un conductor o un mandril para formar el cuerpo capacitivo. Las inserciones de conducción de aluminio se colocan en posiciones axiales y radiales calculadas y muy precisas para crear la graduación del campo eléctrico. Los cuerpos capacitivos están impregnados con aceite mineral de transformador o una resina epoxi curable.

El aislamiento se realiza desde materiales cerámicos o caucho de silicona, cuando corresponde. Los aislantes cerámicos están disponibles para los aisladores impregnados en aceite y en color marrón y gris mientras que los aislantes de silicona están disponibles para los aisladores impregnados en resina y sólo en color gris. En ambos casos, los elementos aislantes son de tipo antiniebla, con aletas largas y cortas dispuestas alternadas. Todos los aisladores están equipados con una toma de pruebas aislada en la brida.

Aisladores de papel impregnado en aceite (OIP)

GOB está disponible con y sin indicador de nivel de aceite y para tensiones de 52 kV a 300 kV. Todos los modelos están equipados con una toma de pruebas de 2 kV y la disposición del conductor puede ser del tipo conductor flexible o varilla maciza. El aislador GOB se puede instalar con una inclinación de hasta 45° respecto de la vertical sin ninguna precaución especial.

Guía técnica 1ZSE 2750-102

Guía de instalación y mantenimiento 2750 515-12





GOE está disponible en dos diseños. La línea clásica GOE de aisladores está disponible para todo el rango de tensiones de 52 kV a 800 kV. GOE(2) es un aislador liviano, compacto y económico para valores de corriente inferiores y está disponible para tres clases específicas de tensión; 362 kV, 420 kV y 550 kV. GOE y GOE(2) están equipados con una toma de pruebas de 20 kV y la disposición del conductor puede ser del tipo conductor flexible, varilla maciza o conductor rígido. El aislador GOE se puede instalar con una inclinación de hasta 60° respecto de la vertical sin ninguna precaución especial, mientras que el aislador GOE(2) está limitado a 30° respecto de la vertical.

Guía técnica 1ZSE 2750-105

Guía de instalación y mantenimiento 2750 515-1



12.9. Canalizaciones

 <p>Prefabricados de Hormigón</p>	<p>Prefabricados Gilva</p> <p>Pol La Fuensalada Ctra. Alcañiz N211 km230 Calanda (Teruel) (www.gilva.com) Tel.978-846-160 Fax.978-847.822</p>		 <p>BUREAU VERITAS Certification</p>
	Número: 01	Revisión: 2	

1.- DESIGNACIÓN **CANAL DE CABLES TIPO A 2000x420x470**

2.- NORMATIVA EHE 08 Instrucción de Hormigón Estructural

3.- MATERIALES

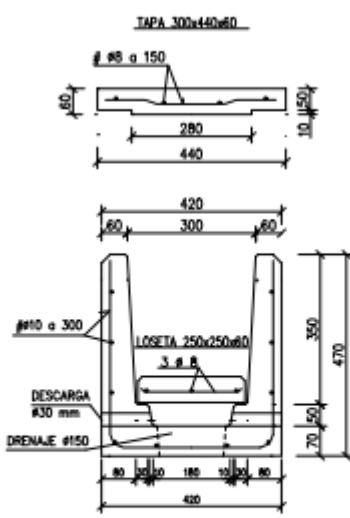
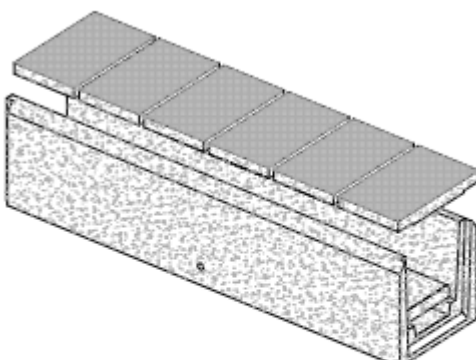
Hormigón	HA-30	$f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_c=1.50$
Tipo Hormigón	HA-30/F/20/IIa	recubrimiento 25mm	
Acero Armadura Pasiva	ME B500T	$f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_c=1.15$

4.- PARÁMETROS DE DISEÑO Y TOLERANCIAS



Longitud	2000 ± 20mm	Ancho	420 ± 5mm	Alto	470 ± 5mm
Peso Canal	410 kg / unid	Peso Loseta	9 kg / unid	Peso Tapa	18 kg / unid

5.- GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN DE ARMADURAS

(Cotas en mm) Rev. 1

The technical drawing shows the following details:
 - Top view: TAPA 300x440x60, overall width 440mm, width between reinforcement 280mm, reinforcement diameter #8 @ 150mm.
 - Side view: overall height 470mm, channel depth 350mm, bottom width 420mm, reinforcement diameter #10 @ 300mm.
 - Reinforcement details: LOSETA 250x250x60, 3 #8 bars, DESCARGA #30 mm, DRENAJE #150.
 - Dimensions: 80, 20, 180, 15, 80, 420, 70, 150, 470, 350, 420, 60, 300, 60, 280, 440, 150.

 <p>Prefabricados de Hormigón</p>	Prefabricados Gilva		 <p>BUREAU VERITAS Certification</p>
	Pol La Fuensalada Ctra. Alcañiz N211 km230 Calanda (Teruel) (www.gilva.com) Tel.978-846-160 Fax.978-847.822		
	Número: 02	Revisión: 2	Fecha: 10-06-2011

1.- DESIGNACIÓN **CANAL DE CABLES TIPO B 2000x670x530**

2.- NORMATIVA EHE 08 Instrucción de Hormigón Estructural

3.- MATERIALES

Hormigón	HA-30	$f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_c=1.50$
Tipo Hormigón	HA-30/F/20/IIa	recubrimiento 25mm	
Acero Armadura Pasiva	ME B500T	$f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_s=1.15$

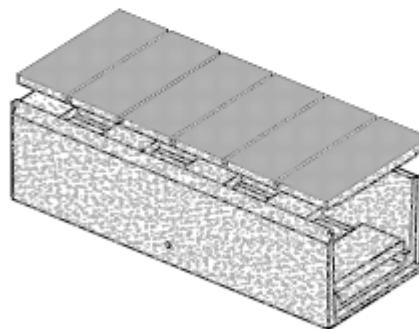
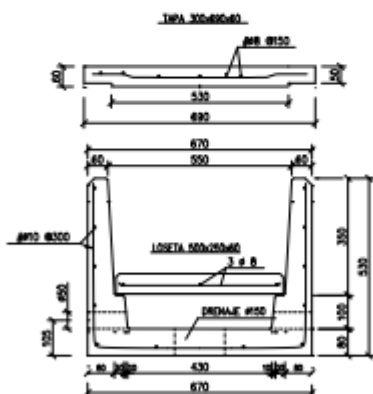
4.- PARÁMETROS DE DISEÑO Y TOLERANCIAS



Longitud	2000 ± 20mm	Ancho	670 ± 6mm	Alto	530 ± 6mm
Peso Canal	580 kg / unid	Peso Loseta	18 kg / unid	Peso Tapa	28 kg / unid

5.- GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN DE ARMADURAS

(Cotas en mm)

Rev. 1



 Prefabricados de Hormigón	Prefabricados Gilva		 BUREAU VERITAS Certification
	Pol La Fuensalada Ctra. Alcañiz N211 km230 Calanda (Teruel) (www.gilva.com) Tel.978-846-160 Fax.978-847.822		
	Número: 03	Revisión: 2	Fecha: 10-06-2011

1.- DESIGNACIÓN **CANAL DE CABLES TIPO BR 1000x870x530**

2.- NORMATIVA EHE 08 Instrucción de Hormigón Estructural

3.- MATERIALES

Hormigón	HA-30	$f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_c=1.50$
Tipo Hormigón	HA-30/F/20/IIa	recubrimiento 25mm	
Acero Armadura Pasiva	ME B500T	$f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_s=1.15$

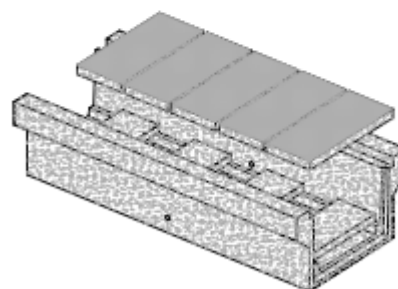
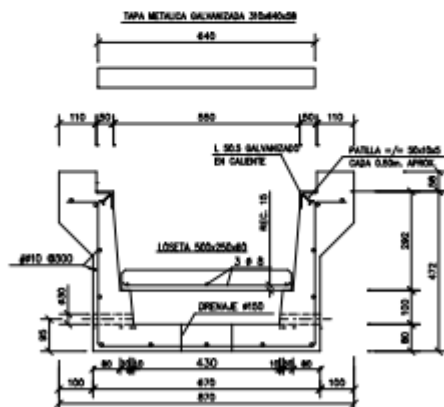
4.- PARÁMETROS DE DISEÑO Y TOLERANCIAS

Longitud	1000 ± 5mm	Ancho	870 ± 6mm	Alto	530 ± 6mm
Peso Canal	370 kg / unid	Peso Loseta	18 kg / unid		

5.- GEOMETRÍA Y DESCRIPCIÓN DE ARMADURAS

(Cotas en mm)

Rev. 1



DOCUMENTO Nº 2

CÁLCULOS

ÍNDICE

1.	Intensidad nominal.....	92
2.	Coordinación de aislamiento.....	92
2.1.	Tensiones soportadas específicas.....	93
2.2.	Nivel de aislamiento	97
3.	Distancias mínimas	99
3.1.	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases....	99
3.2.	Distancias mínimas en pasillos de servicio	100
3.3.	Distancias mínimas en zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación	101
3.4.	Zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación.....	102
4.	Embarrados.....	103
4.1.	Normativa	103
4.2.	Consideraciones de diseño	104
4.3.	Particularidades de tubos y aisladores	105
4.4.	Cálculo del embarrado principal.....	107
4.5.	Cálculo del embarrado secundario	121
5.	Efecto corona.....	135
5.1.	Embarrado principal	137
5.2.	Embarrado secundario.....	138
6.	Autoválvulas	139

6.1. Criterios de diseño	139
6.2. Elección del modelo	143
7. Instalaciones de puesta a tierra	144
7.1. Red de tierras inferiores	144
7.2. Red de tierras superiores.....	153

1. Intensidad nominal

La intensidad nominal es aquella que circula en la situación más desfavorable prevista. Para el funcionamiento con criterio (n-1) toda la corriente circularía por una sola línea (hasta la ampliación prevista), por lo que la intensidad nominal se calcula para esta situación, en la que toda la potencia transformada es asumida por una única línea.

La siguiente ecuación relaciona la corriente de fase con la potencia base de la subestación y la tensión nominal.

$$I_n = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

- $U_n = 400 \text{ kV}$
- $S_b = 2100 \text{ MVA}$

$$I_n = \frac{2100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ kV}} = \mathbf{3,031.1 \text{ A}}$$

Esta corriente de 3,031.1 A se tendrá en cuenta para la elección de las barras principales y secundarias de la subestación, así como del conductor de las líneas de tendido.

2. Coordinación de aislamiento

La coordinación de aislamiento tiene como objetivo la selección de los niveles de aislamiento de los distintos equipos de la subestación, en función de las sobretensiones que pueden aparecer en la red en la cual se encuentran instalados, los medios de

protección que se pueden instalar y las condiciones ambientales de la zona, aceptando una probabilidad de fallo.

Para el correcto cálculo de la coordinación de aislamiento se realizará de acuerdo a la ITC-RAT 12, adaptando los valores a los normalizados indicados en las normas UNE-EN 60071-1 y UNE-EN 60071-2

Puesto que la tensión más elevada del material es de 420 kV, mayor que 245 kV, se debe adaptar el aislamiento a los valores normalizados del grupo C.

Se estudia el aislamiento ante sobretensiones de frente lento (impulsos tipo maniobra) tanto fase a tierra como entre fases y ante sobretensiones de frente rápido (sobretensiones tipo rayo).

2.1. Tensiones soportadas específicas

- **Impulsos tipo maniobra fase a tierra**

El valor de cresta la tensión representativa para sobretensiones de frente lento fase-tierra es:

$$- U_{rp} = 830 \text{ kV}$$

A continuación, se calcula la tensión soportada específica, dependiente de la tensión representativa, un factor de seguridad (k_c), un factor de coordinación (k_s) y un factor de corrección atmosférica (k_a).

$$U_{rw} = U_{rp} \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_a$$

- $k_c = 1.1$; valor típico.

- $k_s = 1.05$; valor estandarizado para aislamiento en aire.
- $k_a = 1.01$;

Para realizar el cálculo del factor de corrección atmosférica se emplea la siguiente relación:

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

Donde:

- $H = 144 \text{ m}$; altura sobre el nivel del mar.
- $m=0.75$; el exponente m se obtiene de la siguiente figura para la curva a (fase-tierra)

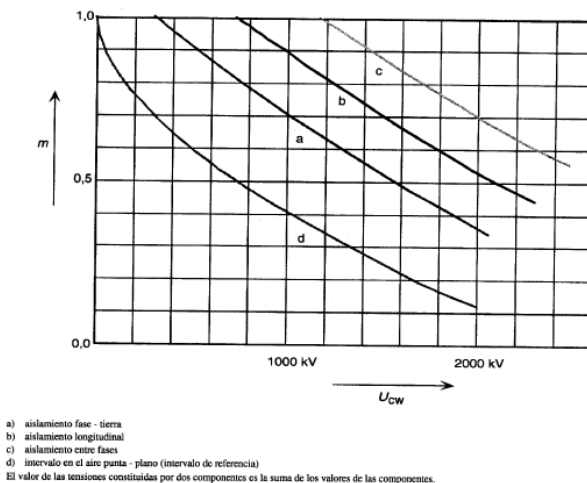


Figura 6. Relación entre "m" y la tensión soportada de coordinación.

El valor de la tensión soportada específica resulta:

$$U_{rw} = 830 \text{ kV} \cdot 1.1 \cdot 1.05 \cdot 1.01 = \mathbf{968.24 \text{ kV}}$$

- **Impulsos tipo maniobra entre fases**

El valor de cresta de la tensión representativa para sobretensiones de frente lento fase-fase es:

$$- U_{rp} = 1230 \text{ kV}$$

A continuación, se calcula la tensión soportada específica, dependiente de la tensión representativa, un factor de seguridad (k_c), un factor de coordinación (k_s) y un factor de corrección atmosférica.

- $k_c = 1.1$; valor típico.
- $k_s = 1.05$; valor estandarizado para aislamiento en aire.
- $k_a = 1.02$;

Para realizar el cálculo del factor de corrección atmosférica se emplea la siguiente relación:

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

Donde:

- $H = 144 \text{ m}$; altura sobre el nivel del mar.
- $m=1$; el exponente m se obtiene de la siguiente figura para la curva c (fase-fase)

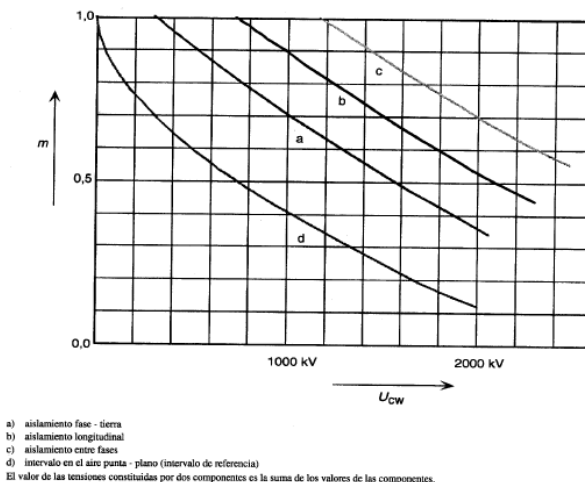


Figura 7. Relación entre "m" y la tensión soportada de coordinación.

El valor de la tensión soportada específica resulta:

$$U_{rw} = 1230 \text{ kV} \cdot 1.1 \cdot 1.05 \cdot 1.02 = \mathbf{1449.06 \text{ kV}}$$

- **Impulsos tipo rayo**

El valor de cresta de la tensión representativa para sobretensiones de frente lento fase-fase es:

$$- U_{rp} = 1,150 \text{ kV}$$

A continuación, se calcula la tensión soportada específica, dependiente de la tensión representativa, un factor de seguridad (k_c), un factor de coordinación (k_s) y un factor de corrección atmosférica.

- $k_c = 1.1$; valor típico.
- $k_s = 1.05$; valor estandarizado para aislamiento en aire.
- $k_a = 1.02$;

Para realizar el cálculo del factor de corrección atmosférica se emplea la siguiente relación:

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

Donde:

- $H = 144 \text{ m}$; altura sobre el nivel del mar.
- $m=1$; valor establecido para sobretensiones de frente rápido a frecuencia industrial.

El valor de la tensión soportada específica resulta:

$$U_{rw} = 1,150 \text{ kV} \cdot 1.1 \cdot 1.05 \cdot 1.02 = \mathbf{1,354.82}$$

En la siguiente tabla se recogen las tensiones soportadas específicas calculadas en este epígrafe.

	Sobretensiones tipo maniobra		Sobretensiones tipo rayo
	Fase-tierra	Fase-fase	Fase-tierra
U_{rw}	968.24 kV	1,449.06 kV	1,354.82 kV

Tabla 26. Tensiones soportadas específicas.

2.2. Nivel de aislamiento

Una vez calculadas las tensiones soportadas específicas para cada tipo de sobretensión, se determinan las tensiones normalizadas de aislamiento (U_w), la tensión más elevada del material (U_m).

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) kV (eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A IMPULSOS TIPO RAYO 1,2/50 μ s kV (valor de cresta)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA Fase a tierra 250/2500 μ s 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 μ s 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 1425	1050	2600	3400	1575	3600	4200	

Figura 8. Niveles de aislamiento normalizado.

Los valores normalizados de las tensiones se muestran en la figura superior, correspondiente a los niveles de aislamiento nominales para materiales del grupo C, presente en la ITC_RAT_12.

En la siguiente tabla se resume la coordinación de aislamiento, mostrándose las tensiones normalizadas para cada sobretensión.

AISLAMIENTO			
Sobretensiones tipo maniobra		Sobretensiones tipo rayo	
	Fase-tierra	Fase-fase	Fase-tierra
U_w	1,050 kV	1,425 kV	1,425 kV
U_m	420 kV		

Tabla 27. Tensiones normalizadas.

3. Distancias mínimas

El cálculo de las diferentes distancias mínimas en la subestación supone una parte importante al determinar la disposición de los distintos equipos y por tanto las medidas de la subestación.

3.1. Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases

En la figura "x" aparecen las distancias mínimas de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases.

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

Tal y como se han determinado las tensiones normalizadas de aislamiento en el anterior apartado, se obtienen las mínimas distancias.

- Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra:
 - **2600 mm** para conductor/estructura.
 - **3400 mm** para punta/estructura.
- Distancia mínima de aislamiento entre fases:
 - **3600 mm** para conductor/estructura.
 - **4200 mm** para punta/estructura.

Como consideración, los valores de las distancias indicados en las tablas de la ITC-RAT 12 son los valores mínimos determinados por consideraciones de tipo eléctrico, por lo que en ciertos casos, deben ser incrementados para tener en cuenta otros conceptos como tolerancias de construcción, efectos de cortocircuitos, efectos del viento, seguridad del personal, etc.

3.2. Distancias mínimas en pasillos de servicio

Para establecer correctamente las distancias mínimas en pasillos y zonas de protección se sigue lo detallado en la ITC-RAT 15.

- Anchura mínima de los pasillos de protección:
 - **1 m** en pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a un solo lado.
 - **1.2 m** en pasillos de maniobra con elementos en alta tensión a ambos lados.
 - **0.8 m** en pasillos de inspección con elementos en alta tensión a un solo lado.
 - **1 m** en pasillos de inspección con elementos en alta tensión a ambos lados.

Los anteriores valores deberán ser totalmente libres, es decir, medidos entre las partes salientes que pudieran existir, tales como mando amovibles de aparatos, barandillas, etc. El ancho libre del pasillo será al menos de 0,5 m cuando las partes móviles o las puertas abiertas de los equipos, interfieran en la ruta hacia la salida.

- Altura (H) sobre el suelo de los elementos en tensión sobre los pasillos, medida en centímetros:

Se aplica la siguiente relación:

$$H = 250 + d$$

- $d = 260$ cm; distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra para conductor-estructura.

$$H = 250 + 260 = 510 \text{ cm}$$

- Distancia mínima (T) entre elementos en tensión y punto más alto de aparatos o máquinas en zonas donde se prevea su paso:

$$T = d + 10 = 260 + 10 = 270 \text{ cm}$$

3.3. Distancias mínimas en zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación

Según dicta la ITC-RAT-15, los sistemas de protección que deban establecerse guardarán unas distancias mínimas medidas en horizontal a los elementos en tensión que se respetarán en toda zona comprendida entre el suelo y una altura de 200 cm. Estas distancias mínimas se encuentran detalladas en la siguiente figura:

	X	Y
Tipo de protección	(cm)	(cm)
Tabiques macizos	≥ 180	$B = d+3$
Enrejados	≥ 180	$C = d+10$
Barreras, tabiques macizos o enrejados	< 180 ≥ 100	$E = d+30$ (min. 125)

Figura 9. Distancias mínimas en zonas de protección frente a contactos en el interior.

