



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA-ICAI

GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ESPECIALIDAD ELÉCTRICA

**DISEÑO DE LA
SUBESTACIÓN BLINDADA
TEGUISE
66 KV/20 KV**

Autor: Diego Machetti Meneses

Director: Gerardo Fernández Magester

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

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

El autor

D. Diego Machetti Meneses

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

Diseño de la Subestación Blindada “Teguise”,

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

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

3º. Condiciones de la cesión y acceso

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

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) 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.

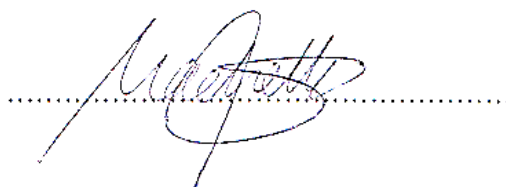
La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes 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 **26 de Junio de 2016**

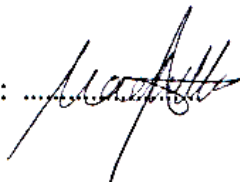
ACEPTA

Fdo:



Proyecto realizado por el alumno:

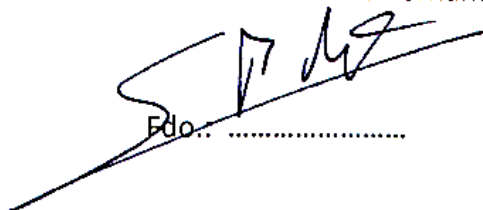
Diego Machetti Meneses

Fdo.:..... Fecha: 1/06/2016

Autorizada la entrega del proyecto cuya información no es de carácter confidencial

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Gerardo Fernández Magester

 Fdo.: Fecha: 1/06/2016

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fernando de Cuadra García

Fdo.: Fecha: 2/06/2016



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA-ICAI
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
ESPECIALIDAD ELÉCTRICA

**DISEÑO DE LA
SUBESTACIÓN BLINDADA
TEGUISE
66 KV/20 KV**

Autor: Diego Machetti Meneses

Director: Gerardo Fernández Magester

DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN BLINDADA TEGUISE 66/20 KV

Autor: Machetti Meneses, Diego.

Director: Fernández Magester, Gerardo.

Entidad colaboradora: ICAI-Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como objetivo el diseño integral de una subestación tipo GIS de niveles de tensión 66/20 kV y 75 MVA de potencia aparente, que formará parte de la red de transporte de 66 kV de la isla de Lanzarote, en las islas Canarias.

El proyecto pretende dar solución a un problema real como es el refuerzo del mallado de la red eléctrica de Lanzarote, que es muy distinta a las que existen en la Península. Mientras que la red de la Península está fuertemente mallada, el sistema eléctrico insular es mayoritariamente radial. Ello afecta en gran medida al suministro, puesto que si una línea deja de estar operativa debido a una falta (lo cual es un hecho relativamente frecuente) o por influencias atmosféricas, las industrias y los domicilios quedan sin abastecimiento eléctrico.

La implantación de esta subestación supone un refuerzo en el mallado de la isla de Lanzarote y, consecuentemente, un aumento en la fiabilidad del sistema.

En cuanto al sistema eléctrico de la isla, la mayor tensión de la red es de 66 kV y está gestionada por Endesa. Actualmente Lanzarote cuenta con cinco subestaciones, de las cuales dos son de interconexión con las islas de Fuerteventura y La Graciosa. Este dato invita a pensar que la implantación de una subestación adicional sería una medida muy positiva para los habitantes de la isla.

Se considera que el lugar más adecuado para la construcción de la nueva subestación es el pueblo de Tegui (también conocido como Villa de Tegui). Éste emplazamiento permitiría abastecer mediante líneas de 20 kV la zona nororiental de la isla. El recorrido de las nuevas líneas de media tensión implicará alcanzar los referidos objetivos de fiabilidad.

En cuanto al contenido, se trata de un proyecto de ingeniería eléctrica clásico al que se ha proporcionado un enfoque innovador en varios elementos, inédito de acuerdo con el estado del arte, de tal modo que el resultado final se vea enriquecido y resulte de interés académico y técnico.



Partiendo de los datos de potencia y corriente proporcionados por Endesa, y buscando un compromiso entre fiabilidad e inversión, se ha decidido emplear una tipología de doble barra para 66 kV, al igual que para 20 kV, embarrado al cual se le han añadido acoplamientos longitudinales y transversales.

La elección de equipos se ha hecho de acuerdo a los requerimientos establecidos, buscando siempre el ahorro en la compra de los mismos. El diseño comprende todos los sistemas de embarrados, transformación y servicios auxiliares. Todos ellos se encuentran representados adecuadamente en los planos que se han incluido en el proyecto.

Se ha incluido un pliego de condiciones que detalla todos los requisitos de ejecución de obra civil, trabajos eléctricos y demás cometidos para la construcción de la subestación. El proyecto también tiene un presupuesto detallado con la relación gastos precisados.

Los puntos más innovadores en el contenido y en la manera que se ha afrontado el proyecto son el transformador principal de potencia y las simulaciones de sobretensiones en dicho transformador que se originan por la caída de un rayo.

El transformador supone una novedad desde el punto de vista tecnológico. Es de aislamiento seco y encapsulado en vacío. La desaparición del dieléctrico de aceite supone un avance en cuanto a seguridad, lo que implicará que de aquí a los próximos años ganen popularidad y se implanten en un mayor número de instalaciones. La inclusión de este tipo de transformador en un proyecto de este tipo puede suponer un cambio en la forma de diseñar las subestaciones de alta tensión inferiores a 132 kV.

El segundo punto novedoso es la simulación de sobretensiones originadas por la caída de un rayo. La compra de una autoválvula para la protección de un transformador es un gasto crítico que debe ser estudiado al detalle.

Después de haber calculado la autoválvula a instalar, se ha decidido simular la caída de un rayo para comprobar la eficacia del diseño y poder asegurar la integridad del transformador. Estas simulaciones han analizado distintos casos de estudio, tras las cuales se han obtenido una serie de conclusiones.

El diseño de la subestación ha tenido siempre presente que el espacio a ocupar debe ser el mínimo, algo beneficioso desde el punto de vista económico (por el precio del terreno) y desde el punto de vista del impacto ambiental que la instalación puede originar.

ABSTRACT

The main goal of this project is the complete design of a GIS substation with rated voltage levels 66/20 kV and 75 MVA of apparent power, which will partake in the 66 kV transportation system of in the island of Lanzarote, in the Canary Islands.

The project claims to solve a real problem: the reinforcement of Lanzarote's grid, which is very different to the one in the Peninsula. The electrical power system in the islands is mainly radial, whereas in the Peninsula is meshed, implying a higher reliability of the system. The typology present in the island affects directly the supply; if there is a fault (something that is actually pretty frequent) or any kind of atmospheric influence, industries and homes would not get any supply.

The establishment of this substation represents a reinforcement for the grid and, therefore, increases the quality and reliability of the grid in Lanzarote.