- Distancia mínima (B) de los elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima:

$$B = d + 3 = 260 + 3 = 263 \text{ cm}$$

- Distancia mínima (C) de los elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima:

$$C = d + 10 = 260 + 10 = 270 \text{ cm}$$

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

$$E = d + 30 = 260 + 30 = \mathbf{290\ cm}$$

3.4. Zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación

De acuerdo con la ITC-RAT-15, para evitar los contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión, deberán existir entre éstos y el cierre las distancias mínimas de seguridad, medidas en horizontal y en centímetros.

- Distancia mínima (F) de los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura $k < 250 + d$ (cm).

$$F = d + 100 = 260 + 100 = \mathbf{360\ cm}$$

- Distancia mínima (B) de los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura $k \geq 250 + d$ (cm).

$$B = d + 3 = 260 + 3 = \mathbf{263\ cm}$$

- Distancia mínima (B) de los elementos en tensión al cierre cuando éste es un enrejado de cualquier altura $k \geq 220$ cm.

$$G = d + 150 = 260 + 150 = \mathbf{410\ cm}$$

4. Embarrados

En este capítulo se realizan los cálculos pertinentes referidos al embarrado principal y secundario. Las barras de la subestación componen el embarrado principal, mientras que las conexiones entre la apartada de la subestación forman parte del embarrado secundario.

4.1. Normativa

Para el desarrollo de los cálculos se han seguido los siguientes reglamentos y normas:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23, aprobado en el Real Decreto 337/2014
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09, aprobado en el Real Decreto 223/2008.
- Norma UNE-EN 60865-1 de 1993: "Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito".
- Norma IEC 60909-0 de 2001: Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna.
- Norma DIN 43670: Diseño del embarrado de aluminio según la corriente.

4.2. Consideraciones de diseño

La subestación se sitúa en una zona de altitud menor a 500 m sobre el nivel del mar, área considerada como Zona A en el RLAT. De esta forma, para la sobrecarga causada por el viento se considerará una velocidad de viento de 140 km/h al tratarse de zona A e instalación de categoría especial. No se considerará sobrecarga por manguito de hielo.

Los embarrados deberán admitir corrientes en funcionamiento normal superiores a la corriente nominal de 3031.1 A, calculada en el apartado 1.

La corriente de cortocircuito trifásica de 16 kA. Sin embargo, se tomará como valor de diseño de la subestación una corriente de cortocircuito trifásica (simétrica) de 50 kA, con objeto de posibilitar futuras ampliaciones del sistema eléctrico. La duración establecida de cortocircuito es de 0.5 s.

A efectos de cálculo de la corriente de cresta de cortocircuito, se tomará un valor de 0.07 para la relación R/X , que corresponde a la relación entre la resistencia y la reactancia vistas por la corriente de cortocircuito trifásica. Se trata de un valor típico para la red de 400 kV.

El embarrado principal está constituido por vanos de 20 m de longitud. Los apoyos son soportes metálicos fijos, aislados. Para el cálculo del embarrado secundario se tomará una longitud máxima de vano de 10 m.

La distancia entre fases será de 5 m (superior a la distancia mínima calculada en el apartado 3.1).

4.3. Particularidades de tubos y aisladores

Tanto el embarrado principal como el secundario serán de tipo rígido, constituidos por tubo de aleación de aluminio. Las medidas homologadas por Red Eléctrica de España del tubo de aluminio (en mm) son:

- 250/228; 200/184; 150/134; 120/104; 100/88; 63/47

Inicialmente se eligen las medidas del tubo atendiendo a la intensidad nominal, aplicando un factor de seguridad $C_s=1.5$.

$$I_{adm} \geq I_n \cdot 1.5 = 4546.7 \text{ A}$$

- **Embarrado principal**

Material	Aleación de aluminio 6063-T6 (AlMg0.5Si)
Resistividad eléctrica	$3.32 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Módulo de elasticidad	68900 N/mm ²
Carga de rotura	214 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	23.4 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$
Dimensiones ($\phi_{\text{ext}}/\phi_{\text{int}}$)	250/228 mm
Sección	8259 mm ²
Peso	22.3 Kg/m
Intensidad admisible (80°C)	6930 A
Vano admisible	24 m
Momento de inercia	5090.71 cm ⁴
Momento resistente	370.38 cm ³

Tabla 28. Características tubo principal.

- **Embarrado secundario**

Material	Aleación de aluminio 6063-T6 (AlMg0.5Si)
Resistividad eléctrica	$3.32 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$
Módulo de elasticidad	68900 N/mm ²
Carga de rotura	214 N/mm ²
Coefficiente de dilatación lineal	23.4 $\mu m/m^{\circ}C$
Dimensiones (ϕ_{ext}/ϕ_{int})	200/184 mm
Sección	4825 mm ²
Peso	13 Kg/m
Intensidad admisible (80°C)	5150 A
Vano admisible	24 m
Momento de inercia	2227.44 cm ⁴
Momento resistente	173.81 cm ³

Tabla 29. Características tubo secundario.

- **Aisladores**

En cuanto a los aisladores, estos serán de la marca ABB, modelo GOE 1550-1050, o similar. Se trata de aisladores de soporte exterior con herrajes internos.

Línea de fuga mínima	8400 mm
Altura del aislador montado	3225 mm
Diámetro parte aislante	660 mm
Carga de rotura a flexión	16000 N
Carga de rotura a torsión	6000 N
Longitud pieza de conexión	394 mm

Tabla 30. Características aislador.

4.4. Cálculo del embarrado principal

- Tensión en el tubo

La tensión en el tubo es función de los esfuerzos por cortocircuito, por peso propio y por viento. Se va a calcular la tensión para el caso más desfavorable posible.

- Esfuerzo por peso propio

El esfuerzo por peso propio incluye tanto al tubo de aluminio como al cable amortiguador. El peso del tubo es:

$$F_{pp} = p_u \cdot g \cdot l$$

- $p_u = 22.3 \text{ kg/m}$; peso unitario del tubo.

- $l = 20\text{m}$; longitud de vano.

$$F_{pp} = 22.3 \cdot 9.81 \cdot 20 = 4375.2 \text{ N}$$

El cable amortiguador será el mismo tipo de conductor empleado en los tendidos altos (ACSR Bluebird). El peso unitario de este conductor es 3.74 Kg/m en $4/3$ del vano equivalente.

$$F_{pc} = 3.74 \cdot 9.81 \cdot \frac{4}{3} \cdot 20 = 978.4 \text{ N}$$

En su conjunto, el peso total es: $F_p = 5353.6 \text{ N}$

Por último, la tensión producida en el tubo debido al esfuerzo por su propio peso se calcula como:

$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot l}{Z}$$

- $F_p = 5353.6$ N; fuerza peso propio.
- $l = 20$ m; longitud de vano.
- $Z = 370.38$ cm³; momento resistente del tubo.

$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{5353.6 \cdot (20 \cdot 10^3)}{(370.38 \cdot 10^3)} = \mathbf{36.14 \text{ N/mm}^2}$$

- Esfuerzo por viento

La fuerza causada por el viento sobre el tubo (F_v) viene dada por la siguiente expresión:

$$F_v = p_v \cdot D \cdot l$$

- p_v : presión de viento.
- $D = 250$ mm; diámetro exterior del tubo.
- $l = 20$ m; longitud de vano.

La presión de viento (p_v) sobre el tubo teniendo en cuenta que la subestación se encuentra en zona A es:

$$p_v = 500 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2$$

- $V_v = 140$ km/h; velocidad de viento categoría especial.

$$p_v = 500 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 = \mathbf{680.56 \text{ N/m}^2}$$

Calculada la presión de viento se procede a calcular la fuerza.

$$F_v = 680.56 \cdot 0.25 \cdot 20 = \mathbf{3402.6 \text{ N}}$$

Finalmente, se calcula la tensión en el tubo provocada por el viento:

$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot l}{Z}$$

- $F_p = 3402.6 \text{ N}$; fuerza de viento.
- $l = 20 \text{ m}$; longitud de vano.
- $Z = 370.38 \text{ cm}^3$; momento resistente del tubo.

$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{3402.6 \cdot (20 \cdot 10^3)}{(370.38 \cdot 10^3)} = \mathbf{22.97 \text{ N/mm}^2}$$

- Esfuerzo por cortocircuito

Primeramente, hay que calcular el mayor valor instantáneo posible de la corriente de cortocircuito. Este valor corresponde a la intensidad de cresta de cortocircuito trifásico (i_{p3}). La norma IEC 60909-0 establece que dicha corriente se puede obtener por medio de la siguiente relación:

$$i_{p3} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k$$

- K : factor que depende de R/X .
- $I_k = 50 \text{ kA}$; corriente de cortocircuito de diseño.

Donde:

$$K = 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3R/X}$$

- $R/X = 0.07$; valor típico para la red de transporte de 400 kV.

$$K = 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \cdot 0.07} = \mathbf{1.81}$$

Así:

$$i_{p3} = 1.81 \cdot \sqrt{2} \cdot 50 \text{ kA} = \mathbf{128 \text{ kA}}$$

Una vez calculada la intensidad de cresta de cortocircuito, se procede a calcular el esfuerzo causado por el mismo. Se seguirá el procedimiento detallado en la norma UNE-EN 60865-1.

El valor de cresta de la fuerza entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico (F_{m3}) viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{p3}^2 \cdot \frac{l}{a_m}$$

- $i_{p3} = 128 \text{ kA}$; intensidad de cresta de cortocircuito trifásico.

- $l = 20 \text{ m}$; longitud de vano.

- $a_m = 5 \text{ m}$; distancia equivalente entre fases.

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 128000^2 \cdot \frac{20}{5} = \mathbf{11351.2 \text{ N}}$$

Para el cálculo de las tensiones mecánicas en el embarrado rígido se desprecian las fuerzas axiales. Consecuentemente las fuerzas que tienen lugar entre los conductores principales son de flexión, relacionadas de la siguiente manera:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z}$$

- V_σ : factor de efecto dinámico.
- V_r : factor de reenganche.
- $\beta = 1$; viga de un solo vano con dos soportes simples.
- $F_{m3} = 11351.2$ N.
- $l = 20$ m; longitud de vano.
- $Z = 370.38$ cm³; momento resistente del tubo.

Los factores V_σ y V_r son función de la relación entre la frecuencia propia de un conductor principal y la frecuencia del sistema (f_c/f). La frecuencia propia de uno de los conductores principales se calcula de la siguiente manera:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}$$

- $\gamma = 1.57$; viga de un solo vano con dos soportes simples.
- $l = 20$ m; longitud de vano.
- $E = 68900$ N/mm²; módulo de elasticidad del material.
- $J = 5090.71$ cm⁴; momento de inercia del tubo.
- $m = 25.85$ kg/m; peso unitario de tubo + cable amortiguador.

$$f_c = \frac{1.57}{20^2} \cdot \sqrt{\frac{(68900 \cdot 10^6) \cdot (5090.71 \cdot 10^{-8})}{25.85}} = \mathbf{1.45 \text{ Hz}}$$

La relación entre la frecuencia propia y la del sistema es:

$$\frac{f_c}{f} = \frac{1.45 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 0.029$$

Los factores V_σ y V_r se obtienen de las gráficas mostradas en las siguientes figuras.

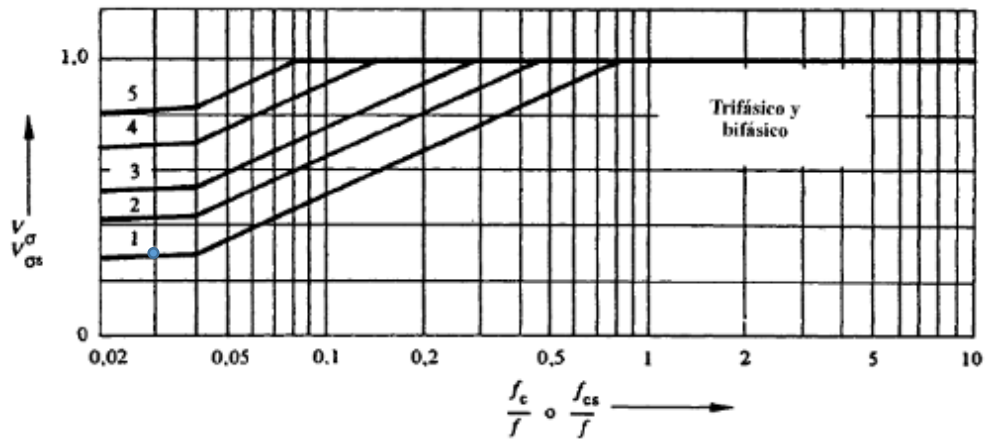


Figura 10. Relación entre V_σ y f_c/f .

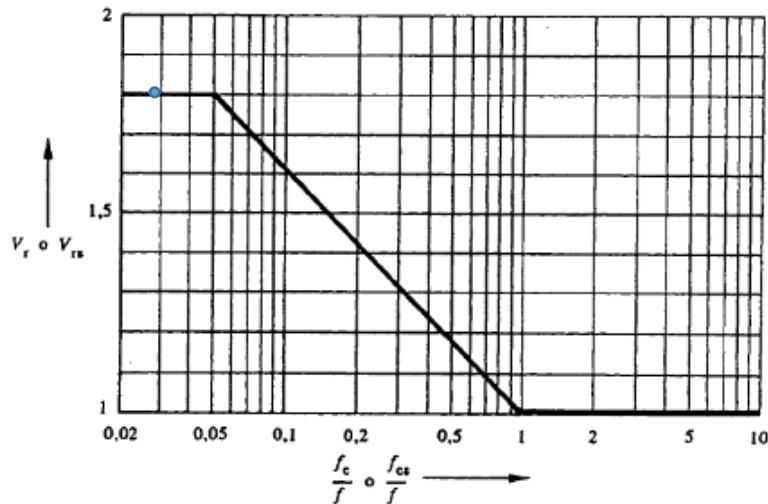


Figura 11. Relación entre V_r y f_c/f .

Los puntos marcados sobre las figuras señalan el valor de los factores. V_σ resulta 0.25 mientras que V_r (considerando reenganche automático) es 1.8.

Se puede calcular las fuerzas de flexión causadas por un cortocircuito trifásico:

$$\sigma_m = 0.25 \cdot 1.8 \cdot 1 \cdot \frac{11351.2 \cdot (20 \cdot 10^3)}{8 \cdot (370.38 \cdot 10^3)} = 34.47 \text{ N/mm}^2$$

La tensión máxima en el tubo es resultado de la suma geométrica de las tensiones ya calculadas. Se representan dichas tensiones en la sección de tubo y se resumen en una tabla a continuación.

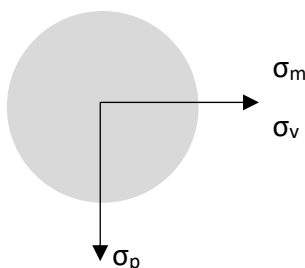


Figura 12. Tensiones sobre sección de tubo.

σ_p	σ_v	σ_m
36.14 N/mm ²	22.97 N/mm ²	34.47 N/mm ²

Tabla 31. Tensiones en tubo.

Una vez calculadas las tensiones sobre el tubo se puede hallar la máxima tensión:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_p^2 + (\sigma_v + \sigma_m)^2}$$

$$\sigma_{max} = \sqrt{36.14^2 + (22.97 + 34.47)^2} = 67.86 \text{ N/mm}^2$$

El último paso para comprobar la validez del tubo seleccionado es comparar la tensión máxima con la admisible. Tal y como se especifica en la

norma UNE-EN 60865-1 la tensión admisible es directamente proporcional al límite elástico ($R_{p0.2}$) del material y de un factor q .

$$\sigma_{adm} = q \cdot R_{p0.2}$$

- q : factor dependiente de la forma geométrica de sección de tubo.
- $R_{p0.2} = 160 \text{ N/mm}^2$; límite elástico.

El factor q se obtiene en función de la relación entre el espesor de tubo (11 mm) y el diámetro exterior (250 mm). Esta relación es del orden de 0.044, por lo que el valor de q es de forma aproximada 1.32.

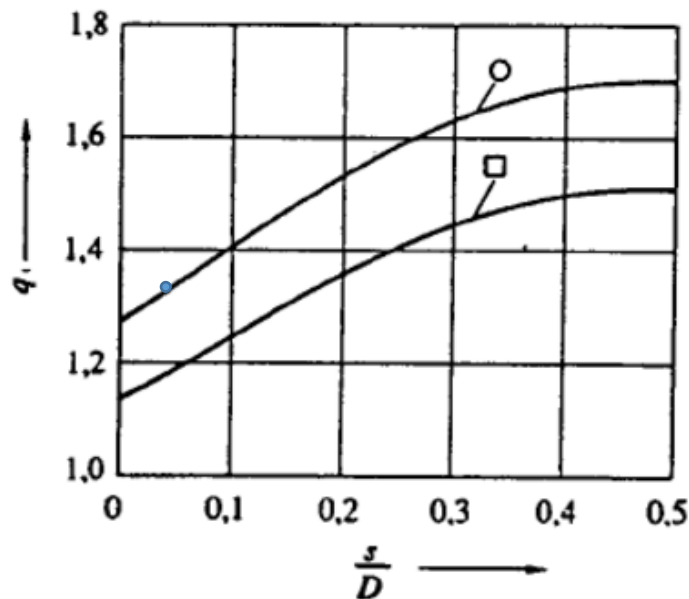


Figura 13. Relación del factor q en función de la forma de tubo.

De esta manera, la tensión admisible por el tubo es:

$$\sigma_{adm} = 1.32 \cdot 160 = 211.2 \text{ N/mm}^2$$

Se comprueba que la tensión admisible es ampliamente superior a la máxima, teniendo un coeficiente de seguridad de 3.11, lo que verifica la elección del embarrado principal.

$$C_s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{211.2}{67.86} = 3.11$$

- **Reacciones sobre aisladores soporte**

Se considera que el mayor esfuerzo se da en los aisladores intermedios de los vanos. Se tendrán en cuenta las acciones horizontales sobre el tubo y además la acción del viento sobre el aislador.

- Esfuerzo por viento

El esfuerzo por viento en tubo trasladado a los aisladores es:

$$F_{v-ais} = \alpha \cdot F_v$$

- $\alpha = 0.5$; viga de un solo vano y soportes simples.
- $F_v = 3402.6$ N; fuerza del viento sobre el tubo.

$$F_{v-ais} = 0.5 \cdot 3402.6 = 1701.3 \text{ N}$$

El esfuerzo por viento sobre los propios aisladores dado por la siguiente expresión:

$$F_{v-ais}' = \alpha \cdot p_v \cdot D_{ais} \cdot l_{ais}$$

- $\alpha = 0.5$; viga de un solo vano y soportes simples.
- $p_v = 680.56$ N/m²; presión de viento.

- Dais = 660 mm; diámetro parte aislante.

- lais = 3225 mm; longitud aislador.

$$F_{v-ais}' = 0.5 \cdot 680.56 \cdot (660 \cdot 10^{-3}) \cdot (3225 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{724.3 N}$$

- Esfuerzo por cortocircuito

El valor de esfuerzo por cortocircuito referido a los aisladores sigue la expresión:

$$F_{m3-ais} = V_f \cdot \alpha \cdot V_r \cdot F_{m3}$$

- $V_f = 0.32$; factor dependiente de frecuencia de conductor y del sistema.

- $\alpha = 0.5$; viga de un solo vano y soportes simples.

- $V_r = 1.8$; factor de reenganche.

- $F_{m3} = 11351.2 \text{ N}$; fuerza entre tubos durante cortocircuito trifásico.

$$F_{m3-ais} = 0.32 \cdot 0.5 \cdot 1.8 \cdot 11351.2 = \mathbf{3269.15 N}$$

- Esfuerzos totales sobre el propio aislador

Puesto que el mayor esfuerzo se da en los aisladores intermedios de los vanos, el esfuerzo sobre estos debido a fuerzas exteriores es:

$$F_{th} = 2 \cdot (F_{v-ais} + F_{m3-ais})$$

$$F_{th} = 2 \cdot (1701.3 + 3269.15) = \mathbf{9940.9 N}$$

El esfuerzo soportado se garantiza en la cabeza del aislador, por tanto se debe calcular la fuerza equivalente:

$$F_{th}' = F_{th} \cdot \frac{l_{ais} + l_p}{l_{ais}}$$

- $l_{ais} = 3225$ mm; longitud aislador.

- $l_p = 394$ mm; longitud pieza de conexión tubo-aislador.

$$F_{th}' = 9940.9 \cdot \frac{3225 + 394}{3225} = \mathbf{11155.4 N}$$

En última instancia, la suma de esfuerzos en las condiciones más desfavorables es:

$$F_t = F_{th}' + F_{v-ais}'$$

$$F_t = 11155.4 + 724.3 = \mathbf{11879.7 N}$$

Y el factor de seguridad:

$$C_s = \frac{16000}{11879.7} = \mathbf{1.35}$$

Dado que la carga de rotura a flexión del aislador escogido es de 16000 N, se concluye que la elección es acertada, manteniendo un adecuado factor de seguridad.

- **Calentamiento debido a cortocircuito**

La corriente térmica equivalente de corta duración (I_{th}) se calcula a partir de la siguiente relación:

$$I_{th} = I_k \cdot \sqrt{m + n}$$

- $I_k = 50$ kA; corriente de cortocircuito de diseño.
- $m = 0.1$; factor dependiente de la frecuencia del sistema y de la duración de cortocircuito.
- $n = 0.64$; factor dependiente de la duración de cortocircuito.

Los factores m y n se obtienen de las siguientes gráficas.

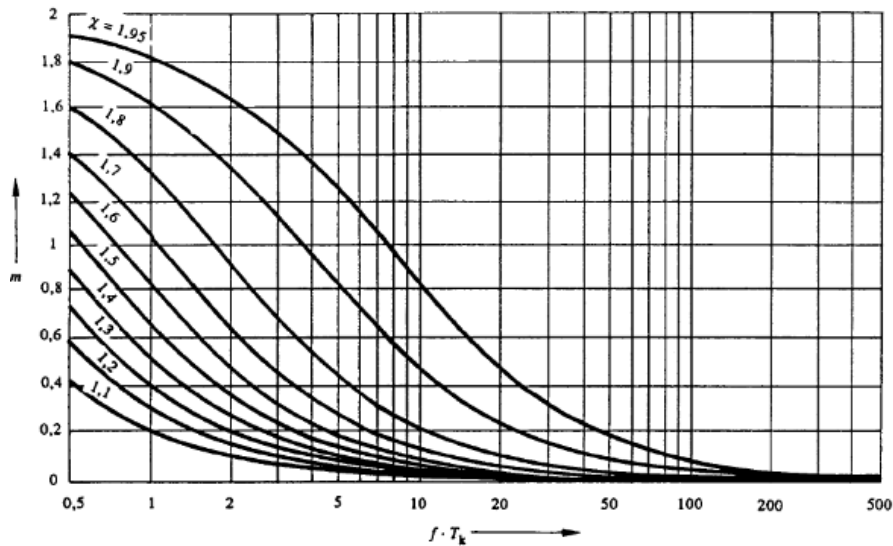


Figura 14. Factor m .

La frecuencia es 50 Hz y la duración de cortocircuito es 0.5s, por lo que se entra en la gráfica para un valor de 25 y la curva de 1.8 (factor K).

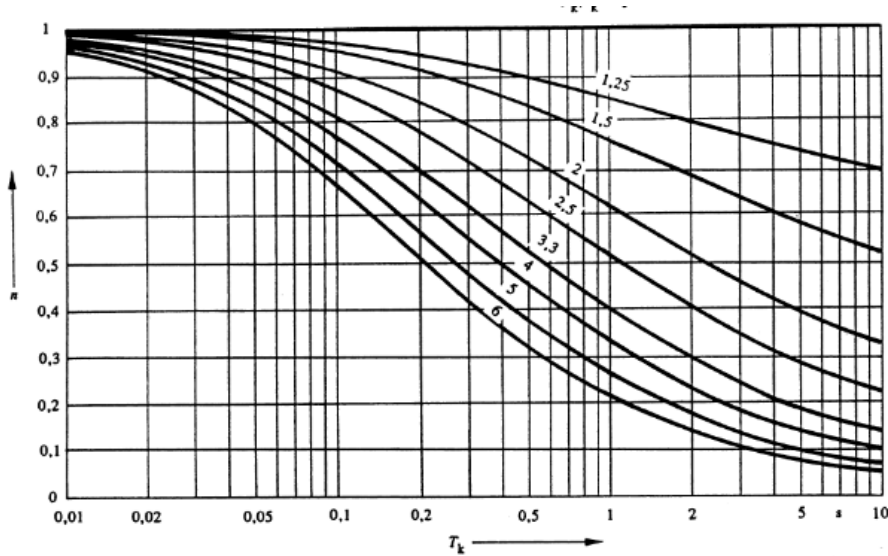


Figura 15. Factor n .

Se entra en la gráfica para un valor de duración de cortocircuito de 0.5 s. La curva correspondiente es la de 2.5, puesto que es la relación entre la intensidad de cresta de cortocircuito (128 kA) y la de diseño (50 kA).

La corriente térmica equivalente de corta duración resulta:

$$I_{th} = 50 \cdot \sqrt{0.1 + 0.64} = 43 \text{ kA}$$

Se debe comprobar que la capacidad térmica del tubo es suficiente. La densidad de corriente en cortocircuito del tubo es de 118 A/mm². Puesto que la sección del tubo es de 8259 mm²:

$$118 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \cdot 8259 \text{mm}^2 = 974.5 \text{kA} \gg I_{th}$$

La capacidad térmica del tubo es más de veinte veces superior a la corriente térmica equivalente de corta duración.

- **Flecha en el tubo**

La flecha máxima del vano sigue la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{F_p \cdot l^3}{E \cdot J}$$

- $F_p = 5353.6$ N; Peso total del embarrado.
- $l = 20$ m; longitud de vano.
- $E = 68900$ N/mm²; módulo de Young.
- $J = 5090.71$ cm⁴; momento de inercia.

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{5353.6 \cdot (20 \cdot 10^3)^3}{68900 \cdot (5090.71 \cdot 10^4)} = \mathbf{66 \text{ mm}}$$

La flecha máxima no debe suponer más de un 0.5% de la longitud total del vano. Se comprueba:

$$\frac{f}{l} = \frac{0.066 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 100\% = \mathbf{0.33\%}$$

- **Expansión del embarrado**

La elongación sufrida por el tubo (Δl) se debe a efectos térmicos y se determina a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

- $\alpha = 23.4$ $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$; coeficiente de dilatación lineal.
- $l = 20$ m; longitud de vano.

- $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; diferencia de temperatura entre la de montaje ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) y la de servicio ($85 \text{ }^\circ\text{C}$).

$$\Delta l = (23.4 \cdot 10^{-3}) \cdot 20 \cdot 50 = \mathbf{24.86 \text{ mm}}$$

Dado que la elongación es mayor del 10% del vano se instalarán piezas especiales que faciliten su absorción.

4.5. Cálculo del embarrado secundario

- **Tensión en el tubo**

La tensión en el tubo es función de los esfuerzos por cortocircuito, por peso propio y por viento. Se va a calcular la tensión para el caso más desfavorable posible.

- Esfuerzo por peso propio

El esfuerzo por peso propio incluye tanto al tubo de aluminio como al cable amortiguador. El peso del tubo es:

$$F_{pp} = p_u \cdot g \cdot l$$

- $p_u = 13 \text{ kg/m}$; peso unitario del tubo.

- $l = 10\text{m}$; longitud de vano.

$$F_{pp} = 13 \cdot 9.81 \cdot 10 = \mathbf{1275.3 \text{ N}}$$

El cable amortiguador será el mismo tipo de conductor empleado en los tendidos altos (ACSR Bluebird). El peso unitario de este conductor es 3.74 Kg/m en 4/3 del vano equivalente.

$$F_{pc} = 3.74 \cdot 9.81 \cdot \frac{4}{3} \cdot 10 = \mathbf{489.2 \text{ N}}$$

En su conjunto, el peso total es: $F_p = \mathbf{1764.5 \text{ N}}$

Por último, la tensión producida en el tubo debido al esfuerzo por su propio peso se calcula como:

$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_p \cdot l}{Z}$$

- $F_p = 1764.5 \text{ N}$; fuerza peso propio.
- $l = 10 \text{ m}$; longitud de vano.
- $Z = 173.81 \text{ cm}^3$; momento resistente del tubo.

$$\sigma_p = \frac{1}{8} \cdot \frac{1764.5 \cdot (10 \cdot 10^3)}{(173.81 \cdot 10^3)} = \mathbf{12.69 \text{ N/mm}^2}$$

- Esfuerzo por viento

La fuerza causada por el viento sobre el tubo (F_v) viene dada por la siguiente expresión:

$$F_v = p_v \cdot D \cdot l$$

- p_v : presión de viento.
- $D = 200 \text{ mm}$; diámetro exterior del tubo.
- $l = 10 \text{ m}$; longitud de vano.

La presión de viento (p_v) sobre el tubo teniendo en cuenta que la subestación se encuentra en zona A es:

$$p_v = 500 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2$$

- $V_v = 140$ km/h; velocidad de viento categoría especial.

$$p_v = 500 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 = 680.56 \text{ N/m}^2$$

Calculada la presión de viento se procede a calcular la fuerza.

$$F_v = 680.56 \cdot 0.2 \cdot 10 = 1361.12 \text{ N}$$

Finalmente, se calcula la tensión en el tubo provocada por el viento:

$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_v \cdot l}{Z}$$

- $F_p = 1361.12$ N; fuerza de viento.

- $l = 10$ m; longitud de vano.

- $Z = 173.81$ cm³; momento resistente del tubo.

$$\sigma_v = \frac{1}{8} \cdot \frac{1361.12 \cdot (10 \cdot 10^3)}{(173.81 \cdot 10^3)} = 9.79 \text{ N/mm}^2$$

- Esfuerzo por cortocircuito

Primeramente, hay que calcular el mayor valor instantáneo posible de la corriente de cortocircuito. Este valor corresponde a la intensidad de cresta de cortocircuito trifásico (i_{p3}). La norma IEC

60909-0 establece que dicha corriente se puede obtener por medio de la siguiente relación:

$$i_{p3} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k$$

- K: factor que depende de R/X.
- $I_k = 50$ kA; corriente de cortocircuito de diseño.

Donde:

$$K = 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3R/X}$$

- $R/X = 0.07$; valor típico para la red de transporte de 400 kV.

$$K = 1.02 + 0.98 \cdot e^{-3 \cdot 0.07} = \mathbf{1.81}$$

Así:

$$i_{p3} = 1.81 \cdot \sqrt{2} \cdot 50 \text{ kA} = \mathbf{128 \text{ kA}}$$

Una vez calculada la intensidad de cresta de cortocircuito, se procede a calcular el esfuerzo causado por el mismo. Se seguirá el procedimiento detallado en la norma UNE-EN 60865-1.

El valor de cresta de la fuerza entre los conductores principales durante un cortocircuito trifásico (F_{m3}) viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{p3}^2 \cdot \frac{l}{a_m}$$

- $i_{p3} = 128$ kA; intensidad de cresta de cortocircuito trifásico.

- $l = 10$ m; longitud de vano.
- $a_m = 5$ m; distancia equivalente entre fases.

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 128000^2 \cdot \frac{10}{5} = 5675.6 \text{ N}$$

Para el cálculo de las tensiones mecánicas en el embarrado rígido se desprecian las fuerzas axiales. Consecuentemente las fuerzas que tienen lugar entre los conductores principales son de flexión, relacionadas de la siguiente manera:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot Z}$$

- V_σ : factor de efecto dinámico.
- V_r : factor de reenganche.
- $\beta = 1$; viga de un solo vano con dos soportes simples.
- $F_{m3} = 5675.6$ N.
- $l = 10$ m; longitud de vano.
- $Z = 173.81$ cm³; momento resistente del tubo.

Los factores V_σ y V_r son función de la relación entre la frecuencia propia de un conductor principal y la frecuencia del sistema (f_c/f). La frecuencia propia de uno de los conductores principales se calcula de la siguiente manera:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}$$

- $\gamma = 1.57$; viga de un solo vano con dos soportes simples.

- $l = 10$ m; longitud de vano.
- $E = 68900$ N/mm²; módulo de elasticidad del material.
- $J = 2227.44$ cm⁴; momento de inercia del tubo.
- $m = 17.99$ kg/m; peso unitario de tubo + cable amortiguador.

$$f_c = \frac{1.57}{10^2} \cdot \sqrt{\frac{(68900 \cdot 10^6) \cdot (2227.44 \cdot 10^{-8})}{17.99}} = 4.59 \text{ Hz}$$

La relación entre la frecuencia propia y la del sistema es:

$$\frac{f_c}{f} = \frac{4.59 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = 0.09$$

Los factores V_σ y V_r se obtienen de las gráficas mostradas en las siguientes figuras.

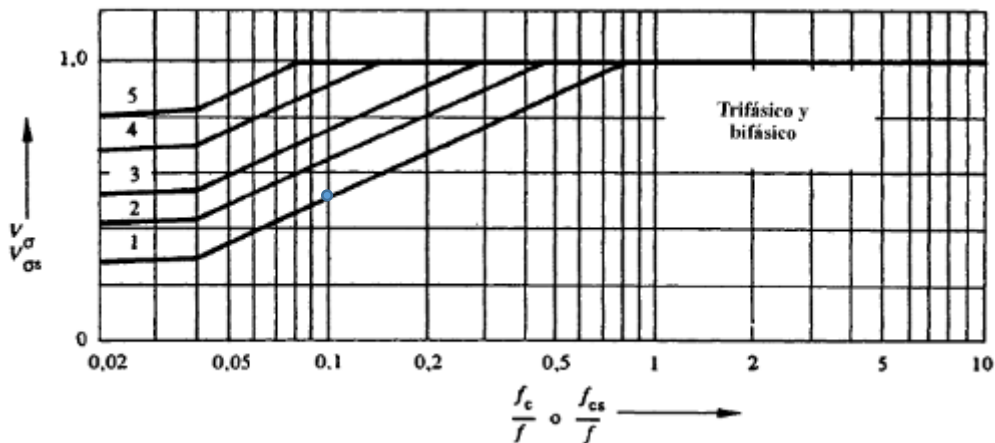


Figura 16. Relación entre V_σ y f_c/f .

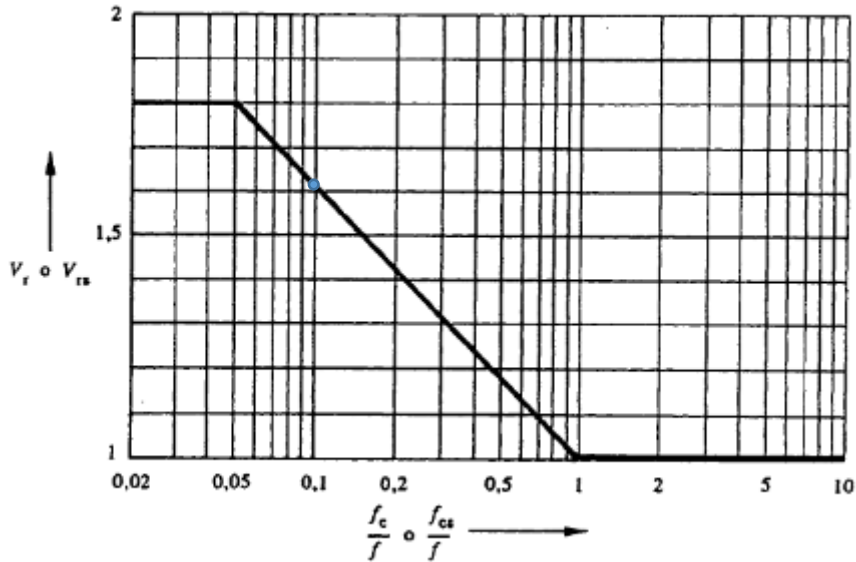


Figura 17. Relación entre V_{σ} y f_c/f .

Los puntos marcados sobre las figuras señalan el valor de los factores. V_{σ} resulta 0.44 mientras que V_r (considerando reenganche automático) es 1.6.

Se puede calcular las fuerzas de flexión causadas por un cortocircuito trifásico:

$$\sigma_m = 0.44 \cdot 1.6 \cdot 1 \cdot \frac{5675.6 \cdot (10 \cdot 10^3)}{8 \cdot (173.81 \cdot 10^3)} = 28.74 \text{ N/mm}^2$$

La tensión máxima en el tubo es resultado de la suma geométrica de las tensiones ya calculadas. Se representan dichas tensiones en la sección de tubo y se resumen en una tabla a continuación.

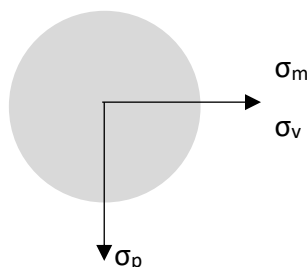


Figura 18. Tensiones sobre sección de tubo.

σ_p	σ_v	σ_m
12.69 N/mm ²	9.79 N/mm ²	28.74 N/mm ²

Tabla 32. Tensiones en tubo.

Una vez calculadas las tensiones sobre el tubo se puede hallar la máxima tensión:

$$\sigma_{max} = \sqrt{\sigma_p^2 + (\sigma_v + \sigma_m)^2}$$

$$\sigma_{max} = \sqrt{12.69^2 + (9.79 + 28.74)^2} = 40.57 \text{ N/mm}^2$$

El último paso para comprobar la validez del tubo seleccionado es comparar la tensión máxima con la admisible. Tal y como se especifica en la norma UNE-EN 60865-1 la tensión admisible es directamente proporcional al límite elástico (Rp0.2) del material y de un factor q.

$$\sigma_{adm} = q \cdot R_{p0.2}$$

- q: factor dependiente de la forma geométrica de sección de tubo.
- $R_{p0.2} = 160 \text{ N/mm}^2$; límite elástico.

El factor q se obtiene en función de la relación entre el espesor de tubo (8 mm) y el diámetro exterior (200 mm). Esta relación es del orden de 0.04, por lo que el valor de q es de forma aproximada 1.3.

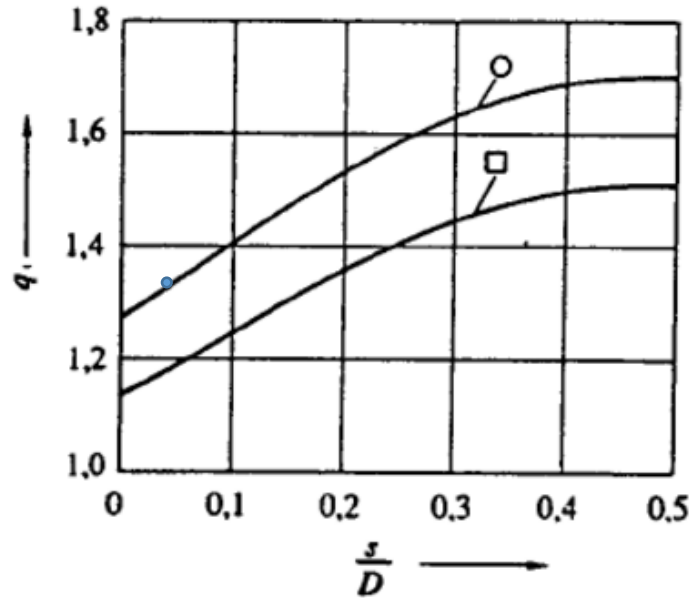


Figura 19. Relación del factor q en función de la forma de tubo.

De esta manera, la tensión admisible por el tubo es:

$$\sigma_{adm} = 1,3 \cdot 160 = 208 \text{ N/mm}^2$$

Se comprueba que la tensión admisible es ampliamente superior a la máxima, teniendo un coeficiente de seguridad de 5.13, lo que verifica la elección del embarrado principal.

$$C_s = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{208}{40.57} = 5.13$$

- **Reacciones sobre aisladores soporte**

Se considera que el mayor esfuerzo se da en los aisladores intermedios de los vanos. Se tendrán en cuenta las acciones horizontales sobre el tubo y además la acción del viento sobre el aislador.

- Esfuerzo por viento

El esfuerzo por viento en tubo trasladado a los aisladores es:

$$F_{v-ais} = \alpha \cdot F_v$$

- $\alpha = 0.5$; viga de un solo vano y soportes simples.
- $F_v = 1361.12$ N; fuerza del viento sobre el tubo.

$$F_{v-ais} = 0.5 \cdot 1361.12 = \mathbf{680.56\ N}$$

El esfuerzo por viento sobre los propios aisladores dado por la siguiente expresión:

$$F_{v-ais}' = \alpha \cdot p_v \cdot D_{ais} \cdot l_{ais}$$

- $\alpha = 0.5$; viga de un solo vano y soportes simples.
- $p_v = 680.56$ N/m²; presión de viento.
- $D_{ais} = 660$ mm; diámetro parte aislante.
- $l_{ais} = 3225$ mm; longitud aislador.

$$F_{v-ais}' = 0.5 \cdot 680.56 \cdot (660 \cdot 10^{-3}) \cdot (3225 \cdot 10^{-3}) = \mathbf{724.3\ N}$$

- Esfuerzo por cortocircuito

El valor de esfuerzo por cortocircuito referido a los aisladores sigue la expresión:

$$F_{m3-ais} = V_f \cdot \alpha \cdot V_r \cdot F_{m3}$$

- $V_f = 0.6$; factor dependiente de frecuencia de conductor y del sistema.