Concerning the electrical power system of the island, the highest rated voltage is 66 kV and the management is carried by Endesa. Currently, Lanzarote has five substations, two of which are interconnection ones with Fuerteventura and La Graciosa. This information may be helpful to consider that the implementation of the substation would be a very positive measure for the inhabitants of the island.

The place that is considered the best for building the substation is the village of Tegui (also known as Villa de Tegui). This location would allow to supply, with lines of 20 kV, the north-western part of island. The tour of the medium-voltage lines will allow to reach the goals of reliability mentioned before.

Regarding the content, this work starts as a classic-electrical engineering project which has dealt with some aspects from an innovative point of view. According to this procedure, the final result is enriched and provides interest, both technical and academic.

Starting with the data about power and current, given by Endesa, and searching a compromise between reliability and investment, it has been decided that the typology is a double-busbar for 66 kV, as well as with 20 kV. The medium voltage busbar includes transverse and longitudinal couplings.

The equipment has been chosen according to the requirements, looking always for the savings. The design involves the busbar systems, transformation system and ancillary services. All of them are adequately represented in the drawings attached.

The "Technical Specifications" document details all the requisites for the civil engineering works, electrical installations and further tasks for the construction of the substation, whose expenses are detailed in the budget chapter.



The most innovative points in both the content and the way the project has been approached, are the main power transformer and the lightning overvoltage simulations carried out with models.

The power transformer is a novelty from the technical point of view. The dry isolation and vacuum capsule avoids the use of oil dielectric, improving the safety of the substation. This kind of equipment will gain presence in the high voltage installations up to 132 kV during the following years.

The second novel point is the simulation approach. The surge arrester is a very important piece of equipment in a substation, and involves a rather wide investment, therefore, it represents an element that has to be carefully studied.

After having chosen the surge arrester (through the adequate calculations) several simulations have been carried out in order to check the efficacy of the design and guarantee the safety of the power transformer. Such simulations have analysed different cases of study, after which some conclusions have been obtained.

Finally, the design of the substation has always kept present that the surface to take up has to be minimum, something profitable from both the economical and the environmental impact.

Índice general

Capítulo I. Introducción	1
1.¿Qué es el sistema eléctrico?	2
2.Objetivo del proyecto	3
3.Clasificación de las subestaciones según su tipología	6
3.1.Simple barra	7
3.2.Barra partida	8
3.3.Doble barra	9
3.4.Interruptor y medio	11
3.6.Doble barra doble interruptor	12
3.7.Anillo	12
4.Tendencias de las subestaciones según la aparamenta	14
4.1.Aislamiento en aire (AIS)	15
4.2.Aislamiento en gas (GIS)	16
4.3.Híbridas (HIS)	17
4.4.Subestaciones de media tensión	17
4.5.Subestaciones móviles	18
5.Subestaciones en el sistema eléctrico español	19
6.Justificación de la configuración escogida	20
Capítulo II. Memoria Descriptiva	21
1.Transformador de potencia	22
1.1.Características generales y justificación	22
1.2.Características técnicas	23
1.3.Arrollamientos	25
1.4.Núcleo magnético	25
1.5.Autoválvula	26
1.6.Ruedas y elementos de elevación	28
1.7.Bornes y terminales del transformador	28
1.8.Cambiador de tomas	30
1.9.Envolvente metálica	31
1.10.Relés de imagen térmica.	32
1.11.Cables	33
1.12.Armarios	33
1.13.Placa de características	34
1.14.Pintura	35
1.15.Ruido	35
1.16.Registrador de impactos	35
1.17.Aseguramiento de calidad	35
2.Celdas GIS de 66 kV	36
2.1.Descripción del equipo	36
2.2.Características técnicas generales	37
2.3.Características asignadas a la aparamenta	38
2.3.1.Mecanismos de accionamiento	38
2.3.2.Contactos auxiliares	39
2.4.Descripción de la aparamenta	39



2.4.1.Interruptor	39
2.4.1.1.Funcionamiento del interruptor	40
•Sistema de carga del interruptor	41
•Operación de cierre	41
•Operación de apertura	41
•Características eléctricas	42
2.4.2.Seccionadores	43
•Características eléctricas	44
2.4.2.1.Seccionadores de puesta a tierra de mantenimiento	44
2.4.2.2.Seccionadores de puesta a tierra rápidos	45
2.4.3.Transformador de tensión	46
2.4.4.Transformadores de intensidad	47
•Características eléctricas de los transformadores de intensidad	49
2.4.5.Elementos de conexión	50
2.4.5.1.Aliviadores	50
2.4.5.2.Conexiones terminales	50
2.4.5.2.1.Conexiones terminales de transformador	50
2.4.5.2.2.Conexiones terminales de cable	51
2.4.6.Cubículos locales de control	51
2.5.Distribución de las celdas de 66 kV	53
2.5.1.Celdas de posición de transformador	54
2.5.2.Celda de acoplamiento de barras	54
3.Celdas de 20 kV	55
3.1.Descripción del equipo	55
3.2.Características técnicas generales	58
3.3.Descripción de la aparaenta	59
3.3.1.Interruptor	59
3.3.2.Seccionadores	60
3.3.3.Transformador de tensión	61
3.3.4.Transformadores de intensidad	62
3.3.5.Cubículos de control y protección	63
•Características de protección	64
•Características de control de operación	65
3.4.Distribución de las celdas de 20 kV	65
4.Cables aislados	68
4.1.Cables aislados de 20 kV	68
4.2.Cables aislados de 66 kV	70
4.3.Cable aislado de servicios auxiliares	72
5.Terminales de cable	74
5.1.Terminales para celdas de 20 kV	74
6.Servicios auxiliares	76
6.1.Servicios auxiliares de corriente alterna	76
6.1.1.Transformador de servicios auxiliares	76
6.1.2.Cuadro general de baja tensión de CA	78
6.1.3.Cuadros de distribución	79
6.1.4.Instalaciones de alumbrado	79



6.2.Servicios auxiliares de corriente continua	80
6.2.1.Cuadro general de CC	80
6.2.2.Baterías	80
6.2.2.1.Batería de 125 Vcc	81
6.2.2.2.Rectificador de la batería de 125 Vcc	81
7.Red de tierras	82
7.1.Descripción general	82
7.2.Datos de partida para el análisis	84
8.Protecciones eléctricas de la subestación	86
8.1.Protecciones en 66 kV	86
8.1.1.Mínima tensión	86
8.1.2.Sincronismo	86
8.1.3.Distance	86
8.1.4.Sobreintensidad direccional	87
8.2.Protecciones en 20 kV	88
8.2.1.Sobre-frecuencia y sub-frecuencia	88
8.2.2.Sobreintensidad de fase	88
8.2.3.Sobreintensidad de neutro	88
8.3.Protecciones eléctricas del transformador	89
8.3.1.Diferencial	89
8.3.2.Sobreintensidad	89
8.3.3.Protección de sobrecarga	90
Capítulo III. Cálculos	91
1.Corrientes nominales	92
2.Corrientes de cortocircuito	93
3.Cálculo de la red de tierras	93
4.Cálculo de los cables aislados	98
4.1.Cálculo del cable de 20 kV	99
4.2.Cálculo del cable de 66 kV	101
4.3.Cálculo del cable de servicios auxiliares	101
4.4.Comprobación por corriente de cortocircuito	102
5.Cálculo de la protección de sobreintensidad	103
6.Cálculo de las baterías	106
7.Cálculo de la autoválvula	108
8.Simulaciones de la autoválvula	111
8.1.Procedimiento	111
8.2.Caso I. Caída del rayo, sin autoválvula.	112
8.3.Caso II. Caída del rayo, con autoválvula y despreciando el cable aislado.	114
8.4.Caso III. Caída del rayo, con autoválvula y cable aislado.	115
8.5.Conclusiones de las simulaciones	118
Capítulo IV. Pliego de condiciones	119
1.Objeto	120
2.Abreviaturas y símbolos	120
3.Disposiciones generales	121
3.1.Seguridad en el trabajo	121