- $\alpha = 0.5$; viga de un solo vano y soportes simples.
- $V_r = 1.6$; factor de reenganche.
- $F_{m3} = 5675.6$ N; fuerza entre tubos durante cortocircuito trifásico.

$$F_{m3-ais} = 0.6 \cdot 0.5 \cdot 1.6 \cdot 5675.6 = 2724.29 \text{ N}$$

- Esfuerzos totales sobre el propio aislador

Puesto que el mayor esfuerzo se da en los aisladores intermedios de los vanos, el esfuerzo sobre estos debido a fuerzas exteriores es:

$$F_{th} = 2 \cdot (F_{v-ais} + F_{m3-ais})$$

$$F_{th} = 2 \cdot (680.56 + 2724.29) = 6809.7 \text{ N}$$

El esfuerzo soportado se garantiza en la cabeza del aislador, por tanto se debe calcular la fuerza equivalente:

$$F_{th}' = F_{th} \cdot \frac{l_{ais} + l_p}{l_{ais}}$$

- $l_{ais} = 3225$ mm; longitud aislador.
- $l_p = 394$ mm; longitud pieza de conexión tubo-aislador.

$$F_{th}' = 6809.7 \cdot \frac{3225 + 394}{3225} = 7641.64 \text{ N}$$

En última instancia, la suma de esfuerzos en las condiciones más desfavorables es:

$$F_t = F_{th}' + F_{v-ais}'$$

$$F_t = 7641.64 + 724.3 = \mathbf{8365.94\ N}$$

Y el factor de seguridad:

$$C_s = \frac{16000}{8365.94} = \mathbf{1.91}$$

Dado que la carga de rotura a flexión del aislador escogido es de 16000 N, se concluye que la elección es acertada, manteniendo un adecuado factor de seguridad.

- **Calentamiento debido a cortocircuito**

La corriente térmica equivalente de corta duración (I_{th}) se calcula a partir de la siguiente relación:

$$I_{th} = I_k \cdot \sqrt{m + n}$$

- $I_k = 50\ \text{kA}$; corriente de cortocircuito de diseño.
- $m = 0.1$; factor dependiente de la frecuencia del sistema y de la duración de cortocircuito.
- $n = 0.64$; factor dependiente de la duración de cortocircuito.

Los factores m y n se obtienen de las siguientes gráficas.

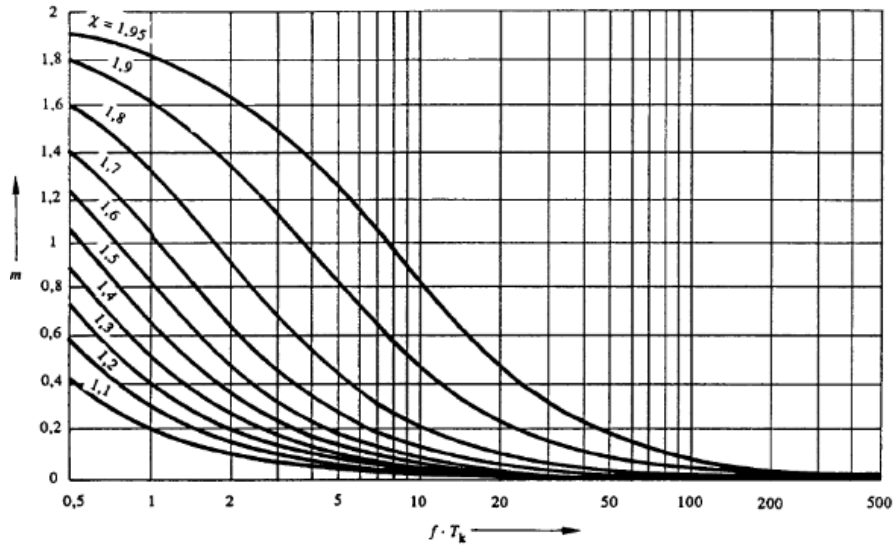


Figura 20. Factor m.

La frecuencia es 50 Hz y la duración de cortocircuito es 0.5s, por lo que se entra en la gráfica para un valor de 25 y la curva de 1.8 (factor K).

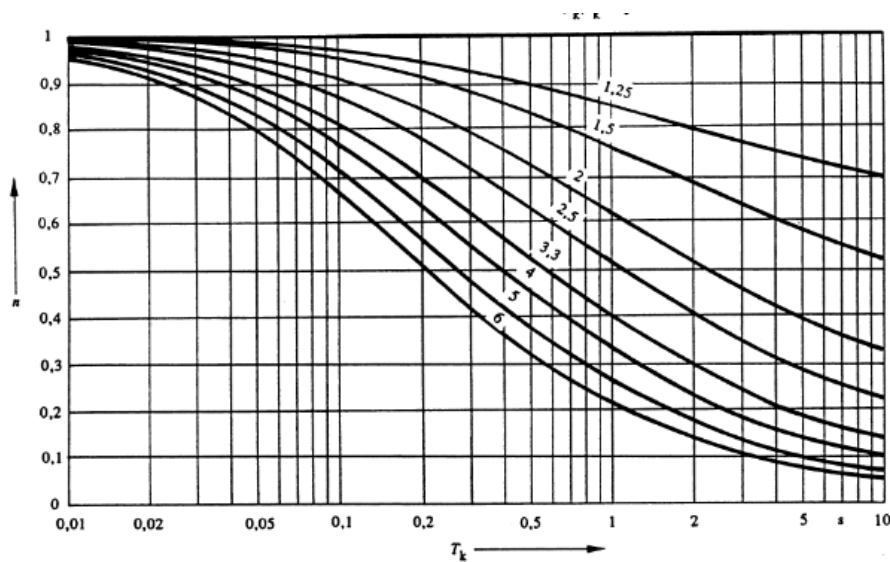


Figura 21. Factor n.

Se entra en la gráfica para un valor de duración de cortocircuito de 0.5 s. La curva correspondiente es la de 2.5, puesto que es la relación entre la intensidad de cresta de cortocircuito (128 kA) y la de diseño (50 kA).

La corriente térmica equivalente de corta duración resulta:

$$I_{th} = 50 \cdot \sqrt{0.1 + 0.64} = 43 \text{ kA}$$

Se debe comprobar que la capacidad térmica del tubo es suficiente. La densidad de corriente en cortocircuito del tubo es de 118 A/mm². Puesto que la sección del tubo es de 4825 mm²:

$$118 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \cdot 4825 \text{mm}^2 = 569.35 \text{ kA} \gg I_{th}$$

La capacidad térmica del tubo es más de diez veces superior a la corriente térmica equivalente de corta duración.

- **Flecha en el tubo**

La flecha máxima del vano sigue la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{F_p \cdot l^3}{E \cdot J}$$

- $F_p = 1764.5 \text{ N}$; Peso total del embarrado.
- $l = 10 \text{ m}$; longitud de vano.
- $E = 68900 \text{ N/mm}^2$; módulo de Young.
- $J = 2227.44 \text{ cm}^4$; momento de inercia.

$$f = \frac{1}{185} \cdot \frac{1764.5 \cdot (10 \cdot 10^3)^3}{68900 \cdot (2227.44 \cdot 10^4)} = 6.21 \text{ mm}$$

La flecha máxima no debe suponer más de un 0.5% de la longitud total del vano. Se comprueba:

$$\frac{f}{l} = \frac{0.00621 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 100\% = \mathbf{0.06\%}$$

- **Expansión del embarrado**

La elongación sufrida por el tubo (Δl) se debe a efectos térmicos y se determina a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

- $\alpha = 23.4 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$; coeficiente de dilatación lineal.
- $l = 10 \text{ m}$; longitud de vano.
- $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; diferencia de temperatura entre la de montaje ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) y la de servicio ($85 \text{ }^\circ\text{C}$).

$$\Delta l = (23.4 \cdot 10^{-3}) \cdot 10 \cdot 50 = \mathbf{12.43 \text{ mm}}$$

Dado que la elongación es mayor del 10% del vano se instalarán piezas especiales que faciliten su absorción.

5. Efecto corona

El efecto corona provoca entre otras cosas ruido audible y radio interferencias. Por este motivo en este capítulo se calcula la tensión crítica disruptiva (U_c), que es aquella a la que se rompe la rigidez dieléctrica del aire, dando lugar al efecto corona.

La tensión crítica disruptiva se puede calcular mediante la fórmula de Peek:

$$U_c = m_0 \cdot m_t \cdot \delta \cdot E_{0f} \cdot r \cdot \ln\left(\frac{D}{r}\right)$$

- $m_0 = 1$; coeficiente de rugosidad del conductor (liso).
- $m_t = 0.8$; coeficiente ambiental (húmedo es más desfavorable).
- δ : densidad relativa del aire.
- E_{0f} : valor eficaz de campo eléctrico crítico para aparición de efecto corona.
- r : radio exterior del tubo.
- D : distancia media geométrica entre conductores

La densidad relativa del aire se calcula como:

$$\delta = \frac{3.921 \cdot h}{273 + T}$$

- h : presión relativa.
- $T = 36.8$ °C; temperatura más alta prevista.

Donde:

$$\log h = \log 76 - \frac{y}{18336}$$

- $y = 144$ m; altura topográfica del área de la subestación.

$$\log h = \log 76 - \frac{144}{18336} \longrightarrow \mathbf{h = 74.64 \text{ cmHg}}$$

$$\delta = \frac{3.921 \cdot 74.64}{273 + 36.8} = \mathbf{0.94 \text{ kg/m}^3}$$

La distancia media geométrica para un circuito trifásico es:

$$D = \sqrt[3]{d_{0-4} \cdot d_{4-8} \cdot d_{0-8}}$$

La distancia entre fases es de 5m, por lo tanto entre la fase 0 y la fase 8 habrá 10 m de distancia. Así:

$$D = \sqrt[3]{5 \cdot 5 \cdot 10} = 630 \text{ cm}$$

Hay que hacer distinción entre embarrado principal y secundario pues los factores restantes dependen del tipo de embarrado.

5.1. Embarrado principal

El valor eficaz de campo eléctrico crítico para aparición de efecto corona se puede hallar a través de la siguiente expresión para conductores paralelos:

$$E_{0f} = \frac{\delta \cdot E_p \cdot \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right)}{\sqrt{2}}$$

- $\delta = 0.94 \text{ kg/m}^3$; densidad relativa del aire.
- $E_p = 31 \text{ kV/cm}$; potencial eléctrico.
- $r = 12.5 \text{ cm}$; radio exterior del tubo.

$$E_{0f} = \frac{0.94 \cdot 31 \cdot \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{0.94 \cdot 12.5}}\right)}{\sqrt{2}} = 22.46 \text{ kV/cm}$$

La tensión crítica disruptiva para el embarrado principal es:

$$U_c = 1 \cdot 0.8 \cdot 0.94 \cdot 22.46 \cdot 12.5 \cdot \ln\left(\frac{630}{12.5}\right) = 827.61 \text{ kV}$$

La tensión más alta esperada en la subestación (420 kV) es inferior a la tensión crítica disruptiva calculada por lo que no existirá problema alguno de ruidos o radio interferencias causado por el embarrado principal.

5.2. Embarrado secundario

El valor eficaz de campo eléctrico crítico para aparición de efecto corona se puede hallar a través de la siguiente expresión para conductores paralelos:

$$E_{of} = \frac{\delta \cdot E_p \cdot \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right)}{\sqrt{2}}$$

- $\delta = 0.94 \text{ kg/m}^3$; densidad relativa del aire.
- $E_p = 31 \text{ kV/cm}$; potencial eléctrico.
- $r = 10 \text{ cm}$; radio exterior del tubo.

$$E_{of} = \frac{0.94 \cdot 31 \cdot \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{0.94 \cdot 10}}\right)}{\sqrt{2}} = \mathbf{22.68 \text{ kV/cm}}$$

La tensión crítica disruptiva para el embarrado principal es:

$$U_c = 1 \cdot 0.8 \cdot 0.94 \cdot 22.68 \cdot 10 \cdot \ln\left(\frac{630}{10}\right) = \mathbf{706.63 \text{ kV}}$$

La tensión más alta esperada en la subestación (420 kV) es inferior a la tensión crítica disruptiva calculada por lo que no existirá problema alguno de ruidos o radio interferencias provocado por el embarrado secundario.

6. Autoválvulas

Para proteger a los transformadores y las líneas frente a sobretensiones de frente rápido (impulsos tipo rayo) la subestación dispondrá de cuatro autoválvulas. En la ITC-RAT-09 se especifica que deben diseñarse conforme a la norma UNE-EN 60099-4. Los bornes de tierra de los pararrayos y, en su caso, los cables de guarda, se unirán a la toma de tierra de acuerdo con lo establecido en la ITC-RAT 13.

El criterio de selección de la autoválvula sigue el esquema mostrado en la figura.

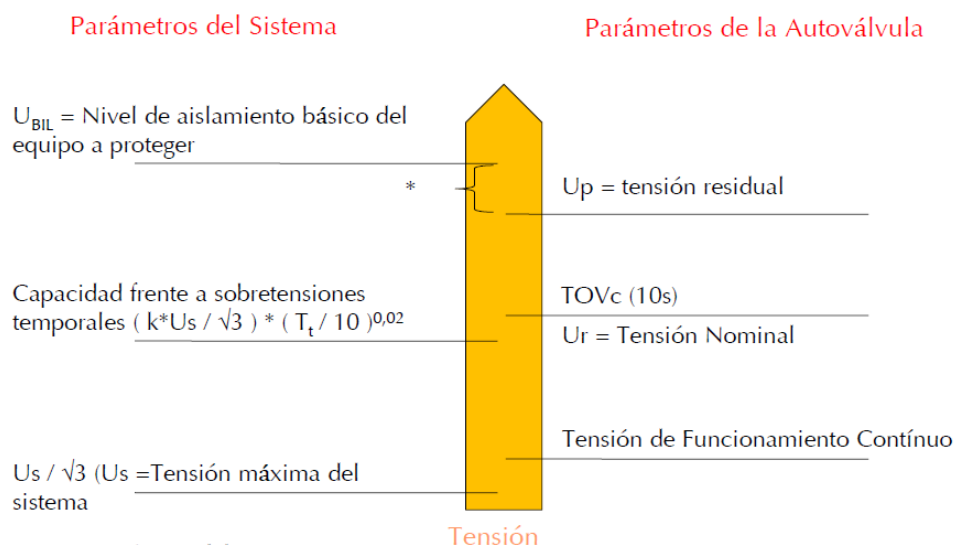


Figura 22. Esquema parámetros autoválvula.

6.1. Criterios de diseño

- **Tensión de funcionamiento continuo**

La tensión de funcionamiento continuo es la tensión eficaz máxima que puede aplicarse de forma permanente. Esta tensión viene definida por la tensión máxima del material siguiendo la siguiente relación.

$$U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{420 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 242.5 \text{ kV}$$

- **Capacidad frente a sobretensiones temporales**

La capacidad frente a sobretensiones temporales es la máxima tensión eficaz soportada durante un tiempo determinado. Representa la capacidad para soportar desde un punto de vista energético.

La norma UNE establece la siguiente expresión empírica para determinar la amplitud de una sobre tensión temporal equivalente de 10 s de duración:

$$TOV_{10s} = k \cdot U_c \cdot \left(\frac{T_t}{10}\right)^{0.02}$$

- k=1.4; neutro rígido a tierra.
- Tt=0.5 s; tiempo de despeje de faltas a tierra

$$TOV_{10s} \geq 1.4 \cdot 242.5 \text{ kV} \cdot \left(\frac{0.5 \text{ s}}{10}\right)^{0.02} = 319.75 \text{ kV}$$

- **Nivel básico de aislamiento (BIL)**

Para calcular el nivel básico de aislamiento básico de los transformadores se aplica un margen de protección, habitualmente de valor 1.4. El nivel de aislamiento normalizado calculado en el apartado de coordinación de aislamiento para sobretensiones tipo rayo es de 1425 kV.

$$U_{BIL} \leq \frac{1425 \text{ kV}}{1.4} = 1017.9 \text{ kV}$$

- **Corriente nominal de descarga**

La corriente nominal de descarga es el valor de cresta del impulso de corriente de una onda tipo rayo 8/20 μ s. La curva relaciona el nivel básico de aislamiento con la corriente nominal de descarga para distintos tipos de onda entre los que se encuentra la onda 8/20 μ s. Puesto que se tratan de valores normalizados, se puede establecer que la corriente de descarga es de 20 kA

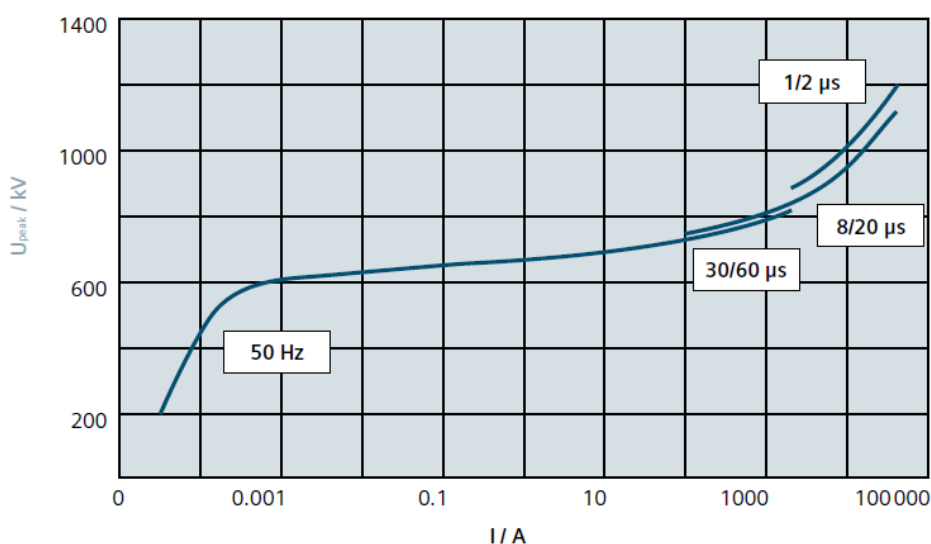


Figura 23. Corriente nominal de descarga.

- **Clase de descarga**

La clase de descarga determina la capacidad de absorción de energía del pararrayos. En la tabla se muestra la clase de descarga adecuada en función de la tensión nominal del sistema.

Tensión nominal del sistema	Clasificación autoválvulas					
	5 kA	10 kA			20 kA	
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
$U_n \leq 66$ kV						
$66 < U_n \leq 220$ kV						
$220 < U_n \leq 380$ kV						
$U_n > 380$ kV						

Tabla 33. Clase de descarga según tensión nominal.

La tensión nominal de la subestación es de 400 kV. De esta manera, la autoválvula puede ser tanto de clase 4 como 5. Asimismo, se confirma que la corriente de descarga de la autoválvula ha de ser 20 kA.

- **Línea de fuga**

Es de gran importancia conocer la línea de fuga mínima del aislamiento del pararrayos para la correcta elección del mismo. Dicha línea de fuga mínima se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L_{fuga-min} = L_e \cdot U_s$$

- $L_e = 20$ mm/kV; distancia de fuga nominal mínima.
- $U_s = 420$ kV; tensión más elevada de la red.

Así, la línea de fuga mínima del aislamiento es:

$$L_{fuga-min} = L_e \cdot U_s = 20 \frac{mm}{kV} \cdot 420 kV = 8400 mm$$

6.2. Elección del modelo

Todas las características calculadas se resumen en la siguiente tabla, a partir de la cual se elegirá la autoválvula que cumpla con todas ellas.

Tensión de funcionamiento continuo	$U_c \geq 242.5 \text{ kV}$
Tensión nominal	$U_r \geq 319.75 \text{ kV}$
Tensión residual	$U_p \leq 1017.9 \text{ kV}$
Corriente nominal de descarga	20 kA
Clase de descarga	4 / 5
Línea de fuga	$L_{\text{fuga}} \geq 8400 \text{ mm}$

Tabla 34. Características necesarias autoválvula.

Se elige la autoválvula de la marca SIEMENS, en concreto el modelo 3EL2-336-6LJ43-4DF3. Esta autoválvula presenta las siguientes características.

Tensión de funcionamiento continuo	$U_c = 269 \text{ kV}$
Tensión nominal	$U_r = 336 \text{ kV}$
Tensión residual	$U_p = 887 \text{ kV}$
Corriente nominal de descarga	20 kA
Clase de descarga	4
Línea de fuga	$L_{\text{fuga}} = 11460 \text{ mm}$

Tabla 35. Características autoválvula elegida.

- **Distancia al transformador**

Cuanto más cerca se encuentra la autoválvula del transformador, mejor protege al equipo. Constituye un elemento esencial de protección, no obstante, si no se sitúa dentro de la distancia debida no protegerá eficazmente al transformador.

La distancia máxima a la que se puede colocar la autoválvula viene definida por la siguiente relación:

$$D_{max} = \frac{U_{BIL} - U_p}{2 \cdot S} \cdot V$$

- $U_{BIL} = 1017.9 \text{ kV}$
- $U_p = 887 \text{ kV}$; tensión residual del pararrayos elegido para una onda de 8/20 μs y corriente nominal de descarga de 20 kA.
- $S = 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$; pendiente de onda de sobretensión.
- $V = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$; velocidad de propagación de la onda

Con los datos ya detallados se procede a su cálculo:

$$D_{max} = \frac{1017.9 \text{ kV} - 887 \text{ kV}}{2 \cdot 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}} \cdot 300 \frac{\text{m}}{\mu\text{s}} = \mathbf{19.64 \text{ m}}$$

Se concluye que cada autoválvula debe estar situada a una distancia inferior a 19.64 m del transformador pertinente.

7. Instalaciones de puesta a tierra

7.1. Red de tierras inferiores

El cálculo y diseño de las instalaciones de puesta a tierra se hará atendiendo a lo establecido en el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión, en la instrucción ITC-RAT 13.

También se tendrá en cuenta la norma IEEE-80 *Guide for Safety in AC Substation Grounding*.

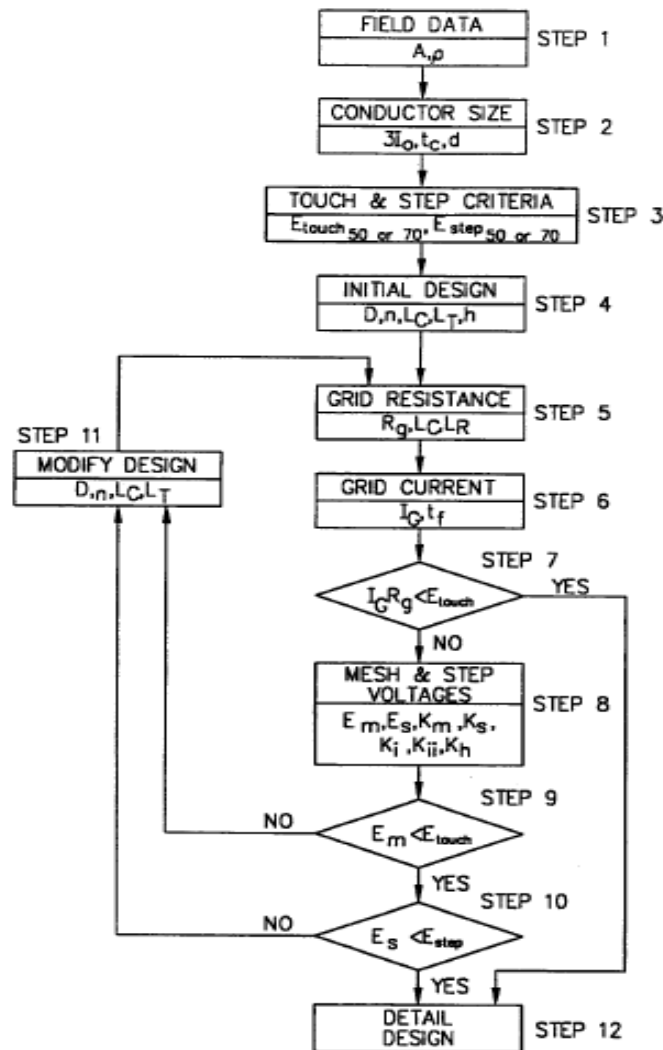


Figura 24. Pasos del diseño de la red de tierras inferiores.

La figura muestra el proceso de diseño de la red de tierras inferiores que se va a seguir.

- **Datos del terreno**

Se considera como valor de la resistividad del terreno, a efectos de cálculo, $150 \Omega \cdot m$.

La subestación tiene unas dimensiones de 197 x 147 m, y además se cubrirá 1.5 m más a cada lado de la valla. Por tanto las dimensiones de la malla son de 200 x 150 m.

- **Tamaño del conductor**

Se empleará conductor de cobre para la malla de puesta a tierra. Hay numerosos factores que influyen en la mínima sección necesaria (A_{mm^2}) del conductor y se recogen en la norma IEEE-80 en la siguiente relación

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

- $I = 15\text{kA}$; corriente de falta monofásica.
- $TCAP = 3.42 \text{ J/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$; capacidad térmica.
- $t_c = 0.5 \text{ s}$; duración de la falta.
- $\alpha_r = 0.00393^\circ\text{C}^{-1}$; coeficiente térmico a 20°C .
- $\rho_r = 1.72 \mu\Omega \cdot \text{cm}$; resistividad del cobre a 20°C .
- $K_0 = 234^\circ\text{C}$; inverso del coeficiente térmico a 0°C .
- $T_m = 1083^\circ\text{C}$; Temperatura de fusión.
- $T_a = 20^\circ\text{C}$; temperatura ambiente.

Se despeja la sección, obteniendo:

$$A_{mm^2} = \frac{15}{\sqrt{\left(\frac{3.42 \cdot 10^{-4}}{0.5 \cdot 0.00393 \cdot 1.72}\right) \ln\left(\frac{234 + 1083}{234 + 20}\right)}} = 36.76 \text{ mm}^2$$

Por otra parte, el reglamento establece que la máxima densidad de corriente de un conductor de cobre para la puesta a tierra es 160 A/mm^2 . De esta manera:

$$A_{mm^2} = \frac{15000 A}{160 A/mm^2} = 93.75 mm^2$$

La condición exigida por el reglamento es más restrictiva que la marcada por el IEEE, por tanto se empleará conductor de cobre de 95 mm² (diámetro de 11 mm).

- **Tensiones de paso y contacto máximas admisibles**

En la instrucción ITC-RAT 13 están indicados los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función del tiempo de duración de la falta. Se pueden observar en la siguiente tabla:

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 25. Tensiones de contacto aplicadas admisibles.

Para una duración de 0.5 s, la tensión de contacto admisible es de 204 V. La tensión de paso admisible aplicada entre los dos pies de una persona, considerando únicamente la propia impedancia del cuerpo humano se define como diez veces el valor admisible de la tensión de contacto aplicada. Por tanto, la tensión de paso admisible es de 2040 V.

- U_{ca} = 204 V

- $U_{pa} = 2040 \text{ V}$

Tras considerar los valores admisibles de la tensión de contacto y paso aplicada, se deben establecer las máximas tensiones en la subestación, teniendo en cuenta todas las resistencias adicionales que intervienen en el circuito.

Para la capa superficial de la subestación se va a emplear un espesor de 10 cm de grava, cuya resistividad es $3000 \Omega \cdot \text{m}$. Al recubrir el terreno, ha de calcularse la resistividad superficial aparente, obtenida al multiplicar la resistividad de la grava por un coeficiente reductor C_s .

$$C_s = 1 - 0.106 \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2h_s + 0.106} \right)$$

- $\rho = 150 \Omega \cdot \text{m}$; resistividad del terreno.
- $\rho^* = 3000 \Omega \cdot \text{m}$; resistividad de la capa superficial.
- $h_s = 0.1 \text{ m}$; espesor de la capa superficial.

Se tiene que el coeficiente reductor es:

$$C_s = 1 - 0.106 \cdot \left(\frac{1 - \frac{150}{3000}}{2 \cdot 0.1 + 0.106} \right) = \mathbf{0.67}$$

Conociendo el coeficiente reductor se procede a calcular la resistividad superficial aparente.

$$\rho_s = (\rho^*) \cdot C_s = 3000 \cdot 0.67 = \mathbf{2012.75 \Omega \cdot m}$$

En última instancia, se determinan las máximas tensiones de contacto y paso admisibles empleando las siguientes expresiones del Reglamento.

$$U_c = U_{ca} \cdot \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1.5 \cdot \rho_s}{Z_B} \right]$$

$$U_p = U_{pa} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{Z_B} \right]$$

- $R_{a1} = 2000 \Omega$; resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante.
- $Z_B = 1000 \Omega$; impedancia del cuerpo humano.

$$U_c = 204 \cdot \left[1 + \frac{\frac{2000}{2} + 1.5 \cdot 2012.75}{1000} \right] = \mathbf{1023.9 V}$$

$$U_p = 2040 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot 2000 + 6 \cdot 2012.75}{1000} \right] = \mathbf{34836.1 V}$$

- **Diseño**

Como ya se ha comentado, las dimensiones de la malla son 200 x 150 m, ocupando una superficie de 30000 m². El conductor empleado es el cobre de sección 95 mm², enterrado a una profundidad de 0.8 m. La malla estará formada por una retícula de 10 m. De esta forma, la longitud total de conductor es de 6350 m. Los siguientes apartados van enfocados a comprobar el correcto funcionamiento del diseño.

- **Resistencia de puesta a tierra**

La resistencia de la puesta a tierra depende del tipo de electrodo elegido. En la siguiente figura se detalla la resistencia para cada caso.

Tipo de electrodo	Resistencia en ohmios
Placa enterrada profunda -	$R = 0,8 \cdot \frac{\rho}{P}$
Placa enterrada superficial -	$R = 1,6 \cdot \frac{\rho}{P}$
Pica vertical -	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente -	$R = \frac{2\rho}{L}$
Malla de tierra -	$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$

Figura 26. Resistencias de puesta a tierra

Para la malla de tierra la expresión a emplear es:

$$R = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L}$$

- $\rho = 150 \Omega \cdot \text{m}$; resistividad del terreno.
- $r = 97.72 \text{ m}$; radio de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla.
- $L = 63500 \text{ m}$; longitud total de los conductores enterrados.

$$R = \frac{150}{4 \cdot 97.72} + \frac{150}{6350} = \mathbf{0.407 \Omega}$$

- **Evaluación de tensiones de paso y contacto**

Se van a calcular las tensiones de paso y contacto aplicadas siguiendo la metodología explicada en la norma IEEE-80. Las expresiones presentadas en dicha norma son:

$$U'_c = \frac{\rho \cdot k_m \cdot k_i \cdot I_g}{L_m}$$

$$U'p = \frac{\rho \cdot k_s \cdot k_i \cdot I_g}{L_s}$$

Donde:

- ρ : resistividad del terreno.
- k_m : factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de contacto.
- k_s : factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de paso.
- k_i : factor de corrección por efecto de mayor densidad de corriente en los extremos de la malla.
- I_g : Corriente de falta.
- L_m : longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de contacto.
- L_s : longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de paso.

Se procede a calcular todos los parámetros de los cuales dependen las tensiones de paso y contacto. Estos parámetros dependen a su vez de otros parámetros, por lo que se irá calculando de forma progresiva.

$$n = \frac{2 \cdot L_c}{L_p} \cdot \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}}$$

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

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

$$L_m = L_c$$

$$L_s = 0.75 \cdot L_c$$

- $h = 0.8$ m; profundidad de la malla de tierra.
- $L_c = 6350$ m; longitud total de los conductores enterrados.
- $L_p = 700$ m; longitud perimetral.
- $A = 30000$ m²; superficie de la malla de tierra.

Se obtiene:

$$n = \frac{2 \cdot 6350}{700} \cdot \sqrt{\frac{700}{4\sqrt{30000}}} = \mathbf{18.24}$$

$$k_h = \sqrt{1 + 0.8} = \mathbf{1.34}$$

$$k_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot 18.24)^{2/18.24}} = \mathbf{0.67}$$

$$L_m = \mathbf{6350 \text{ m}}$$

$$L_s = 0.75 \cdot 6350 = \mathbf{4762.5 \text{ m}}$$

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right) + \frac{k_{ii}}{k_h} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)} \right) \right)$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} \cdot (1 - 0.5^{n-2}) \right)$$

$$k_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

- $D = 10$ m; separación media entre conductores.
- $d = 0.011$ m; diámetro de los conductores.

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{10^2}{16 \cdot 0.8 \cdot 0.011} + \frac{(10+2 \cdot 0.8)^2}{8 \cdot 10 \cdot 0.011} - \frac{0.8}{4 \cdot 0.011} \right) + \frac{0.67}{1.34} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot 18.24 - 1)} \right) \right) = \mathbf{0.76}$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 0.8} + \frac{1}{10 + 0.8} + \frac{1}{10} \cdot (1 - 0.5^{18.24-2}) \right) = \mathbf{0.26}$$

$$k_i = 0.644 + 0.148 \cdot 18.24 = \mathbf{3.34}$$

Ya se tienen todos los factores necesarios para el cálculo de las tensiones de paso y contacto aplicadas.

$$U'_c = \frac{150 \cdot 0.76 \cdot 3.34 \cdot 15000}{6350} = \mathbf{899.43 \text{ V}}$$

$$U'_p = \frac{150 \cdot 0.26 \cdot 3.34 \cdot 15000}{4762.5} = \mathbf{410.27 \text{ V}}$$

A continuación se comparan las tensiones aplicadas con las máximas admisibles.

U_c	1023.9 V
U'_c	899.43 V
U_p	34836.1 V
U'_p	410.27 V

Tabla 36. Comparación tensiones aplicadas y admisibles.

Es apreciable que las tensiones admisibles son superiores a las aplicadas, por lo tanto el diseño de la red de tierras inferiores es satisfactorio.

7.2. Red de tierras superiores

La red de tierras superiores es necesaria para captar las descargas atmosféricas y conducirlas a la malla de tierra enterrada bajo la subestación. De esta manera se protege al personal y componentes estructurales como los equipos eléctricos y demás instalaciones que forman la subestación.

Al tratarse de una subestación tipo intemperie, la red de tierras superiores consiste en un conjunto de hilos de guarda, de acero o alumoweld y de puntas Franklin sobre columnas.

El criterio de seguridad establecido es el de apantallamiento total de los embarrados y equipos. Se va a emplear un modelo electromagnético basado en:

- La descarga del rayo va precedida de un canal guía conductor.
- La intensidad del rayo es proporcional a la tensión del canal guía previo a la descarga.
- El canal guía da un salto final hacia aquel objeto que esté a una distancia de la cabeza del canal guía igual a un valor que depende del potencial del canal y, por tanto de la intensidad de la descarga a que se va a dar lugar.

La distancia indicada viene dada aproximadamente por la siguiente expresión, y se conoce como radio crítico de cebado:

$$r = 9.1 \cdot I^{2/3}$$

Donde:

$$I = U \cdot \frac{N}{Z}$$

- $U = 1425$ kV; tensión soportada a impulsos tipo rayo.
- $N = 4$; número de líneas conectadas a la subestación.
- $Z = 0.4$ k Ω ; Impedancia característica de la línea.

Se tiene que:

$$I = 1425 \text{ kV} \cdot \frac{4}{0.4 \text{ k}\Omega} = \mathbf{14.25 \text{ kA}}$$

Se determina que el radio crítico de cebado es:

$$r = 9.1 \cdot 14.25^{2/3} = \mathbf{53.49 \text{ m}}$$

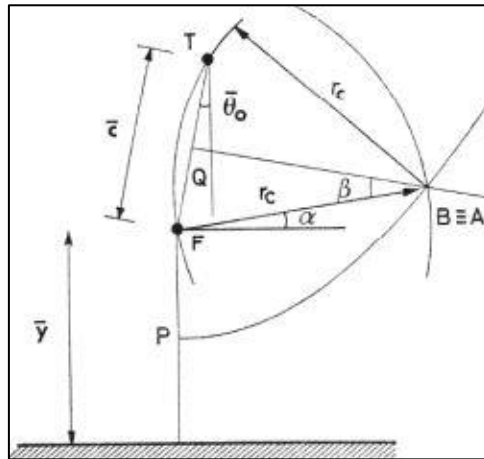


Figura 27. Apantallamiento total.

DOCUMENTO Nº 3

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

ÍNDICE

1.	Memoria	159
1.1.	Objeto del Estudio de Seguridad y Salud	159
1.2.	Características de la obra	159
1.3.	Accesos y vallado	162
1.4.	Interferencias y servicios afectados	162
1.5.	Unidades constructivas que componen la obra	163
1.6.	Análisis de riesgos	166
1.7.	Organización de la Seguridad	169
1.8.	Principios Generales aplicables durante la Ejecución de la Obra	170
1.9.	Formación	171
1.10.	Medicina Preventiva	171
1.11.	Medios de Protección	171
2.	Pliego de condiciones particulares	176
2.1.	Legislación aplicable en obra	176
2.2.	Consideraciones de los equipos de protección	179
2.3.	Señalización de la obra	179

1. Memoria

1.1. Objeto del Estudio de Seguridad y Salud

El presente Estudio de Seguridad y Salud se redacta para dar cumplimiento a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/97, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, en el marco de la Ley 31/1995, de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.

De acuerdo con el Art. 7 del citado Real Decreto, el objeto del presente Estudio de Seguridad y Salud es servir de base para que el contratista elabore el correspondiente Plan de Seguridad y Salud en el trabajo, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán las previsiones contenidas en este documento, en función de su propio sistema de ejecución de la obra.

1.2. Características de la obra

La subestación estará ubicada en el municipio vizcaíno de Bermeo.

Las condiciones climáticas y geotécnicas del punto de instalación son:

Altura del terreno	144 m
Tipo de Zona	A
Temperaturas extremas	0 °C / +37 °C
Velocidad máxima del viento	120 km/h
Contaminación ambiental	Media (Nivel II)
Nivel de niebla	Media
Publimetría	Media

Tabla 37. Condiciones ambientales.

La obra básicamente consiste en:

La construcción de un parque de intermedia de 400 kV en configuración de interruptor y medio.

La explanación de una plataforma para contener tres calles, viales y vallado perimetral para el parque de 400 kV, en configuración de Interruptor y Medio, con la siguiente distribución:

Calle 1	Transformador TP-1	Transformador TP-2
Calle 2	Línea AC 21	Línea AC 22
Calle 3	Futura línea 13	Futura línea 23

Tabla 38. Disposición calles de la subestación.

Para ello se procederá a realizar las siguientes actividades:

- Las cimentaciones de la estructura de pórticos de amarre de las líneas y de las estructuras metálicas de soporte de la aparamenta.
- La construcción de un Edificio de Control destinado a albergar los equipos de control y de maniobra de la instalación principal, así como los sistemas de alimentación de los servicios auxiliares.
- Obra Civil de dos casetas de relés donde se ubicarán los equipos de protección.
- Se construirán canales cables de reducida profundidad que unirán el parque con el Edificio de Control y las casetas de relés.
- Montaje de las estructuras metálicas de pórticos de entrada y de soportes de aparamenta.
- Montaje de la aparamenta correspondientes a las calles equipadas y a sus embarrados de conexión.

- Se dispondrán las cajas de centralización para los transformadores de medida, así como para los circuitos de control y fuerza de las celdas a equipar.
- Montaje de embarrados principales y secundarios.
- Se instalarán los Sistemas de Control, Telecomunicaciones, Protección y Medida, instalando los bastidores en sus casetas de relés.
- Se instalarán los servicios de c.a y c.c. de Servicios Auxiliares.
- Se instalará la red de tierras así como a la instalación de fuerza y alumbrado.
- Se procederá al cerramiento perimetral de parque.

La disposición física de los elementos del parque responde a las siguientes características principales:

- Embarrados altos. Tubo rígido de Al 250 / 228 mm situados a 13,5 m.
- Embarrados bajos. Tubo rígido de Al 200/ 184 situados a 7,5 m.
- Tendidos altos de cable dúplex situados a 20,5 m
- Ancho de calles de 13, 5 m.
- Anchura de viales principales 5 m.
- Anchura de viales secundarios longitudinales 4 m.
- Anchura de viales secundarios transversales 3 m.
- Altura de gálibos en viales principales 6 m.
- Altura de gálibos en viales secundarios 4 m.
- Estructura principal y soportes de aparatos fabricados en perfiles de alma llena de acero.

1.3. Accesos y vallado

Con antelación al inicio de los trabajos, se dispondrá el vallado perimetral provisional del recinto de obras, con el fin de evitar que cualquier persona ajena a la obra tenga fácil acceso a la misma.

Los accesos de materiales y para el personal, estarán debidamente señalizados. En dichos accesos, en sitio visible, se colocarán carteles prohibiendo la entrada a personas ajenas a la obra.

1.4. Interferencias y servicios afectados

Cuando en un mismo centro de trabajo desarrollen actividades trabajadores de dos o más empresas, éstas deberán cooperar en la aplicación de la normativa sobre prevención de riesgos laborales. A tal fin, establecerán los medios de coordinación que sean necesarios en cuanto a la protección y prevención de riesgos laborales y la información sobre los mismos a sus respectivos trabajadores, según los términos previstos en los artículos 18 y 24 de la Ley de Prevención de Riesgos, este último referente a Coordinación de actividades empresariales.

Antes de iniciar los trabajos, el contratista encargado de los mismos, deberá informarse de la existencia o situación de las diversas canalizaciones de servicios existentes, tales como electricidad, agua, gas... y su zona de influencia.

En caso de encontrarse con ellas, se deberán señalar convenientemente, se protegerán con medios adecuados y, si fuese necesario, se deberá entrar en contacto con el responsable del servicio que afecte al área de los trabajos para decidir de común acuerdo las medidas preventivas a adoptar, o en caso extremo, solicitar la suspensión temporal del suministro del elemento en cuestión.

1.5. Unidades constructivas que componen la obra

- **Movimiento de tierras**

Consiste en preparar el terreno a fin de disponerlo en condiciones para ubicar los elementos componentes de la subestación.

El movimiento de tierras abarcará la plataforma completa del parque de 400 kV, la zona del edificio y los accesos.

Básicamente se utilizará maquinaria pesada de explanación y retirada de tierras.