3.2.Gestión medioambiental	121
3.3.Códigos y normas	122
3.4.Condiciones para la ejecución por contrata	123
4.Condiciones técnicas de los transformadores de potencia	123
4.1.Placas de características	123
4.2.Pintura	123
4.2.1. Revisión del Diseño Constructivo	124
4.3.Inspecciones del Sistema de Calidad del suministrador	125
5.Ensayos de recepción en fábrica	126
6.Procedimientos tras la finalización de ensayos	126
7.Expedición, transporte, montaje en campo y pruebas de puesta en servicio	127
7.1.Autorización de expedición	127
7.2.Transporte y recepción en destino	128
7.2.1. Montaje en campo y pruebas de puesta en servicio	128
7.3.Lista de repuestos	128
7.4.Normas	129
7.5.Documentación	129
7.5.1. Documentación a presentar una vez formalizado el contrato.	129
7.6.Documentación de transporte	131
8.Condiciones generales de las celdas GIS de AT y MT	132
8.1.Características técnicas constructivas	132
8.2.Características constructivas de los módulos	133
9.Transformadores de tensión e intensidad	133
10.Calentamiento	133
11.Envolverte	133
12.Defectos internos	134
13.Compartimentación	134
13.1.Control de densidad	135
13.2.Dilatación	135
13.3.Puesta a tierra	135
13.3.1.Cableado e interconexión de armarios	136
13.4.Accesibilidad	136
13.5.Marcas	137
13.6.Montaje y puesta en servicio	137
14.Pruebas y ensayos	138
15.Ensayos de tipo	138
16.Ensayos en fábrica	138
17.Ensayos de mantenimiento	139
18.Listado de actuaciones en la revisión anual	140
18.1.Mantenimiento predictivo	140
18.2.Mantenimiento preventivo	140
18.2.1.Seccionadores	140
18.2.1.1.Conexiones	140
18.2.1.2.Interruptores	141
18.2.1.3.Transformadores de medida	142
18.2.1.4.Sistemas de protección y control	142



18.2.1.5.Baterías de C.C.	143
18.2.1.6.Estructuras aisladores y embarrados	143
18.2.1.7.Redes de M.T.	143
18.2.1.8.Seguridad frente a personas	144
18.2.2.Normativa aplicable	144
18.3.Información a entregar por el suministrador	145
18.3.1.Documentación previa al inicio de la fabricación	145
18.3.2.Documentación de ensayos a presentar	146
18.3.3.Documentación a presentar una vez realizado el montaje	146
18.4.Condiciones de transporte, embalaje y almacenamiento	146
18.4.1.Almacenamiento	146
18.4.2.Transporte	147
18.5.Registros de calidad	147
18.6.Plan de calidad	147
19.Desviaciones	148
19.1.Acceso a instalaciones y documentación en inspecciones	148
19.2.Autorización de expedición	148
19.3.Recepción en el lugar de destino	148
19.4.Documentación del informe de calidad	149
19.5.Garantías	149
19.6.Plazos	149
19.7.Otros requisitos	150
19.7.1.Asistencia técnica postventa	150
19.7.2.Alcance de los servicios	150
19.8.Prestaciones	150
20.Condiciones de los materiales de la obra civil	151
20.1.Libro de incidencias	151
20.2.Marcas de fabricación	151
20.3.Rellenos	151
20.4.Hormigones	152
20.5.Áridos para morteros y hormigones	152
20.6.Morteros	152
20.7.Cementos	153
20.8.Agua	153
20.9.Armaduras	153
20.10.Aceros laminados	154
20.11.Canalizaciones	154
20.12.Materiales prefabricados	155
20.13.Viales	155
20.14.Cerrajería	156
20.15.Piezas de hormigón armado o pretensado	156
20.16.Materiales siderúrgicos: características y ensayos.	156
20.17.Laminados de acero para estructuras	156
21.Condiciones generales de ejecución de las obras	156
21.1.General	156
21.2.Ingeniería	157



21.3.Replanteo	157
22.Movimientos de tierras	158
22.1.Desbroce y limpieza del terreno	158
22.1.1.Demoliciones	158
22.1.2.Escarificación y compactación	158
22.1.3.Excavaciones, rellenos, terraplenes, pedraplenes, y redes de drenaje	159
23.Hormigones	159
24.Pavimentos de hormigón	160
25.Armaduras	160
26.Laminados	160
26.1.Encofrados	160
26.2.Piezas prefabricadas de hormigón armado o pretensado	160
26.3.Estructura metálica	161
26.4.Ensayos y puesta en servicio	161
26.5.Cableado de MT	161
26.5.1.Interconexión de los cuadros de control	161
26.5.2.Conexionado de los cuadros de control	161
26.5.3.Rotulaciones	162
27.Plan de control de calidad	162
28.Control de materiales	163
29.Inspecciones y ensayos de fabricación y montaje	164
30.Pruebas de suministro	164
30.1.Replanteos	164
30.2.Movimientos de tierras	165
30.3.Hormigón	165
30.4.Piezas prefabricadas de hormigón armado o pretensado	165
30.5.Armaduras	166
30.6.Montaje de estructuras metálicas y soportes	166
30.7.Notas	167
31.Simultaneidad y coordinación entre suministradores	167
31.1.Plan básico de tiempos	167
32.Señalización y balizamiento	167
32.1.Introducción	167
32.2.Barrera de seguridad	168
33.Recepción de las obras	170
33.1.Medición y comprobaciones	170
33.2.Pruebas locales y PES de equipos de baja tensión	170
Capítulo V Presupuesto	171
1.Ingeniería y dirección facultativa	172
1.1.Ingeniería básica	172
1.2.Ingeniería de detalle	172
1.3.Dirección facultativa	172
1.4.Estudio geotécnico	172
1.5.Control de calidad	172
2.Obra civil	172
2.1.Demolición de soleras	172



2.2.Excavación en desmonte	172
2.3.Excavación en cimentaciones, zanjas y pozos	173
2.4.Compactación de terrenos para viales y aceras	173
2.5.Relleno y apisonado mecánico bajo transformadores	173
2.6.Relleno general	173
2.7.Coronación	173
2.8.Relleno con material seleccionado procedente de la excavación	173
2.9.Gravillado en paseos y viales	173
2.10.Transporte a vertedero de elementos desechables	173
3.Cimentaciones	174
3.1.Hormigón armado HA-30/B/20/IIA 2	174
3.2.Encofrados en madera para zapatas y vigas	174
3.3.Solera de hormigón armado para zona de transformador	174
3.4.Hormigón general para macizos de cimentación y losas de solera	174
4.Equipos eléctricos	174
4.1.Celdas GIS de 66 kV	174
4.1.1.Celda de línea	174
4.1.2.Celda de transformador de potencia	174
4.1.3.Celda de acoplamiento	175
4.1.4.Celda de medida de tensión en barras	175
4.2.Celdas GIS de 20 kV	176
4.2.1.Celda de línea	176
4.2.2.Celda de transformador de potencia	176
4.2.3.Celda de remonte	176
4.2.4.Celda de transformador de servicios auxiliares	176
4.2.5.Celda de medida de tensión	177
4.2.6.Celda de acoplamiento transversal	177
4.2.7.Celda de acoplamiento longitudinal	177
4.3.Transformadores	177
4.3.1.Transformador de potencia	177
4.3.2.Transformador de servicios auxiliares	178
4.4.Cables aislados	178
4.4.1.Cable AL Voltalene H LX HI0Z1	178
4.4.2.Cable AL Voltalene H RHZ1-20L	178
4.4.3.Cable AL Eprotenax H Compact	178
4.5.Autoválvula	178
4.6.Protecciones en 66 kV	179
4.6.1.Relé de mínima tensión	179
4.6.2.Relé de sincronismo	179
4.6.3.Relé de distancia	179
4.6.4.Relé de sobreintensidad direccional	179
4.7.Protecciones en 20 kV	179
4.7.1.Relé de sub-frecuencia	179
4.7.2.Relé de sobre-frecuencia	179
4.7.3.Relé de sobreintensidad de fase	179
4.7.4.Relé de sobreintensidad de neutro	179



4.8. Protecciones del transformador	179
4.8.1. Relé diferencial	179
4.8.2. Relé de sobreintensidad de fase	179
4.8.3. Relé de sobrecarga	179
4.9. Servicios auxiliares	180
4.9.1. Cuadro general de BT de CA	180
4.9.2. Cuadros de distribución	180
4.9.3. Cuadro general de CC	180
4.9.4. Baterías	180
4.10. Alumbrado	180
4.10.1. Alumbrado exterior de la subestación	180
4.10.2. Alumbrado de emergencia fluorescente de 12 W	180
4.10.3. Luminaria colgante de 60 W	180
4.10.4. Luminaria con lámpara incandescente	180
5. Estructuras	181
5.1. Acero corrugado B-500-SD	181
5.2. Hormigón en masa HM-20/P/20/IIa	181
5.3. Hormigón para armar HA-25/B/20/IIa vibrado, en bancada del transformador	181
5.4. Hormigón armado para pilares	181
5.5. Cimbra metálica para montaje de encofrados y hormigonado y andamiaje	181
5.6. Junta de dilatación losas	181
5.7. Vías de transformadores	181
5.8. Muro de cerramiento con panel prefabricado liso y aislante térmico	181
6. Albañilería	182
6.1. Piezas prefabricadas de hormigón para galería de cables simple	182
6.2. Piezas prefabricadas de hormigón para galería de cables de 20 kV	182
6.3. Bancada del transformador	182
6.4. Suelo técnico elevado sobre solera	183
7. Cubiertas y pavimentos	183
7.1. Cubierta para edificio prefabricado	183
7.2. Bajante de acero galvanizado D=100 mm	183
7.3. Falso suelo en sala de servicios auxiliares	183
7.4. Pavimento continuo epoxi autonivelante para resto de salas	183
8. Carpintería	184
8.1. Carpintería exterior	184
8.1.1. Puerta corredera	184
8.1.1.1. Puerta de chapa	184
8.2. Carpintería interior	184
8.2.1. Mirilla circular	184
8.2.2. Barra antipánico con puerta de una hoja	184
8.2.3. Barra antipánico con puerta de dos hojas	184
8.2.4. Puerta cortafuegos EI2-90-C5	184
8.2.5. Puerta cortafuegos EI2-90-C5	185
9. Pintura	185
9.1. Pintura plástica lisa para exteriores	185
9.2. Tratamiento superficial anti-pintadas para exteriores	185



9.3.Pintura plástica lisa mate estándar	185
9.4.Pintura plásticas acrílica mate lavable para resto de estancias	185
10.Fontanería	185
10.1.Tanque	185
10.2.Tubería	185
11.Red de tierras	186
11.1.Conductores	186
11.2.Picas	186
11.3.Soldadura	186
12.Sistemas PCI y anti-intrusismo	186
12.1.Central de detección de PCI con detectores algorítmicos	186
12.2.Sistema de detección por conducto aspiración completo para sala principal	186
12.3.Caja alarma exterior	186
12.4.Pulsadores detección incendio	186
12.5.Extintor portátil 5 kg CO2	187
12.6.Extintor portátil 5 kg polvo polivalente ABC	187
12.7.Carro extintor 25 kg CO2	187
12.8.Carro extintor 25 kg polvo polivalente ABC	187
12.9.Cartel indicador normalizado	187
12.10.Sellados verticales y horizontales con RF	187
12.11.Grupo bombeo del sistema de agua nebulizada y difusores	187
12.12.Sistema extinción por agua nebulizada y difusores	187
12.13.Sistema anti-intrusismo	188
13.Ventilación	188
13.1.Equipos de ventilación y conductos de chapa galvanizada para sala de AT	188
13.2.Aero-refrigerantes y conductos de chapa galvanizada	188
13.3.Aire acondicionado	188
14.Seguridad y salud	189
14.1.Instalaciones de bienestar	189
14.1.1.Mobiliario de oficina y aseo	189
14.1.2.Acometida provisional fontanería	189
14.1.3.Acometida provisional de saneamiento	189
14.1.4.Portarrollos industrial con cerradura	189
14.1.5.Jabonera industrial 1 litro	189
14.1.6.Seca-manos eléctrico	189
14.1.7.Depósito-cubo de basuras	189
14.1.8.Botiquín de urgencia	189
14.1.9.Reposición botiquín	190
14.2.Señalización	190
14.2.1.Cinta balizamiento bicolor 8 cm	190
14.2.2.Cono de balizamiento reflectante d=70 mm	190
14.2.3.Cartel PVC 220x300 mm para indicaciones	190
14.2.4.Cartel PVC para señalización extintor, boca de incendio	190
14.2.5.Panel completo PVC 700x1000 mm	190
14.2.6.Señal triangular l=70 cm con soporte	190
14.2.7.Señal circular d=60 cm con soporte	190