- Acopio

Los materiales y equipos a instalar, provenientes de los suministradores se descargarán con medios mecánicos.

Se almacenarán en la campa situada en la propia subestación, en ubicación estable, apartado de las posiciones en construcción y donde no interfiera en el desarrollo posterior de los trabajos.

- Drenajes

La red cubrirá todo el parque. Se realizará con tubo drenante en distribución que no produzca un efluente masivo. La zanja principal alcanzará en su punto más bajo una profundidad que se estima en 2 m.

- **Obra civil**

Consiste en la realización de Edificio de Control, muros cortafuego y casetas de relés, los cuales se construirán sucesivamente.

Se dispondrá de campa de almacenaje de materiales de construcción en zona que no interfiera a los restantes trabajos y a las vías de circulación de vehículos.

La preparación de armaduras de encofrados se ubicará fuera las zonas de paso.

- Cimentaciones de soportes

Las cimentaciones para los pórticos y estructuras soportantes de la nueva apartamentación y de las cajas de centralización se realizarán en dados de hormigón armado.

- Canales de cables

Se diseñan para proteger los cables de control y fuerza en su recorrido desde los mandos de cada equipo a las casetas de relés y desde estas últimas hasta el Edificio de Control. Los canales de cables serán prefabricados de hormigón armado.

- Casetas de relés

Se construirán dos. De planta rectangular con dimensiones de 10x 6 m, se construirán con muro de fábrica con bloques de hormigón reforzados. La solera del suelo será un pavimento de hormigón industrial.

- Edificio de Control

Será de planta rectangular construido con muros de fábrica con bloques huecos de hormigón. La solera será de falso suelo en la sala de mando y control y en la sala de comunicaciones, mientras que será de pavimento de hormigón industrial en la sala de servicios auxiliares.

- **Montaje de estructuras y equipos**

En esta fase se instalarán los pórticos, embarrados altos, las estructuras soportantes de los equipos, los propios equipos y los embarrados de conexión.

Se planificarán las actividades de montaje de forma que no interfieran entre sí y especialmente se cuidará que no afecten a las de Obra Civil que aún persistan.

Los pórticos de línea y de barras se construirán con perfiles normalizados de alma llena de acero mientras que los soportes de la aparatenta se construirán con perfiles tubulares de acero.

- Trabajos de cableado y trabajos en baja tensión

El tendido de cables de fuerza y control desde los equipos del parque a las casetas de relés se realizará manualmente siguiendo el trazado marcado por los canales.

El montaje de los equipos de Control, Protecciones, Comunicaciones y Medidas se realizará simultáneamente a los trabajos de cableado.

○ Puesta en Servicio

Se prevé que la puesta en servicio se realice por fases terminadas.

Las calles y equipos puestos en servicio se delimitarán y se aislarán, de forma que permitan la ejecución de las posteriores fases de trabajo.

1.6. Análisis de riesgos

Las empresas adjudicatarias de las obras han de considerar que la evaluación de los riesgos asociados a cada una de las actividades de construcción de subestaciones supone el análisis previo de:

- Las condiciones generales del trabajo, a las máquinas y equipos que se manejen, a las instalaciones próximas existentes y a los agentes físicos, químicos y biológicos que puedan existir.
- Las características de organización y control del trabajo que cada Empresa tiene establecidas, lo que influye en la magnitud de los riesgos.
- La inadecuación de los puestos de trabajo a las características de los trabajadores especialmente sensibles a ciertos riesgos.

Por ello las Empresas Contratistas adjudicatarias de los trabajos deben disponer de una Evaluación de Riesgos genérica concerniente a sus trabajos.

No obstante se prevé que los riesgos que se pueden presentar son:

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Caídas de personas al mismo nivel	Caída por deficiencias en el suelo, por pisar o tropezar con objetos, por existencia de vertidos o líquidos, por superficies en mal estado por condiciones atmosféricas (heladas, nieve, agua, etc.).
Caídas de personas a distinto nivel	Caída desde escaleras portátiles, desde andamios y plataformas temporales, desniveles, huecos, zanjas, taludes, desde estructuras pórticos.
Caídas de objetos	Caída por manipulación manual de objetos y herramientas o de elementos manipulados con aparatos elevadores.
Desprendimientos desplomes y derrumbes	Desprendimientos de elementos de montaje fijos, desplome de muros o hundimiento de zanjas o galerías
Choques y golpes	Choques contra objetos fijos, contra objetos móviles, golpes por herramientas manuales y eléctricas.
Maquinaria automotriz y vehículos	Atropello a peatones, choques y golpes entre vehículos, vuelco de vehículos y caída de cargas
Atrapamientos por mecanismos en movimiento	Atrapamientos por herramientas manuales, portátiles eléctricas. Atrapamientos por mecanismos en movimiento.
Cortes	Cortes por herramientas portátiles eléctricas o manuales y cortes por objetos superficiales o punzantes.

Situaciones pormenorizadas de riesgo	
Proyecciones	Impacto por fragmentos, partículas sólidas o líquidas.
Contactos térmicos	Contactos con fluidos o sustancias calientes / fríos. Contacto con proyecciones.
Contactos químicos	Contacto con sustancias corrosivas, irritantes/ alergizantes u otras.
Contactos eléctricos	Contactos directos, indirectos o descargas eléctricas
Arcos eléctricos	Calor, proyecciones o radiaciones no ionizantes.
Sobreesfuerzos	Esfuerzos al empujar, tirar de objetos. Esfuerzos al levantar, sostener o manipular cargas.
Explosiones	Máquinas, equipos y botellas de gases.
Incendios	Acumulación de material combustible. Almacenamiento y trasvase de productos inflamables. Focos de ignición, proyecciones de chispas o partículas calientes.
Confinamiento	Golpes, choques, cortes o atrapamientos por espacio reducido. Dificultades para rescate.
Tráfico	Choques entre vehículos o contra objetos fijos Atropello de peatones o en situaciones de trabajo Vuelco de vehículos por accidente de tráfico.
Agresión de animales	Picadura de insectos, ataque de perros o agresión por otros animales.
Estrés térmico	Exposición prolongada al calor o al frío Cambios bruscos de temperatura.

<i>Situaciones pormenorizadas de riesgo</i>	
Radiaciones no ionizantes	Exposición a radiación ultravioleta, infrarroja o visible.
Carga física	Movimientos repetitivos. Carga estática o postural (espacios de trabajo) o dinámica (actividad física). Condiciones climáticas exteriores.
Carga mental	Distribución de tiempos. Horario de trabajo

Tabla 39. Posibles riesgos.

1.7. Organización de la Seguridad

- **Coordinador en Materia de Seguridad y Salud**

Las tareas de Obra Civil y Montaje Electromecánico si bien estarán programadas en su mayor parte en periodos distintos, puede que en algún momento interfieran entre sí, por lo que si así fuera sobre la base del Art. 3 del R.D. 1627, RED ELÉCTRICA en su calidad de Promotor procederá a nombrar Coordinador en Materia de Seguridad.

- **Jefes de Trabajo de las Empresas Contratistas**

Las personas que ejerzan in situ las funciones Jefes dirigiendo y planificando las actividades de los operarios garantizarán que los trabajadores conocen los principios de acción preventiva y velarán por su aplicación.

- **Vigilante de Seguridad de la Empresa Contratista**

La Empresa Contratista reflejará en el Plan de Seguridad el nombre de una persona de su organización que actuará como su Vigilante de Seguridad

para los trabajos, bien a tiempo total o compartido, con formación en temas de Seguridad (cursillo, prueba, etc.) o con suficiente experiencia para desarrollar este cometido.

Quien actúe como Jefe de Obra organizará la labor del Vigilante y pondrá a su disposición los medios precisos para que pueda desarrollar las funciones preventivas.

1.8. Principios Generales aplicables durante la Ejecución de la Obra

De conformidad con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, los principios de la acción preventiva que se recogen en su artículo 15 se aplicarán durante la ejecución de la obra y en particular:

- Garantizar que solo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada pueden acceder a las zonas de riesgo grave o específico.
- Dar las debidas instrucciones a los empleados.
- 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.
- 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.

1.9. Formación

El personal de la Empresa Contratista que sea habitual en estos trabajos debe estar instruido en Seguridad. No obstante en las fechas inmediatas a la incorporación recibirá información específica acorde al trabajo que va a realizar

La empresa Contratista garantizará que el personal de sus Empresas Subcontratadas será informado del contenido del Plan de Seguridad.

Los operarios que realicen trabajos con riesgo eléctrico tendrán la categoría de “personal autorizado o cualificado” para las funciones que le asigna el R.D. 614/2001.

1.10. Medicina Preventiva

La Empresa Contratista queda obligada a aportar a la obra trabajadores con reconocimiento médico realizado. Si como consecuencia de este reconocimiento fuera aconsejable el cambio de puesto de trabajo, la Empresa Contratista queda obligada a realizarlo.

1.11. Medios de Protección

Antes del inicio de los trabajos todo el material de seguridad estará disponible en la obra, tanto el de asignación personal como el de utilización colectiva.

Así mismo, todos los equipos de protección individual se ajustarán a lo indicado en el R.D. 773/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Las disposiciones de emergencia serán:

- **Vías de Evacuación**

Dadas las características de la obra, trabajos en exterior, casetas y edificios de pequeñas dimensiones no es necesario la definición de vías o salidas de emergencia para una posible evacuación.

Si en la construcción del Edificio de Control estima la presencia de más de 20 trabajadores, se realizará un plano con las distintas vías de evacuación que serán definidas teniendo en cuenta el número de los posibles usuarios, que deberá instalarse en un lugar visible a la entrada del edificio. Además, se instalará señalización indicando las diferentes vías de emergencia con la mayor prontitud posible.

Cuando sea necesario, la decisión de la evacuación del lugar trabajo será tomada por el Coordinador de Seguridad. Siendo el punto de reunión el portón principal de entrada a la subestación.

Dado el limitado número de personas que se prevén van a coincidir en la Obra y la no existencia de recintos cerrados no se considera necesario establecer Equipos de Evacuación ni realizar simulacros al respecto.

- **Iluminación**

Al tratarse de trabajos que se realizarán a la intemperie y en horario diurno, no será necesaria la instalación de alumbrado.

En el caso, que se realicen trabajos en horario nocturno, se instalará un sistema de alumbrado adecuado al trabajo que se va a realizar y que

incluirá las vías de acceso los puntos de trabajo. Complementando al sistema de alumbrado se dispondrá de una alternativa de emergencia de suficiente intensidad (linternas o cualquier otro sistema portátil o fijo).

- **Instalaciones de suministro y reparto de energía**

Se instalará un grupo electrógeno para el suministro de la energía eléctrica. El suministro eléctrico se tomará de la red existente.

Las instalaciones de suministro y reparto de energía en la obra deberán instalarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

Cuando se trate de instalaciones eléctricas el acceso a las partes activas de las mismas quedará limitado a trabajadores autorizados o cualificados.

- **Ventilación**

No se prevé la necesidad de realizar controles de ventilación dado el tipo de obra.

En los trabajos en galerías, centros subterráneos, etc. Previo al acceso al recinto y durante su permanencia en el mismo, se procederá a las determinaciones higiénicas oportunas de la atmósfera confinada que posibiliten conocer si los valores de oxígeno son suficientes o si los niveles de contaminantes tóxicos o inflamables están por encima de los niveles máximos permitidos.

Los trabajos a realizar en este tipo de recintos deberán en todo momento tener vigilancia desde el exterior, con una comunicación continua entre los trabajadores que permanezcan en el interior y exterior del recinto confinado. Tomándose todas las debidas precauciones para que se le pueda prestar auxilio eficaz e inmediato.

Al preverse la existencia de contaminantes inflamables, las herramientas a utilizar serán compatibles con el riesgo detectado (herramientas antideflagrantes).

- **Ambientes nocivos y factores atmosféricos**

Dado que se trata de un trabajo a la intemperie, la planificación de tareas que requieran un consumo metabólico alto se planificarán para que no coincidan con los periodos de temperatura extremos.

En caso de tormenta eléctrica se suspenderán los trabajos.

Los trabajadores no deberán estar expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (gases, vapores, polvo,...), sin la protección adecuada.

- **Detección y lucha contra incendios**

No se prevé en la obra la existencia de carga térmica elevada, para facilitar lo se mantendrán adecuadas condiciones de orden y limpieza.

La Obra dispondrá de extintores la cantidad suficiente. Los extintores deberán situarse en lugares de fácil acceso.

No existirán B.I.E. Al no disponer el recinto de acometida de aguas.

El sistema de detección de incendios en casetas y edificio se instalará en cuanto el avance de la Obra lo permita.

- **Primeros auxilios**

Todo el personal debe conocer que el número de solicitud de ayuda de primeros auxilios es el 112. La Administración dispondrá ayuda técnica o sanitaria que se solicite en dicho número.

La Empresa Contratista dispondrá de un botiquín de obra para prestar primeros auxilios. Se podrá hacer uso de los medios de primeros auxilios (camilla, elementos de cura, etc.) que exista en la Subestación. Asimismo deberá estar disponible en la obra un vehículo, para evacuar a un posible accidentado.

El Contratista expondrá, para conocimiento de todos sus trabajadores la dirección de los Centros de Asistencia más próximos.

- **Plan de seguridad**

El Plan de Seguridad que elabore la Empresa adjudicataria de los trabajos debe establecer su forma particular de ejecutarlos, debe ser un documento ajustado a las situaciones de riesgos previsibles en la Obra

El Plan de Seguridad una vez aprobado debe ser el documento aplicable en Obra, para lo cual debe permanecer en poder del Jefe de Trabajo y del Coordinador de Seguridad.

2. Pliego de condiciones particulares

2.1. Legislación aplicable en obra

- Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 780/1998, de 30 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Ley 8/1998, de 7 de Abril, sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.
- Capítulo VII “Andamios” del Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (R.D. 3275/1982) e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Reglamento de líneas eléctricas aéreas de alta tensión (R.D. 3151/68).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (R.D. 842/2002 de 2 de agosto).
- Real Decreto 614/2001, de 8 de Junio, por el que se establecen las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Reglamento de Aparatos a Presión (R.D. 1244/1979).
- Reglamento de seguridad en máquinas (R.D. 1495/86).

- Real Decreto 1435/1992 de 27 de Noviembre por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- Real Decreto 1407/1992 de 20 de Noviembre por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.
- Reglamento de Instalaciones de Protección contra incendios (R.D. 1.942/93).
- Real Decreto 786/2001, de 6 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de Abril, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de Abril, sobre Disposiciones mínimas relativas a la manipulación manual de cargas.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a trabajos con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de Mayo, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de Octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

- Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de Abril, sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos.
- Real Decreto 664/1997, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Orden del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 25 de marzo de 1998, de adaptación y modificación del Real Decreto 664/1997, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 665/1997, de 12 de Mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Real Decreto 1124/2000, de 6 de Junio, por el que se modifica el Real Decreto 665/1997, de 12 de Mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Orden 2027/2002, de 24 de Mayo, del Consejero de Trabajo, por la que se deroga la Orden 5518/1999, de 6 de Septiembre, que establecía el modelo de Aviso Previo preceptivo para las obras de construcción en la Comunidad de Madrid, incluidas en el ámbito de aplicación del Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre.
- Estatuto de los Trabajadores.
- Ley General de la Seguridad Social.

- Y todas aquellas Normas o Reglamentos en vigor durante la ejecución de las obras que pudieran no coincidir con las vigentes en la fecha de redacción de este Estudio Básico de Seguridad.

2.2. Consideraciones de los equipos de protección

- Las diversas protecciones colectivas a utilizar en la obra tendrá una calidad adecuada a las prestaciones exigidas, debiendo garantizar su eficacia mediante certificado del fabricante o bien por cálculos y ensayos justificativos realizados al efecto.
- Las protecciones colectivas se ajustarán a lo dispuesto en las Disposiciones Legales y Reglamentos Vigentes.
- Todos los elementos de protección colectiva, tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose al término del mismo.
- Si por cualquier circunstancia, sea desgaste, uso o deterioro por acción mecánica, un elemento de protección colectiva sufriera algún deterioro, se repondrá de inmediato, haciendo caso omiso de su periodo de vida útil.
- Los trabajadores serán debidamente instruidos respecto a la correcta utilización de los diferentes elementos de protección colectiva.

2.3. Señalización de la obra

Esta señalización cumplirá con lo contenido en el Real Decreto 485/97 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización y seguridad en el trabajo, que desarrolla los preceptos específicos sobre esta materia contenidos en la Ley 31/95 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.

DOCUMENTO Nº 4

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.	Requisitos ambientales.....	184
1.1.	Requisitos de carácter general	184
1.2.	Requisitos específicos para los movimientos de tierras.....	187
1.3.	Requisitos específicos para la obra civil	189
1.4.	Requisitos específicos para el montaje electromecánico.....	189
1.5.	Acondicionamiento final de la obra.....	190
2.	Gestión de residuos	191
2.1.	Descripción general de los trabajos.....	191
2.2.	Estimación de residuos a generar	192
2.3.	Medidas de prevención de generación de residuos.....	193
2.4.	Medidas de separación, manejo y almacenamiento de residuos	196
2.5.	Destinos finales de los residuos generados.....	199

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.	Generalidades.....	202
1.1.	Objeto del Pliego de Condiciones técnicas	202
1.2.	Normativa	203
2.	Obra civil.....	205
2.1.	Estructuras	205

2.2.	Instalaciones	207
2.3.	Protección	208
3.	Gestión de calidad	209
4.	Gestión medioambiental	209
5.	Seguridad en el trabajo	210
6.	Verificación y validación	210

Pliego de Condiciones Generales

1. Requisitos ambientales

1.1. Requisitos de carácter general

Se contemplará un estricto cumplimiento de los requisitos medioambientales legales que en cada momento establecidos en los distintos 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.

- **Condicionados de los Organismos de la Administración**

Durante el proceso de Autorización Administrativa los organismos públicos y entidades que puedan ser afectadas por el desarrollo del proyecto emitirán los condicionados correspondientes que serán aplicados en el desarrollo de la ejecución de la obra.

- **Áreas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible**

Para evitar que las zonas de almacenamiento temporal o de trasiego de combustible se dispongan sobre suelo desnudo o sin mecanismos de retención de posibles derrames, se contará con una bandeja metálica sobre la que se colocaran los recipientes que contengan combustible.

La bandeja será estanca, con un bordillo mínimo de 10 cm y con capacidad igual o mayor que la del mayor de los recipientes que se ubiquen en ella. Será necesario disponer de una lona para tapar la bandeja con el fin de evitar que en caso de lluvia se llene de agua, a no ser que el almacenamiento se realice bajo cubierta.

En el caso de que sea necesario disponer de grupos electrógenos, su tanque de almacenamiento principal deberá tener doble pared y todas las tuberías irán encamisadas. Si no es así se colocarán sobre bandeja estanca de las características anteriormente descritas.

- **Cambios de aceites y grasas**

No se verterán aceites y grasas al suelo, por lo que se tomarán todas las medidas preventivas necesarias.

El cambio de aceites de la maquinaria se realizará en un taller autorizado. Si ello no fuera posible se efectuará sobre el terreno utilizando siempre los accesorios necesarios (recipiente de recogida de aceite y superficie impermeable) para evitar posibles vertidos al suelo.

- **Campamento de obra**

El campamento de obra dispondrá de los contenedores necesarios para los residuos sólidos urbanos que generen las personas que trabajan en la obra.

No serán utilizadas fosas sépticas/pozos filtrantes en la instalación sin autorización de la Confederación Hidrográfica correspondiente. Preferentemente se usarán depósitos estancos de acumulación o de wáter

químico, que serán desmontados una vez hayan finalizados los trabajos. El mantenimiento de estos sistemas será el adecuado para evitar olores y molestias en el entorno de los trabajos.

- **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.

1.2. Requisitos específicos para los movimientos de tierras

- **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.

- **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.

Para reducir al mínimo las posibles alteraciones de la red de drenaje y con el fin de evitar la interrupción de las aguas de escorrentía, se procederá a entubar los drenajes afectados.

- **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.

- **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.

- **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.

1.3. Requisitos específicos para la obra civil

- **Limpieza de cubas de hormigonado**

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.

1.4. Requisitos específicos para el montaje electromecánico

- **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.

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.

- **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.

1.5. Acondicionamiento final 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.

2. Gestión de residuos

2.1. Descripción general de los trabajos

Las actividades a llevar a cabo y que van a dar lugar a la generación de residuos van a ser las siguientes:

- Actuaciones y tareas previas de preparación de los terrenos: desbroces etc.
- Realización de acopios, campamento de obra e instalación de medios auxiliares.
- Movimiento de tierras: retirada de tierra vegetal, excavaciones (desmontes y terraplenes), accesos, movimientos y traslados de tierras.
- Obra civil: cimentaciones, hormigonados, drenajes etc., edificio, instalación de edificios prefabricados...
- Montaje electromecánico: aparamenta eléctrica, servicios auxiliares...
- Instalaciones asociadas al edificio y acabados
- Limpieza de obra y restauración
- Actividades auxiliares (oficina)

2.2. Estimación de residuos a generar

Durante los trabajos descritos se prevé generar los siguientes residuos, codificados de acuerdo a lo establecido en la Orden MAM/304/2002:

Tipo residuo	Código LER
RESIDUOS NO PELIGROSOS	
Excedentes de excavación	170101
Restos de hormigón	170101
Papel y cartón	200101
Maderas	170201
Plásticos (envases y embalajes)	170203
Chatarras metálicas	170405/170407/170401/170402
Restos asimilables a urbanos	200301
Restos asimilables a urbanos. Contenedor amarillo: metales y plásticos (si se segregan)	150102/150104/150105/150106
Residuos vegetales (podas y talas)	200201
RESIDUOS PELIGROSOS	
Trapos impregnados	150202
Tierras contaminadas	170503
Envases que han contenido sustancias peligrosas	150110/150111

Tabla 40. Posibles residuos generados.

Es necesario aclarar que, en el Plan de gestión residuos (que se elabora en una etapa de proyecto posterior al presente estudio por los contratistas responsables de acometer los trabajos, poseedores de los residuos) e incluso durante la propia obra se podrá identificar algún otro residuo

2.3. Medidas de prevención de generación de residuos

Como norma general es importante separar aquellos productos sobrantes que pudieran ser reutilizables de modo que en ningún caso puedan enviarse a vertederos.

Además es importante separar los residuos desde el origen, para evitar contaminaciones, facilitar su reciclado y evitar generar residuos derivados de la mezcla de otros.

Se exponen a continuación algunas buenas prácticas para evitar/minimizar la generación de algunos residuos.

- **Tierras de excavación**
 - Separar y almacenar adecuadamente la tierra vegetal para utilizarla posteriormente en labores de restauración. La tierra vegetal se acumulará en zonas no afectadas por los movimientos de tierra hasta que se proceda a su disposición definitiva y la altura máxima de los acopios será de dos metros para que no pierda sus características.
 - Minimizar, desde la fase de elección del emplazamiento y diseño del proyecto, de los movimientos de tierras a llevar a cabo.
 - Utilizar de las tierras sobrantes de excavación en la propia obra: rampas de acceso, rellenos, restauraciones etc. (De este modo se reduce el transporte para reutilización en otras zonas o para traslado a vertedero).

- En los casos en que sea preciso el aporte de materiales de excavación, ajenos a la zona de la subestación, controlar que los volúmenes aportados sean exclusivamente los precisos para los rellenos.

- **Cerámicas mortero y hormigón**
 - Reutilización, en la medida de lo posible en la propia obra: rellenos.

- **Medios auxiliares (palets de madera), envases y embalajes**
 - Utilizar materiales cuyos envases/embalajes procedan de material reciclado.
 - No separar el embalaje hasta que no vayan a ser utilizados los materiales.
 - Guardar los embalajes que puedan ser reutilizados inmediatamente después de separarlos del producto. Gestionar la devolución al proveedor en el caso de ser este el procedimiento establecido (ej. Botellas de SF6 vacías o medio llenas).
 - Los palets de madera se han de reutilizar cuantas veces sea posible.

- **Residuos metálicos**
 - Separarlos y almacenarlos adecuadamente para facilitar su reciclado.

- **Aceites y grasas**

- Realizar el mantenimiento de la maquinaria y cambios de aceites en talleres autorizados.
- Si es imprescindible llevar a cabo alguna operación de cambio de aceites y grasas en la obra, utilizar los accesorios necesarios para evitar posibles vertidos al suelo (recipiente de recogida de aceite y superficie impermeable).
- Controlar al máximo las operaciones de llenado de equipos con aceites para evitar que se produzca cualquier vertido.

- **Tierras contaminadas**

Establecer las medidas preventivas para evitar derrames de sustancias peligrosas:

- Disponer de bandeja metálica para almacenamiento de combustibles.
- Resguardar de la lluvia las zonas de almacenamiento (mediante techado o uso de lona impermeable), para evitar que las bandejas se llenen de agua.
- Disponer de grupos electrógenos cuyo tanque de almacenamiento principal tenga doble pared y cuyas tuberías vayan encamisadas. Si no es así colocar en una bandeja estanca o losa de hormigón impermeabilizada y con bordillo.
- Controlar al máximo las operaciones de llenado de equipos con aceites para evitar que se produzca cualquier vertido. No realizar llenados de máquinas de potencia sin estar operativos los fosos de recogida de aceite. Colocar recipientes o material

absorbente debajo de todos los empalmes de tubos utilizados durante la maniobra, para la recogida de posibles pérdidas.

- Buenas prácticas en los trasiegos.

- **Residuos vegetales**

- Respetar todos los ejemplares arbóreos que no sean incompatibles con el desarrollo del proyecto.
- Facilitar la entrega de los restos de podas/talas a sus propietarios.

2.4. Medidas de separación, manejo y almacenamiento de residuos

Para que se pueda desarrollar una correcta segregación y almacenamiento de residuos en la obra, todo el personal implicado deberá estar adecuadamente formado sobre cómo separar y almacenar cualquier tipo de residuos que pueda derivarse de los trabajos.

- **Segregación**

Para una correcta valorización o eliminación se realizará una segregación previa de los residuos, separando aquellos que por su no peligrosidad (residuos urbanos y asimilables a urbanos) y por su cantidad puedan ser depositados en los contenedores específicos colocados por el correspondiente ayuntamiento, de los que deban ser llevados a vertedero controlado y de los que deban ser entregados a un gestor autorizado (residuos peligrosos). Para la segregación se utilizarán bolsas o contenedores que impidan o dificulten la alteración de las características de cada tipo de residuo.

La segregación de residuos en obra ha de ser la máxima posible, para facilitar la reutilización de los materiales y que el tratamiento final sea el más adecuado según el tipo de residuo. En ningún caso se mezclaran residuos peligrosos y no peligrosos.

Si en algún caso no resultara técnicamente viable la segregación en origen, el poseedor (contratista) podrá encomendar la separación de fracciones de los distintos residuos no peligrosos a un gestor de residuos externo a la obra, teniendo que presentar en este caso, la correspondiente documentación acreditativa conforme el gestor ha realizado los trabajos.

En el campamento de obra, se procurará además segregar los RSU en las distintas fracciones (envases y embalajes, papel, vidrio y resto).

- **Almacenamiento**

Desde la generación de los residuos hasta su eliminación o valorización final, éstos serán almacenados de forma separada en el lugar de trabajo, según vaya a ser su gestión final, como se ha indicado en el punto anterior.

Para las zonas de almacenamiento se cumplirán los siguientes criterios:

- Serán seleccionadas, siempre que sea posible, de forma que no sean visibles desde carreteras o lugares de tránsito de personas pero con facilidad de acceso para poder proceder a la recogida de los mismos.

- Estarán debidamente señalizadas mediante marcas en el suelo, carteles, etc. para que cualquier persona que trabaje en la obra sepa su ubicación.
- Los contenedores de residuos peligrosos estarán identificados según se indica en la legislación aplicable (RD 833/1988 y Ley 10/98), con etiquetas o carteles resistentes a las distintas condiciones meteorológicas, colocados en un lugar visible y que proporcionen la siguiente información: descripción del residuo, icono de riesgos, código del residuo, datos del productor y fecha de almacenamiento
- Las zonas de almacenamiento de residuos peligrosos estarán protegidas de la lluvia y contarán con suelo impermeabilizado o bandejas de recogida de derrames accidentales.
- Los residuos que por sus características puedan ser arrastrados por el viento, como plásticos (embalajes, bolsas..), papeles (sacos de mortero..) etc. deberán ser almacenados en contenedores cerrados, a fin de evitar su diseminación por la zona de obra y el exterior del recinto.
- Se delimitará e identificará 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.
- Se evitará el almacenamiento de excedentes de excavación en cauces y sus zonas de policía.

Además de las zonas definidas, el campamento de obra deberá disponer de uno o más contenedores, con su correspondiente tapadera (para evitar la entrada del agua de lluvia) para los residuos sólidos urbanos (restos de comidas, envases de bebidas, etc.) que generen las personas que trabajan en la obra. Estos contenedores deberán estar claramente identificados, de forma que todo el personal de la obra sepa donde se almacena cada tipo de residuo.

2.5. Destinos finales de los residuos generados

La gestión de los residuos se realizará según lo establecido en la legislación específica vigente.

Siempre se favorecerá el reciclado y valoración de los residuos frente a la eliminación en vertedero controlado de los mismos.

- **Residuos no peligrosos**
 - RSU: Los residuos sólidos urbanos y asimilables (papel, cartón, vidrio, envases de plástico) separados en sus distintas fracciones serán llevados a un vertedero autorizado o recogidos por gestores autorizados. En el caso de no ser posible la recogida por gestor autorizado y de tratarse de pequeñas cantidades, se podrán depositar en los distintos contenedores que existan en el Ayuntamiento más próximo.
 - Restos vegetales: La eliminación de los residuos vegetales deberá hacerse de forma simultánea a las labores de talas y desbroce. Los residuos obtenidos se apilarán y retirarán de la zona con la mayor brevedad, evitando así que se conviertan

en un foco de infección por hongos, o que suponga un incremento del riesgo de incendios.

- Los residuos forestales generados se gestionarán según indique la autoridad ambiental competente. Con carácter general, y si no hubiera indicaciones, preferiblemente se entregarán a sus propietarios. Si no es posible se gestionará su entrega a una planta de compostaje y en último caso se trasladarán a vertedero controlado.
- Excedentes de excavación, escombros, y excedentes de hormigón: como ya se ha comentado se tratarán de reutilizarse en la obra, si no es posible y existe permiso de los Ayuntamientos afectados y de la autoridad ambiental competente, podrán gestionarse mediante su reutilización en firmes de caminos, rellenos etc. Si no son posibles las opciones anteriores se gestionarán en vertedero autorizado.
- Chatarra: se entregará a gestor autorizado para que proceda al reciclado de las distintas fracciones.

- **Residuos no peligrosos**

Los residuos peligrosos se gestionarán mediante gestor autorizado. Se dará preferencia a aquellos gestores que ofrezcan la posibilidad de reciclaje y valorización como destinos finales frente a la eliminación.

Antes del inicio de las obras los contratistas están obligados a programar la gestión de los residuos que prevé generar. En el Plan de gestión de residuos de construcción se reflejará la gestión prevista para cada tipo de residuo: planes para la reutilización de excedentes de excavación u hormigón, retirada a vertedero y gestiones a través de gestor autorizado

(determinando los gestores autorizados), indicando el tratamiento final que se llevará a cabo en cada caso.

Como anexo a dicho Plan el contratista deberá presentar la documentación legal necesaria para llevar a cabo las actividades de gestión de residuos:

- Acreditación como productor de residuos en la Comunidad Autónoma en la que se llevan a cabo los trabajos.
- Autorizaciones de los transportistas y gestores de residuos (las correspondientes según se trate de residuos peligrosos o no peligrosos).
- Autorizaciones de vertederos y depósitos.
- Documentos de Aceptación de los residuos que se prevé generar (residuos peligrosos).

Al final de los trabajos las gestiones de residuos realizadas quedaran registradas en una ficha de “Gestión de residuos generados en las obras de construcción”. Además de cumplimentar la ficha el contratista proporcionará la documentación acreditativa de las gestiones realizadas:

- Documentos de Control y Seguimiento (Residuos peligrosos).
- Notificaciones de traslado (Residuos peligrosos).
- Albaranes de retirada o documentos de entrega de residuos no peligrosos.
- Permisos de vertido/reutilización de excedentes de excavación.

Pliego de Condiciones Técnicas

1. Generalidades

1.1. Objeto del Pliego de Condiciones técnicas

Este Pliego de Condiciones determina las condiciones técnicas de los materiales y los requisitos a que se debe ajustar la ejecución de las instalaciones de la subestación. 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.

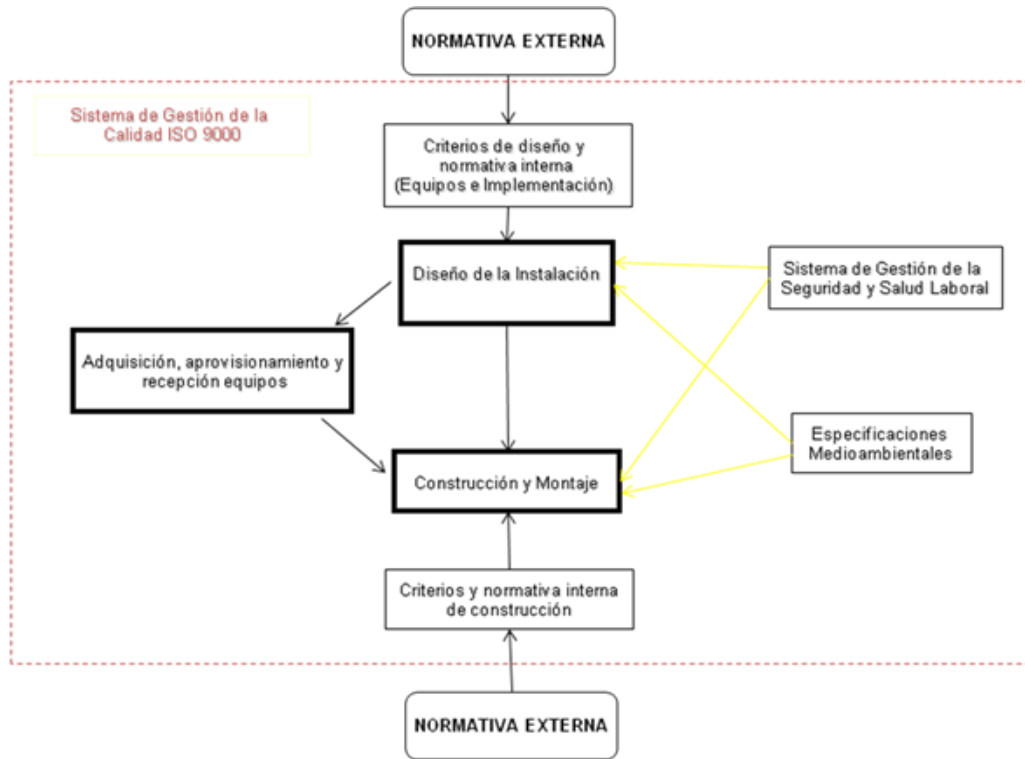


Figura 28. Consideraciones del pliego de condiciones.

1.2. Normativa

El presente Proyecto ha sido redactado basándose en las siguientes normas, 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-RAT 09: "PROTECCIONES".
- ITC-RAT 12: "AISLAMIENTO".
- ITC-RAT 13: "INSTALACION DE PUESTA A TIERRA".

- ITC-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 anexo 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. Obra civil

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. 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 anexo I 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.

2.3. 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.

- **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.

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 Anexo “Especificaciones técnicas de carácter ambiental” 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.

Los protocolos de las pruebas a realizar así como los criterios para su ejecución serán redactados conforme a lo especificado en la documentación técnica aplicable.

DOCUMENTO Nº 5

PRESUPUESTO

ÍNDICE

1.	Mediciones	214
1.1.	Embarrados	214
1.2.	Aparamenta.....	215
1.3.	Instalaciones de puesta a tierra	216
1.4.	Obra civil.....	216
1.5.	Estructuras metálicas	216
1.6.	Edificaciones.....	216
1.7.	Sistemas secundarios	217
1.8.	Montaje y pruebas	217
1.9.	Seguridad y salud	217
1.10.	Ingeniería y dirección facultativa	218
2.	Precios unitarios	218
2.1.	Embarrados	218
2.2.	Aparamenta.....	219
2.3.	Instalaciones de puesta a tierra	219
2.4.	Obra civil.....	220
2.5.	Estructuras metálicas	220
2.6.	Edificaciones.....	220
2.7.	Sistemas secundarios	221
2.8.	Montaje y pruebas	221
2.9.	Seguridad y salud	221
		212

2.10.	Ingeniería y dirección facultativa	222
3.	Sumas parciales	222
3.1.	Embarrados	222
3.2.	Aparamenta.....	223
3.3.	Instalaciones de puesta a tierra	223
3.4.	Obra civil.....	224
3.5.	Estructuras metálicas	224
3.6.	Edificaciones.....	224
3.7.	Sistemas secundarios	225
3.8.	Montaje y pruebas	225
3.9.	Seguridad y salud	225
3.10.	Ingeniería y dirección facultativa	226
4.	Presupuesto general.....	226

1. Mediciones

1.1. Embarrados

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Tendidos altos, dúplex Bluebird	m	375
Embarrado principal, tubo aluminio 250/228	m	360
Embarrado secundario, tubo aluminio 200/184	m	1077

Tabla 41. Mediciones embarrados.

1.2. Aparamenta

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Transformador monofásico para alta tensión en continuo	-	7
Interruptor de potencia	-	6
Seccionador pantógrafo	-	4
Seccionador de columnas giratorias	-	8
Seccionador de tres columnas giratorias con puesta a tierra	-	4
Transformador de intensidad	-	24
Transformador de tensión capacitivo	-	14
Transformador de tensión inductivo	-	6
Autoválvula	-	12
Aislador	-	16

Tabla 42. Mediciones aparamenta.

1.3. Instalaciones de puesta a tierra

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Conductor cobre 95 mm ²	m	6,350
Puntas franklin	-	8

Tabla 43. Mediciones puesta a tierra.

1.4. Obra civil

Unidad constructiva	Ud.	Medición	
Vallado	m	690	
Movimiento de tierras	m ³	80,000	
Cimentaciones	m ²	31,000	
Drenajes	Tubo PVC	m	250
	Hormigón	m ³	25

Tabla 44. Mediciones obra civil.

1.5. Estructuras metálicas

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Estructuras de acero	kg	390,000

Tabla 45. Mediciones estructuras.

1.6. Edificaciones

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Edificio de control	-	1
Caseta de relés	-	2

Tabla 46. Mediciones edificaciones.

1.7. Sistemas secundarios

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Sistema de protección	-	1
Sistema de control	-	1
Sistema de telecomunicaciones	-	1
Servicios auxiliares	-	1

Tabla 47. Mediciones sistemas secundarios.

1.8. Montaje y pruebas

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Montaje electromecánico	-	1
Pruebas en vacío	-	1
Pruebas en tensión	-	1

Tabla 48. Mediciones montaje y pruebas.

1.9. Seguridad y salud

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Prevención y formación	-	1
Servicio médico	-	1
Protecciones colectivas	-	1
Protecciones individuales	-	1
Instalaciones de higiene y primeros auxilios	-	1

Tabla 49. Mediciones seguridad y salud.

1.10. Ingeniería y dirección facultativa

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Ingeniería básica	-	1
Ingeniería de detalle	-	1
Dirección facultativa	-	1
Estudio geotécnico	-	1
Control de calidad	-	1

Tabla 50. Mediciones ingeniería.

2. Precios unitarios

2.1. Embarrados

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Tendidos altos, dúplex Bluebird	€/m	22
Embarrado principal, tubo aluminio 250/228	€/m	95
Embarrado secundario, tubo aluminio 200/184	€/m	63

Tabla 51. Precios unitarios embarrados.

2.2. Aparamenta

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Transformador monofásico para alta tensión en continuo	€	4,300,000
Interruptor de potencia	€	127,000
Seccionador pantógrafo	€	69,000
Seccionador de columnas giratorias	€	57,000
Seccionador de columnas giratorias con puesta a tierra	€	60,000
Transformador de intensidad	€	16,500
Transformador de tensión capacitivo	€	9,100
Transformador de tensión inductivo	€	15,000
Autoválvula	€	7,000
Aislador	€	1,000

Tabla 52. Precios unitarios aparamenta.

2.3. Instalaciones de puesta a tierra

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Conductor cobre 95 mm ²	€/m	14.8
Puntas franklin	€	550

Tabla 53. Precios unitarios puesta a tierra.

2.4. Obra civil

Unidad constructiva		Ud.	Medición
Vallado		€/m	40
Movimiento de tierras		€/m ³	12.9
Cimentaciones		m ²	7.5
Drenajes	Tubo PVC	€/m	28.6
	Hormigón	€/m ³	73.1

Tabla 54. Precios unitarios obra civil.

2.5. Estructuras metálicas

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Estructuras de acero	€/kg	2.32

Tabla 55. Precios unitarios estructuras.

2.6. Edificaciones

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Edificio de control	€	110,000
Caseta de relés	€	50,000

Tabla 56. Precios unitarios edificaciones.

2.7. Sistemas secundarios

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Sistema de protección	€	400,000
Sistema de control	€	600,000
Sistema de telecomunicaciones	€	85,000
Servicios auxiliares	€	550,000

Tabla 57. Precios unitarios sistemas secundarios.

2.8. Montaje y pruebas

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Montaje electromecánico	€	1,881,104
Pruebas en vacío	€	45,000
Pruebas en tensión	€	45,000

Tabla 58. Precios unitarios montaje y pruebas.

2.9. Seguridad y salud

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Prevención y formación	€	9,450
Servicio médico	€	130
Protecciones colectivas	€	6,100
Protecciones individuales	€	2,100
Instalaciones de higiene y primeros auxilios	€	7,050

Tabla 59. Precios unitarios seguridad y salud.