14.2.8. Señal stop d=60 cm con soporte	190
14.2.9. Paleta manual 2 caras stop- obligación	190
14.3. Equipos de protección colectiva	191
14.3.1. Malla galvanizada simple torsión	191
14.3.2. Pasarela metálica hormigonado muros	191
14.3.3. Barandilla guarda cuerpos y tubos	191
14.3.4. Protecciones horizontales con cuajado de tablonos	191
14.3.5. Pasarela madera sobre zanjas	191
14.4. Equipos de protección individual	191
14.4.1. Casco de seguridad ajustable con atalajes	191
14.4.2. Casco de seguridad dieléctrico	191
14.4.3. Pantalla de mano soldador	191
14.4.4. Equipo facial de seguridad para soldadura (casco especial)	192
14.4.5. Gafas para soldadura oxiacetilénica	192
14.4.6. Gafas contra impactos	192
14.4.7. Gafas anti polvo	192
14.4.8. Semi máscara anti polvo de 1 filtro	192
14.4.9. Semi máscara anti polvo 2 filtros	192
14.4.10. Cascos protectores auditivos	192
14.4.11. Juego tapones anti ruido silicona	192
14.4.12. Faja de protección lumbar	192
14.4.13. Cinturón portaherramientas	192
14.4.14. Mono de trabajo poliéster- algodón	192
14.4.15. Traje impermeable	192
14.4.16. Traje agua verde ingeniero	193
14.4.17. Mandil cuero para soldador	193
14.4.18. Peto reflectante de seguridad	193
14.4.19. Par guantes aislantes 5000 V	193
14.4.20. Par guantes aislantes 1000V	193
Capítulo VI. Planos	201
Capítulo VII. Bibliografía	213

Índice de tablas

Tabla 1. Categorías de las instalaciones eléctricas.	6
Tabla 2. Subestaciones en España.	20
Tabla 3. Descripción eléctrica del interruptor.	42
Tabla 4. Descripción eléctrica de los seccionadores.	44
Tabla 5. Medidas de la celda de 20 kV.	57
Tabla 6. Duración total de falta y tensiones admisibles.	83
Tabla 7. Resultados de los ensayos de resistividad eléctrica (diferentes litologías).	84
Tabla 8. Propiedades iniciales para el cálculo de la puesta a tierra.	85
Tabla 9. Características eléctricas de la subestación.	92
Tabla 10. Magnitudes de cortocircuito.	93
Tabla 11. Resistividades superficiales corregidas.	94
Tabla 12. Tensiones de paso y contacto máximas admisibles de la instalación.	94
Tabla 13. Definición de los parámetros de cálculo de la puesta a tierra.	95
Tabla 14. Valor de los parámetros de cálculo de la puesta a tierra.	97
Tabla 15. Comprobación de las tensiones de paso y de contacto obtenidas.	98
Tabla 16. Autoválvulas candidatas.	110
Tabla 17. Abreviaturas y símbolos.	120
Tabla 18. Especificaciones de los hormigones.	152
Tabla 19. Dosificación de los hormigones.	153
Tabla 20. Condiciones de montaje.	166
Tabla 21. Características mecánicas.	169

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Subestaciones y líneas de 66 kV de la isla de Lanzarote.	3
Ilustración 2. Sistema de distribución de la isla de Lanzarote.	4
Ilustración 3. Vista panorámica de la Villa de Tegui.	4
Ilustración 4. Emplazamiento de la subestación. Vista aérea.	5
Ilustración 5. Esquema unifilar de una subestación de simple barra.	7
Ilustración 6. Esquema unifilar de una subestación de barra partida.	8
Ilustración 7. Esquema unifilar de una subestación de doble barra.	10
Ilustración 8. Esquema unifilar de una subestación de interruptor y medio.	11
Ilustración 9. Esquema unifilar de una subestación de doble barra doble interruptor.	12
Ilustración 10. Esquema unifilar de una subestación en anillo.	13
Ilustración 11. Comparación del espacio ocupado por una GIS y una AIS.	14
Ilustración 12. Subestación de San Sebastián de los Reyes (REE).	15
Ilustración 13. Subestación con mejora de estética.	15
Ilustración 14. Aparamenta GIS (ABB).	16
Ilustración 15. Vista de una subestación HIS.	17
Ilustración 16. Celdas de media tensión.	17
Ilustración 17. Subestación móvil. (Tadeo Czerweny S.A).	18
Ilustración 18. Distribución de las compañías eléctricas de distribución en España.	19
Ilustración 19. Transformador de encapsulado de vacío HiDry.	24



Ilustración 20. Pérdidas por efecto de las corrientes parásitas del núcleo magnético. _____	25
Ilustración 21. Simulación de la tensión dieléctrica según los ensayos BIL y AC. _____	26
Ilustración 22. Detalle del campo de dispersión magnética. _____	26
Ilustración 23. Detalle de la conexión de los cables de AT. _____	29
Ilustración 24. Detalle de la conexión de los cables de MT. _____	29
Ilustración 25. Vista de semi-perfil del cambiador de tomas del transformador. _____	31
Ilustración 26. Vista de la envolvente metálica del transformador. _____	32
Ilustración 27. Vista general del módulo GIS de 66 kV. _____	36
Ilustración 28. Alzado y planta del módulo GIS de 66 kV. _____	38
Ilustración 29. Alojamiento del accionamiento del interruptor. _____	39
Ilustración 30. . Perfil del interruptor con mecanismo de accionamiento. _____	40
Ilustración 31. Componentes del accionamiento del interruptor. _____	40
Ilustración 32. Alojamiento del accionamiento de los seccionadores. _____	43
Ilustración 33. Seccionador de barras. _____	43
Ilustración 34. Detalle de la ubicación de los seccionadores. _____	44
Ilustración 35. Seccionador de puesta a tierra para labores de mantenimiento. _____	45
Ilustración 36. Seccionador de puesta a tierra de respuesta rápida. _____	45
Ilustración 37. Sección del transformador de tensión. _____	46
Ilustración 38. Vista exterior del transformador de tensión. _____	47
Ilustración 39. Sección del transformador de intensidad. _____	48
Ilustración 40. Vista exterior del transformador de intensidad. _____	48
Ilustración 41. Sección del aliviador de presión. _____	50
Ilustración 42. Sección de las conexiones terminales de cable. _____	51
Ilustración 43. Cubículos locales de control. _____	51
Ilustración 44. Vista frontal del IMM. _____	52
Ilustración 45. Vista general del módulo de 20 kV. _____	55
Ilustración 46. Secciones y elementos de la celda de acoplamiento de 20 kV. _____	56
Ilustración 47. Secciones y elementos de medida en barras de 20 kV. _____	57
Ilustración 48. Interruptor de las celdas de 20 kV. _____	59
Ilustración 49. Seccionador de las celdas de 20 kV. _____	60
Ilustración 50. Transformador de tensión de las celdas de 20 kV _____	61
Ilustración 51. Transformador de intensidad de las celdas de 20 kV. _____	62
Ilustración 52. Esquema de un transformador de intensidad compuesto. _____	62
Ilustración 53. Imagen del relé REF 615. _____	64
Ilustración 54. Monitores de la unidad REF 542 plus. _____	65
Ilustración 55. Componentes del cable aislado de 20 kV. _____	69
Ilustración 56. Componentes del cable aislado de 66 kV. _____	71
Ilustración 57. Componentes del cable aislado de 20 kV de servicios auxiliares. _____	73
Ilustración 58. Componentes del terminal de 20 kV. _____	75
Ilustración 59. Accesorio de unión de terminales enchufables en paralelo para de 20 kV. ____	76
Ilustración 60. Vistas del transformador. _____	78
Ilustración 61. Cuadro general de BT de CA. _____	79
Ilustración 62. Telurímetro y ensayo de resistividad eléctrica. _____	82
Ilustración 63. Protección de comparación direccional. _____	87
Ilustración 64. Disposición de los cables en el interior de la galería. _____	98
Ilustración 65. Factor de corrección para temperaturas ambiente distintas de 40 °C., RLAT. _	99