2.10. Ingeniería y dirección facultativa

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Ingeniería básica	€	266,400
Ingeniería de detalle	€	134,200
Dirección facultativa	€	275,000
Estudio geotécnico	€	10,400
Control de calidad	€	91,600

Tabla 60. Precios unitarios ingeniería.

3. Sumas parciales

3.1. Embarrados

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Tendidos altos, dúplex Bluebird	€	8,250
Embarrado principal, tubo aluminio 250/228	€	34,200
Embarrado secundario, tubo aluminio 200/184	€	67,851

Tabla 61. Sumas parciales embarrados.

3.2. Aparamenta

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Transformador monofásico para alta tensión en continuo	€	30,100,000
Interruptor de potencia	€	762,000
Seccionador pantógrafo	€	276,000
Seccionador de columnas giratorias	€	456,000
Seccionador de tres columnas giratorias con puesta a tierra	€	240,000
Transformador de intensidad	€	396,000
Transformador de tensión capacitivo	€	127,400
Transformador de tensión inductivo	€	90,000
Autoválvula	€	84,000
Aislador	€	16,000

Tabla 62. Sumas parciales aparamenta.

3.3. Instalaciones de puesta a tierra

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Conductor cobre 95 mm ²	€	93,980
Puntas franklin	€	4,400

Tabla 63. Sumas parciales puesta a tierra.

3.4. Obra civil

Unidad constructiva		Ud.	Medición
Vallado		€	27,600
Movimiento de tierras		€	1,032,000
Cimentaciones		€	232,500
Drenajes	Tubo PVC	€	7,150
	Hormigón	€	1,827

Tabla 64. Sumas parciales obra civil.

3.5. Estructuras metálicas

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Estructuras de acero	€	904,800

Tabla 65. Sumas parciales estructuras.

3.6. Edificaciones

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Edificio de control	€	110,000
Caseta de relés	€	50,000

Tabla 66. Sumas parciales edificaciones.

3.7. Sistemas secundarios

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Sistema de protección	€	400,000
Sistema de control	€	600,000
Sistema de telecomunicaciones	€	85,000
Servicios auxiliares	€	550,000

Tabla 67. Sumas parciales sistemas secundarios.

3.8. Montaje y pruebas

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Montaje electromecánico	€	1,881,104
Pruebas en vacío	€	45,000
Pruebas en tensión	€	45,000

Tabla 68. Sumas parciales montaje y pruebas.

3.9. Seguridad y salud

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Prevención y formación	€	9,450
Servicio médico	€	130
Protecciones colectivas	€	6,100
Protecciones individuales	€	2,100
Instalaciones de higiene y primeros auxilios	€	7,050

Tabla 69. Sumas parciales seguridad y salud.

3.10. Ingeniería y dirección facultativa

Unidad constructiva	Ud.	Medición
Ingeniería básica	€	266,400
Ingeniería de detalle	€	134,200
Dirección facultativa	€	275,000
Estudio geotécnico	€	10,400
Control de calidad	€	91,600

Tabla 70. Sumas parciales ingeniería.

4. Presupuesto general

Descripción	Precio (€)
Embarrados	110,301
Aparamenta	32,547,400
Instalaciones de puesta a tierra	98,380
Obra civil	1,301,077
Estructuras metálicas	904,800
Edificaciones	160,000
Sistemas secundarios	1,635,000
Montaje y pruebas	1,971,104
Seguridad y salud	24,830
Ingeniería y dirección facultativa	777,600
TOTAL	39,530,492

Asciende el presupuesto a la cantidad de: TREINTA Y NUEVE MILLONES
QUINIENTOS TREINTA MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y DOS EUROS.

DOCUMENTO Nº 6

PLANOS

Lista de planos	Nombre de plano
Situación	SIT-1
Emplazamiento	EMP-1
Esquema unifilar	UNF-1
Planta general	PL-1
Perfil calle 1	CL-1
Perfil calle 2	CL-2
Planta Edificio de control	EDF-1
Planta caseta de relés	EDF-2



EDIC.	FECHA	Dibujado	Proyectado	Comprobado	Validado	EDITADO PARA
1	20/05/16	ADG	ADG	MSM	MSM	PROYECTO

I.C.A.I

I.C.A.I

EL AUTOR DEL PROYECTO:
Alvaro Díaz

ESCALAS:
1:25000

PLANO DE SITUACIÓN

Documento PROYECTO

SUB BERMEO 400 kV

Documento SIT-1

HOJA 1 SIGUE 1



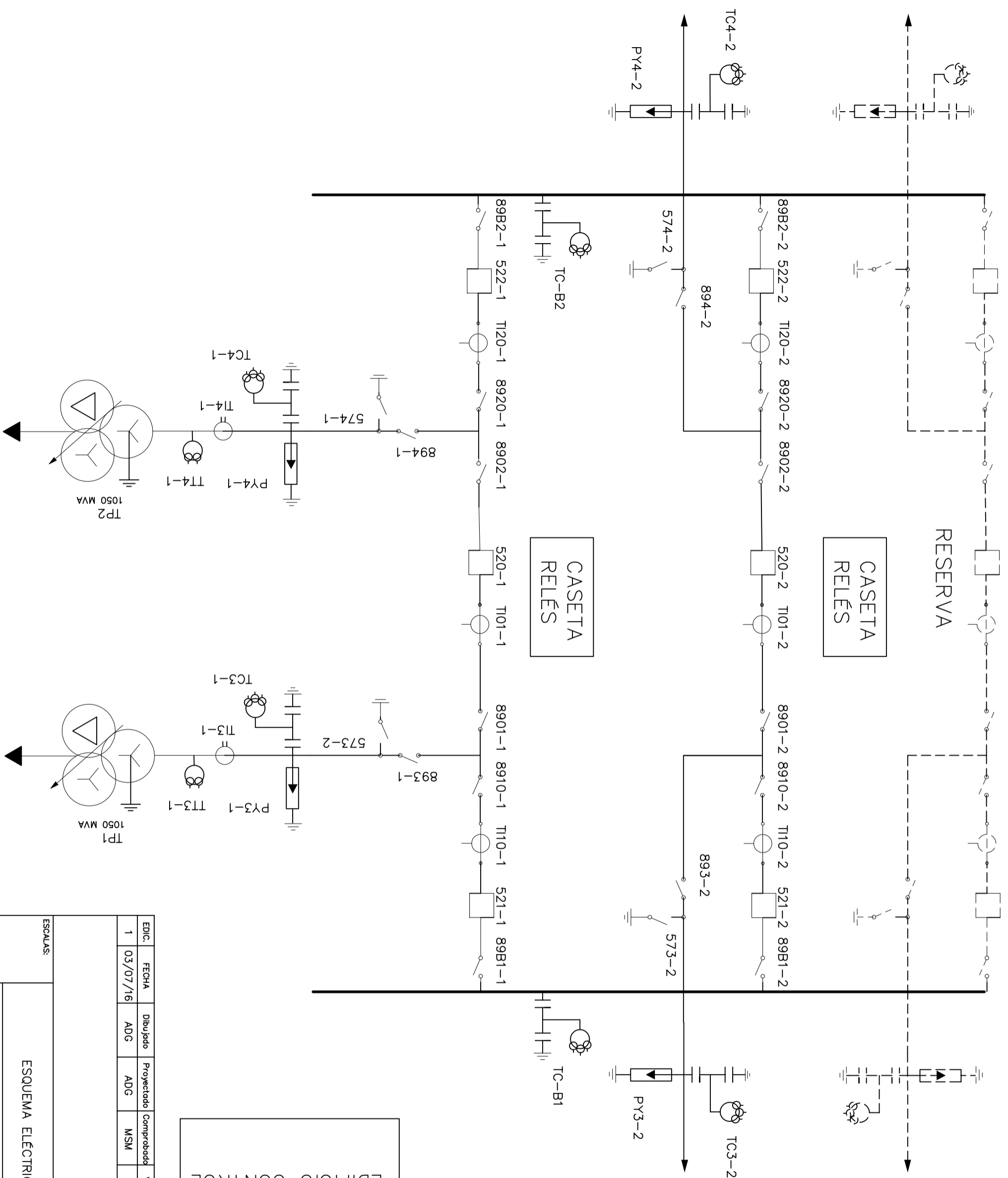
EDIC.	FECHA	Dibujado	Proyectado	Comprobado	Validado	EDITADO PARA PROYECTO
1	20/05/16	ADG	ADG	MSM	MSM	

ESCALAS:	1:25000	EL AUTOR DEL PROYECTO:	I. C. A. I
		Documento PROYECTO	
		Documento EMP-1	
		Documento HOJA 1 SIGUE 1	

PLANO DE EMPLAZAMIENTO

SUB BERMEO 400 kV

I. C. A. I
 EL AUTOR DEL PROYECTO:
Álvaro Díaz
 Documento PROYECTO
 Documento EMP-1
 HOJA 1 SIGUE 1



EDIFICIO CONTROL

EDIC.	FECHA	Dibujado	Proyectado	Comprobado	Validado	EDITADO PARA
1	03/07/16	ADG	ADG	MSM	MSM	PROYECTO

EL AUTOR DEL PROYECTO:
I.C.A.I

ALVARO DÍAZ

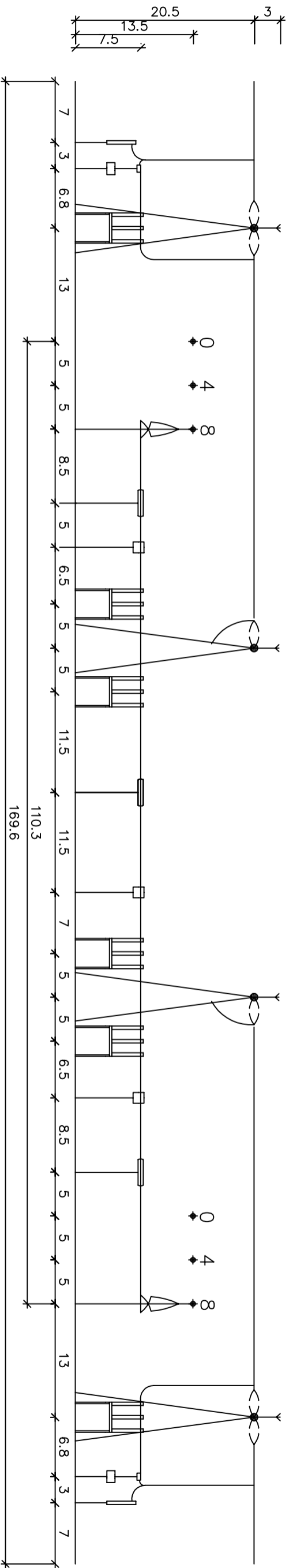
Documento PROYECTO

Documento UNF-1

HOUA 1 SIGUE 1

ESCALAS:
ESQUEMA ELÉCTRICO UNIFILAR

SUB BERMEO 400 KV



EDIC.	FECHA	Dibujado	Proyectado	Comprobado	Validado	EDITADO PARA
1	03/07/16	ADG	ADG	MSM	MSM	PROYECTO

EL AUTOR DEL PROYECTO:
I. C. A. I.

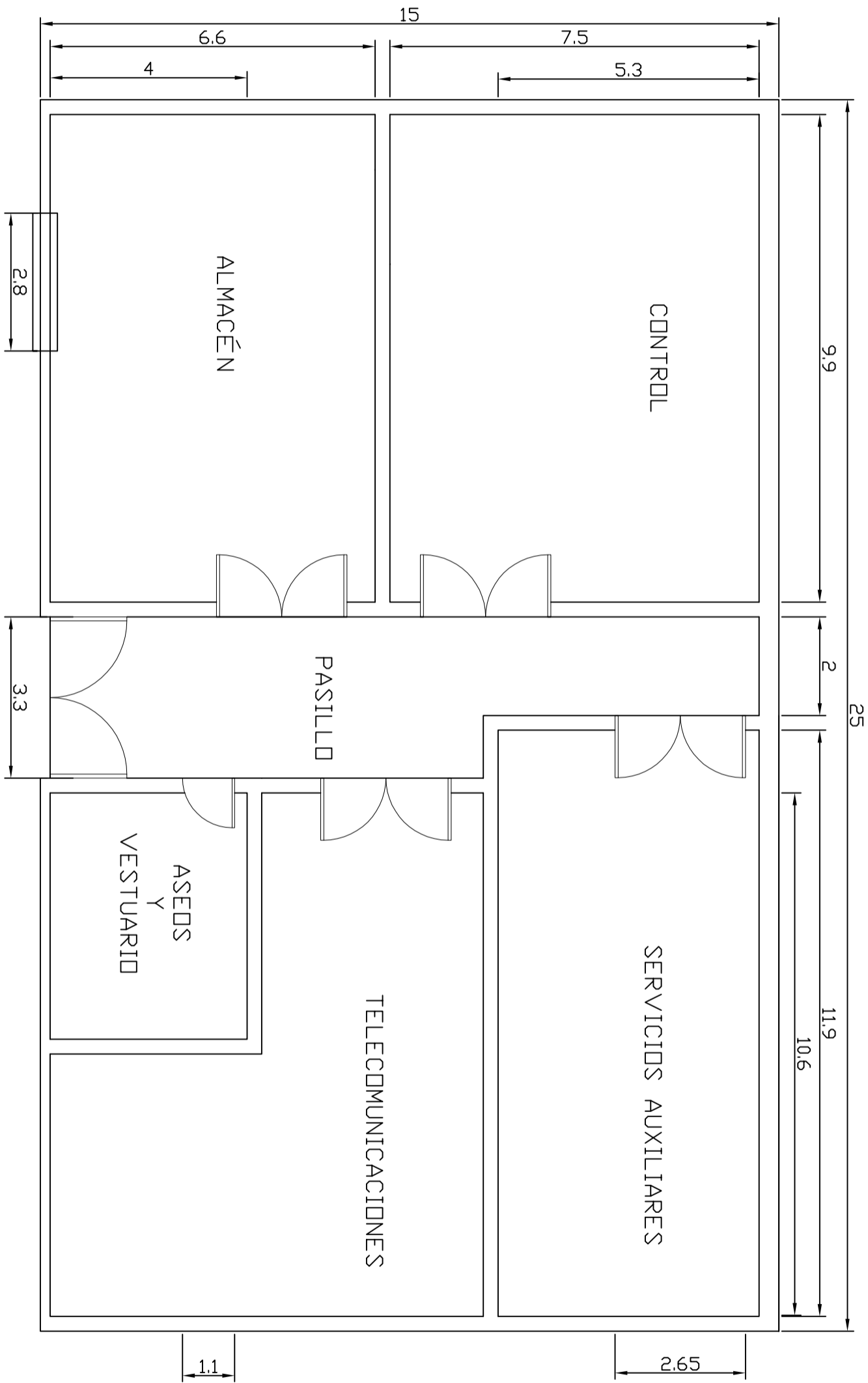
ALVARO DÍAZ

Documento PROYECTO

Documento CL-2

HOUA 1 SIGUE 1

ESCALAS:	PERFIL CALLE 2	SUB BERMEO 400 KV
1:500		

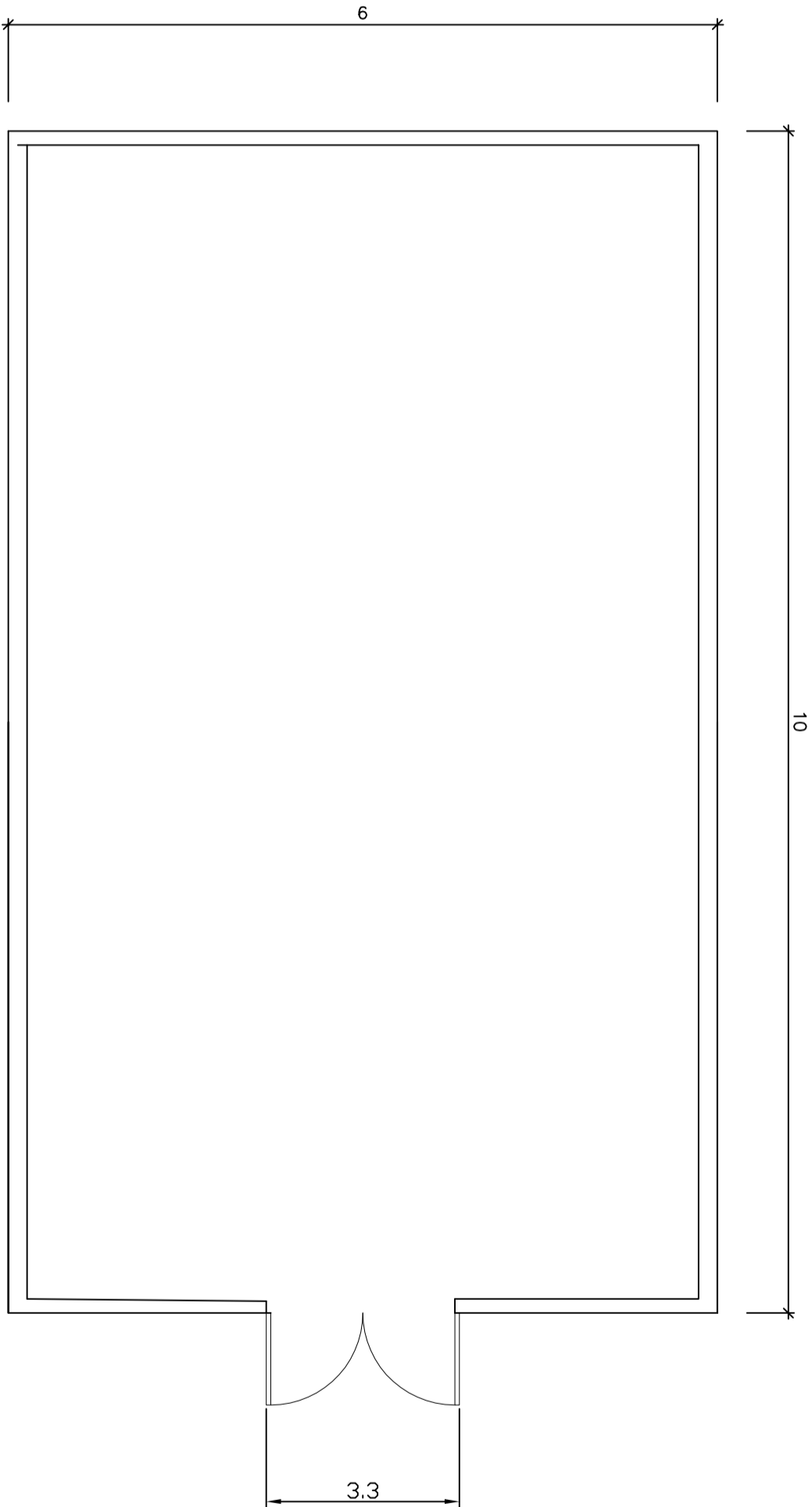


EDIC.	FECHA	Dibujado	Proyectado	Comprobado	Validado	EDITADO PARA
1	03/07/16	ADG	ADG	MSM	MSM	PROYECTO

EL AUTOR DEL PROYECTO:
I.C.A.I
 Alvaro Díaz

ESCALAS:
 1:100
 PLANTA EDIFICIO DE CONTROL

SUB BERMEO 400 KV
 Documento EDF-1
 HOJA 1 SIGUE 1



EDIC.	FECHA	Dibujado	Proyectado	Comprobado	Validado	EDITADO PARA
1	03/07/16	ADG	ADG	MSM	MSM	PROYECTO

EL AUTOR DEL PROYECTO:
I. C. A. I.

ALVARO DÍAZ

ESCALAS:	Documentos
1:50	Documentos

Documentos	EDF-2
PLANTA CASETA RELES 1-2	
SUB BERMEO 400 KV	

HOJA 1 SIGUE 1

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Instalaciones eléctricas de alta tensión; José A. Navarro Márquez, Antonio Montañés Espinosa, Ángel Santillán Lázaro.
- Elementos de diseño de subestaciones eléctricas; Enriquez Harper.
- Apuntes de Subestaciones eléctricas de alta tensión; Matías J. Sánchez Mingarro.
- Diseño de subestaciones eléctricas; Raúl Martín.
- Planeamiento del diseño de subestaciones eléctricas; Fernando Gómez Tapias, Hermann Raúl Vargas Torres.
- Diseño de estaciones eléctricas;
- Apuntes de la asignatura “Subestaciones”, curso 2015-2016.
- Apuntes de la asignatura “Líneas”, curso 2015-2016.
- Apuntes de la asignatura “Protecciones”, curso 2015-2016.
- Apuntes de la asignatura “Oficina Técnica”, curso 2015-2016.
- REAL DECRETO 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Instituto geográfico nacional; centro nacional de información geográfica.
- Norma UNE-EN 60865-1.
- Norma IEEE 80-2000.

- Proyecto de ejecución de la subestación de Muruarte, 400/220 kV.
- Edificios de subestaciones eléctricas; hc energía.
- www.euskalmet.euskadi.net
- www.aerospacemetals.com
- www.ree.es
- www.siemens.es
- www.artech.es
- www.abb.es