Ilustración 66. Factor de corrección para cables unipolares. _____	99
Ilustración 67. Intensidades máximas admisibles (A). _____	100
Ilustración 68. Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito. _____	102
Ilustración 69. Circuito equivalente de la falta trifásica en bornes del transformador. _____	103
Ilustración 70. Circuito equivalente de la componente directa. _____	105
Ilustración 71. Circuito equivalente de la componente inversa. _____	105
Ilustración 72. Circuito equivalente de la falta bifásica al final de la línea. _____	105
Ilustración 73. Diagrama de solicitaciones de la batería. _____	107
Ilustración 74. Esquema de simulación sin autoválvula. _____	112
Ilustración 75. Respuesta temporal. _____	113
Ilustración 76. Esquema de simulación con autoválvula. _____	114
Ilustración 77. Respuesta temporal. _____	114
Ilustración 78. Respuesta temporal. _____	115
Ilustración 79. Esquema de simulación con autoválvula y cable aislado. _____	116
Ilustración 80. Respuesta temporal. _____	117
Ilustración 81. Respuesta temporal. _____	118





Capítulo I

Introducción

1. ¿Qué es el sistema eléctrico?

El electromagnetismo es una de las ramas de la física que más se ha desarrollado desde su aparición a mediados del siglo XIX. La manera más directa por la cual se plasma en nuestra sociedad es a través de la ingeniería eléctrica. La ingeniería eléctrica está tan presente en nuestro mundo, que es muy complicado imaginarse alguna actividad del día a día en la que ella no intervenga. Sin embargo, hay un largo camino y unos procesos muy precisos entre las formas de energía que se encuentran en la naturaleza hasta el servicio eléctrico que llega a los núcleos urbanos y a las industrias.

El camino hasta estos puntos finales comienza en las centrales, donde las energías primarias se transforman en energía eléctrica. Tras el auge de la Revolución Industrial, las centrales empleaban en sus comienzos máquinas de vapor y motores de combustión que movían los generadores, de los que se obtenía electricidad en forma de corriente continua. Más tarde la implantación generalizada de la corriente alterna permitió aumentar la versatilidad y el alcance geográfico de la energía eléctrica.

Los cambios en la forma de entender las centrales son perceptibles, en gran medida, en la diversidad de tecnologías de generación con las que se cuenta hoy en día: desde las clásicas centrales térmicas y las de gas, pasando por las controvertidas centrales nucleares, hasta las eólicas, solares y demás renovables que seguramente marquen el patrón a seguir para los próximos años.

Una vez se ha generado la energía, el siguiente paso consiste en transportarla desde las centrales hacia los centros de consumo. Para ello se eleva la tensión mediante transformadores, ya que cuanto mayor sea la tensión de transporte, menores son las pérdidas producidas por efecto Joule, pues la corriente es menor. La energía es transportada a lo largo de la distancia por las líneas en Alta Tensión (a partir de 220 kV), que generalmente son aéreas (cables conductores que reposan en torres de apoyo), aunque también existen líneas subterráneas.

A lo largo del recorrido de las líneas es necesario realizar maniobras o disminuir la tensión; este tipo de operaciones se realizan en las subestaciones, que en función de su morfología ofrecen distintas prestaciones.

El abastecimiento final a los centros de consumo se hace de manera generalizada a través de cables y acometidas subterráneas a niveles de tensión mucho más bajos; 230 o 400 Voltios, por ejemplo.

Con esta breve descripción del sistema eléctrico, se pretende hacer notar la importancia de tener unos sistemas de generación, transporte y distribución de calidad y fiables, puesto que el abastecimiento de electricidad es una necesidad de primer orden para cualquier sociedad en el mundo.

2. Objetivo del proyecto

El objetivo de este proyecto es el diseño íntegro de una subestación blindada, de niveles de tensión 66/20 kV y 75 MVA de potencia aparente para el reparto del suministro eléctrico, con el objetivo de poder aplicar de manera directa el conjunto de conocimientos adquiridos durante la carrera.

Con el objeto de dar el mayor rigor técnico y profesional al documento, se ha querido encontrar una aplicación real e inmediata a la infraestructura que se va a diseñar; de manera que el proyecto, además de cubrir una función académica, atienda también una necesidad social. La respuesta que pretende dar el diseño de esta subestación es la de la mejora del servicio eléctrico en alguna región de España.

A partir de la información de los niveles de tensión de la subestación, se ha procedido a buscar los enclavamientos más óptimos en la geografía española. La fuente a la que se ha acudido a consultar ha sido Red Eléctrica de España, que proporciona un mapa completo de toda la red de transporte del país.

Inmediatamente resultó de interés el hecho de que en las Islas hubiese el nivel de tensión de 66 kV, lo que llevó a una búsqueda paralela de información que pudiese justificar el aspecto social mencionado anteriormente.



Ilustración 1. Subestaciones y líneas de 66 kV de la isla de Lanzarote.

El resultado fue el hallazgo de una serie de artículos periodísticos que mostraban el descontento de algunas poblaciones de las Islas Canarias por los problemas de suministro que se daban en situaciones de climatología adversa. Además, consultando los mapas de la compañía de la red de transporte (REE) y de la compañía distribuidora (Endesa) se pudo comprobar la falta de solidez en el mallado y el carácter radial de las líneas de distribución; algo que ante un caso de falta en la línea dejaría sin suministro a los abonados.

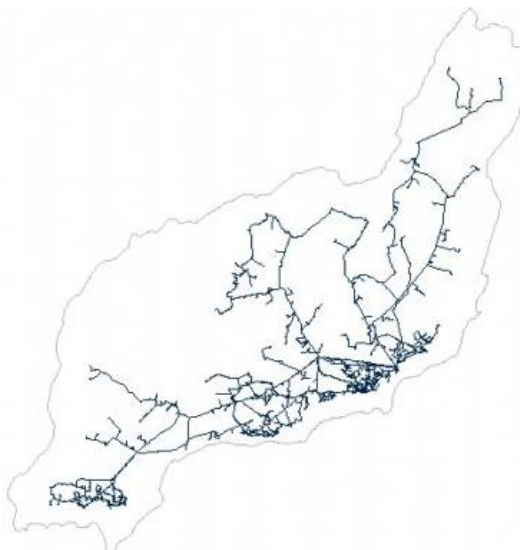


Ilustración 2. Sistema de distribución de la isla de Lanzarote.

Finalmente se ha escogido la ubicación en la Villa de Teguise, en la isla de Lanzarote. Se considera que una subestación situada allí fortalecería la red de la isla. La Villa de Teguise tiene alrededor de 21.000 habitantes y se encuentra en la parte nororiental de Lanzarote.



Ilustración 3. Vista panorámica de la Villa de Teguise.

La nueva subestación de Tegui se quedará conectada a la subestación de San Bartolomé por una línea de 66 kV. La isla cuenta actualmente con cinco subestaciones: la de San Bartolomé, la de Punta Grande, la de Mácher y dos subestaciones de enlace submarino con otras dos islas; la de Playa Blanca con la isla de Fuerteventura y la de Salinas del Río que une el extremo norte de Lanzarote con la isla de La Graciosa.

De la nueva subestación de Tegui se sacarán varias líneas de Media Tensión para la distribución de la energía que se dirigirán a los emplazamientos que se consideren más oportunos.

La subestación está pensada para originar el menor impacto en la población y pasar de manera desapercibida, es por ello que quedará albergada en un edificio de contención de arquitectura igual o similar a las casas de la zona, de fachadas blancas. La aparamenta será tipo GIS (aislada en gas SF₆) y se situará a las afueras del núcleo urbano.



Ilustración 4. Emplazamiento de la subestación. Vista aérea.

3. Clasificación de las subestaciones según su tipología

Según el Reglamento de Alta Tensión, una subestación eléctrica es el conjunto de la aparamenta eléctrica situada en un mismo lugar, necesaria para realizar alguna o varias de las siguientes operaciones: la conexión de varios circuitos, la transformación y regulación de la tensión, el cambio de frecuencia, el cambio del número de fases, la rectificación de la corriente, la compensación del factor de potencia y la medida y protección de líneas.

La clasificación de instalaciones eléctricas se hace a través de sus niveles de tensión de la siguiente manera, teniendo en cuenta que si en una instalación hubiese distintos niveles de tensión, se clasificaría según el mayor de los valores.

Categoría	Requisito
Especial	Tensión superior a 220 kV o parte de la Red de Transporte
Primera	Tensión inferior a 220 kV y superior a 66kV
Segunda	Tensión menor o igual a 66 kV y superior a 30 kV
Tercera	Tensión menor o igual a 30 kV y superior a 1 kV

Tabla 1. Categorías de las instalaciones eléctricas.

El elemento más importante de una subestación es el embarrado. Está formado por tres barras (sistema trifásico) que se sitúan a cierta altura, ya que cuando están en servicio pueden tener hasta tensiones de 400 kV, y no es deseable que se rompa la rigidez dieléctrica del aire y aparezca un arco eléctrico entre personas que puedan estar cerca u objetos metálicos y las barras.

Se suele dar una pequeña curvatura a las barras de tal modo, que cuando soporten el peso de las líneas se vean horizontales y no se sufran una flexión indeseada y sufran fatiga mecánica.

Se muestra a continuación una clasificación y descripción de los embarrados más típicos que se ilustran con su esquema unifilar. Para demostrar el comportamiento de cada tipo de subestación se estudiará, brevemente, qué sucede en caso de falta.

3.1. Simple barra

Es la disposición más sencilla y la más barata de implantar. Y se suele usar a menudo en subestaciones pequeñas, en las redes de distribución rurales o redes que tengan bajos requisitos de servicio.

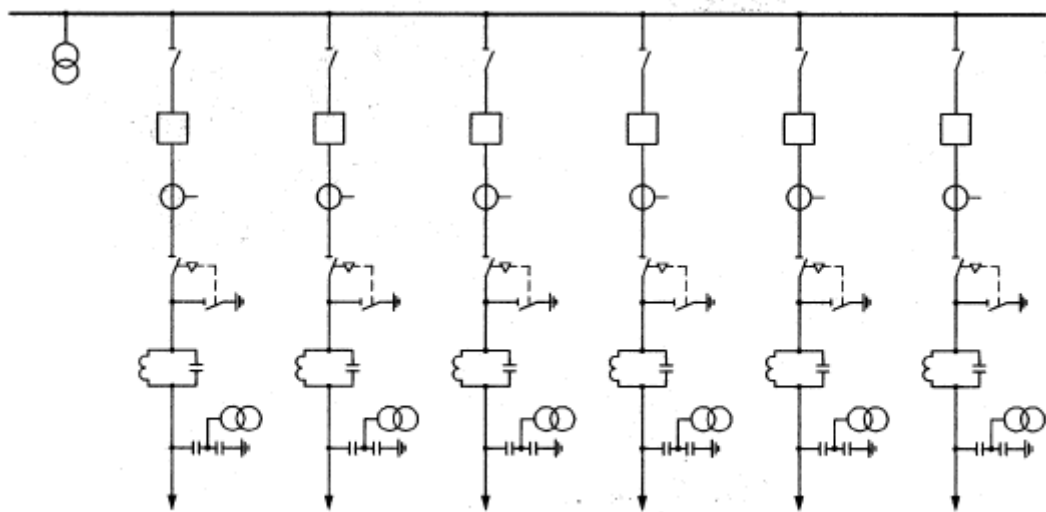
3.1.1. Respuesta ante cortocircuitos

- Falta en una línea: se dispara la línea afectada, que queda fuera de servicio.
- Falta en barras: se disparan los interruptores de todas las líneas, quedando la subestación fuera de servicio en su totalidad.
- Fallo de interruptor: en caso de falta en una línea y fallo del interruptor, hay que abrir todas las líneas y se pierde el servicio íntegro.

3.1.2. Operaciones de mantenimiento

Para el mantenimiento de un interruptor de línea se deja fuera de servicio esa línea y se abren los seccionadores, mientras que para el mantenimiento de los seccionadores hay que dejar fuera de servicio toda la subestación.

Ilustración 5. Esquema unifilar de una subestación de simple barra.



3.2. Barra partida

En esta disposición se tiene un interruptor de unión, que puede estar abierto o cerrado y brinda flexibilidad para la explotación de la instalación.

3.2.1. Respuesta ante cortocircuitos

- Falta en una línea: se dispara la línea afectada, que queda fuera de servicio.
- Falta en barras: se disparan los circuitos de la semi-barra afectada y se abre el interruptor de unión.
- Fallo de interruptor: en caso de falta en una línea y fallo en el interruptor, hay que abrir las líneas de la semi-barra afectada y disparar el interruptor de unión.

3.2.2. Operaciones de mantenimiento

Para el mantenimiento de un interruptor de línea se deja fuera de servicio esa línea y se abren los seccionadores. Para el mantenimiento de los elementos de la barra se abre el interruptor que une las semi-barras. Aquí se percibe una ventaja respecto a la simple barra, ya que me permite a la otra parte de la subestación seguir en funcionamiento.

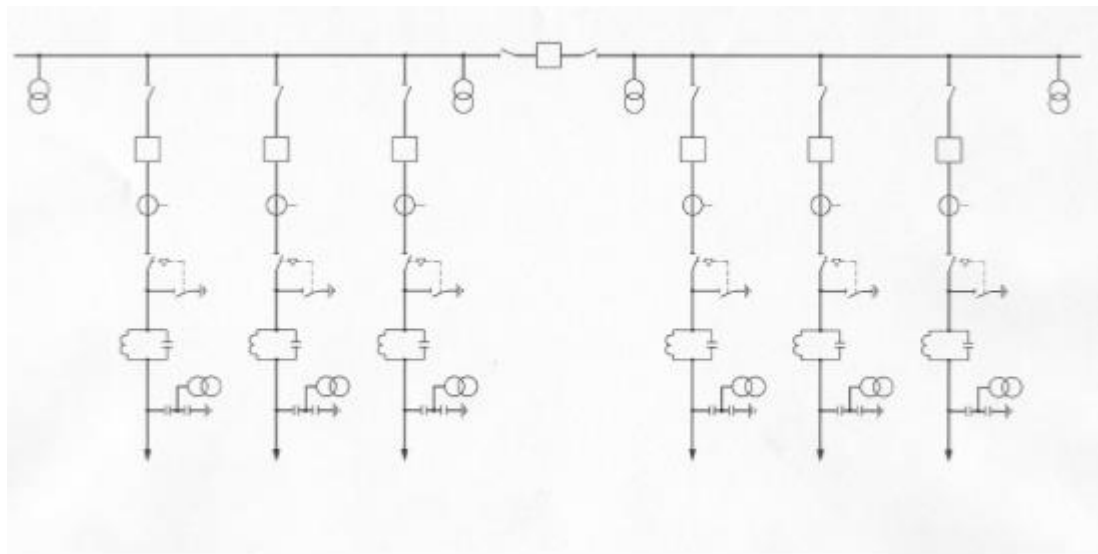


Ilustración 6. Esquema unifilar de una subestación de barra partida.



3.3. Doble barra

Las barras están unidas mediante un interruptor de acoplamiento, de tal manera que se pueden repartir las líneas entre las barras. Cualquier posición puede estar en cualquiera de las barras.

3.3.1. Formas de explotación:

Si el interruptor de acoplamiento está abierto, la subestación tiene dos nudos, mientras que si el interruptor de acoplamiento está cerrado, las dos barras forman un mismo nudo que equivale a una subestación de simple barra.

Con ello se demuestra la versatilidad que puede brindar una instalación de este tipo.

3.3.2. Cambio de barra.

Para cambiar una línea de una barra a otra, se sigue el siguiente procedimiento:

- Se acoplan las barras, causando así que las tensiones se igualen.
- Se cierra el seccionador de la barra a la que se desea acoplarse y seguidamente se abre el seccionador de la barra que se va a abandonar.
- Se abre el interruptor de acoplamiento.

3.3.3. Respuesta ante cortocircuitos

En caso de funcionamiento acoplado responde como una subestación de simple barra, con la diferencia que durante la reposición se pueden enganchar todas las líneas a una barra y reparar la afectada.

Cuando las barras están desacopladas se comporta del siguiente modo:

- *Falta en una línea:* se dispara la línea afectada, que queda fuera de servicio.
- *Falta en barras:* se disparan los circuitos de la barra afectada. Trascurrido un tiempo, las líneas afectadas pueden ser repuestas a la otra barra mientras la otra es reparada. Dicha operación se hace sin acoplar las barras, ya que una se encuentra sin tensión y la otra a tensión nominal.
- *Fallo de interruptor:* en caso de falta en una línea y fallo en el interruptor, hay que abrir, únicamente, las líneas de la barra afectada.

3.3.4. Operaciones de mantenimiento

Para el mantenimiento de un interruptor se opera de igual manera que en simple barra.

Para el mantenimiento de una barra todas las líneas de dicha barra se pasan a la otra barra y se opera con normalidad.

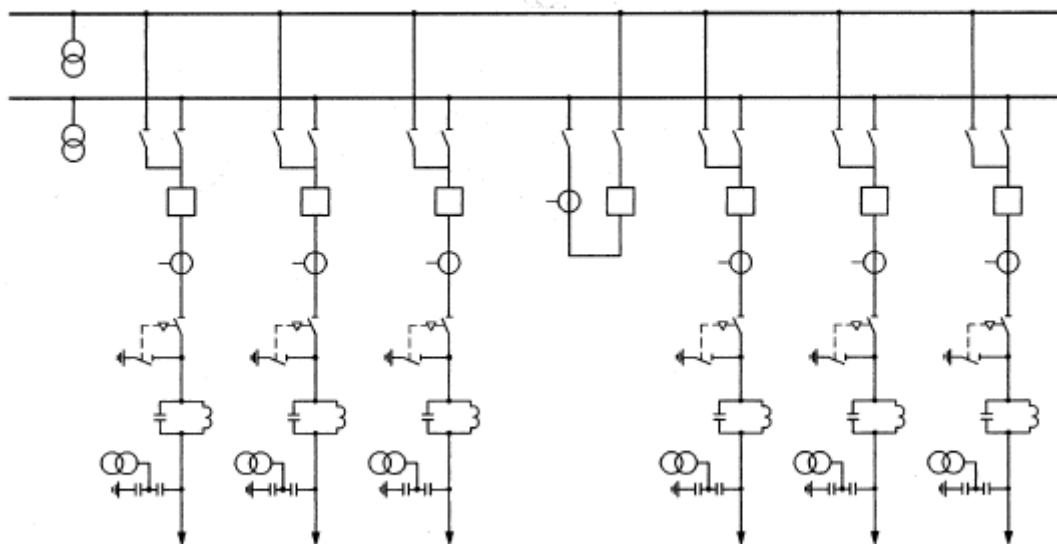


Ilustración 7. Esquema unifilar de una subestación de doble barra.

3.4. Interruptor y medio

En esta configuración, hay dos barras y se tienen tres interruptores por cada dos líneas. Es un sistema más sofisticado y caro, por lo que se suele emplear en las subestaciones de la red de transporte en 400 kV.

3.5. Respuesta ante cortocircuitos

Como se va a ver a continuación, el hecho de tener medio interruptor por cada circuito, brinda una mayor protección y asegura la continuidad en el servicio ante determinadas faltas.

- Falta en una línea: se dispara el interruptor que se encuentra entre las dos barras, de manera que las barras quedan desacopladas y seguidamente el interruptor más próximo a la barra que sigue suministrando energía a la falta.
- Falta en barras: no supone la pérdida de ninguna posición, ya que se abren los interruptores más cercanos a la barra en falta y los circuitos quedan alimentados por la barra sana.
- Fallo de interruptor: si hay una falta en una línea y falla el segundo interruptor que debe abrirse, se deben abrir todos los interruptores laterales de las líneas de la barra que aporta energía a la falta. Si por el contrario fallase el interruptor común, se pierde la línea entera y su pareja.

3.5.1. Operaciones de mantenimiento

No presenta problemas para ningún tipo de problema para el mantenimiento, pues únicamente deben abrirse el interruptor cercano a la barra y acoplar la línea a la otra barra, o bien, si la operación implica parte de la línea, abrir el común, de tal modo que no se pierde el servicio.

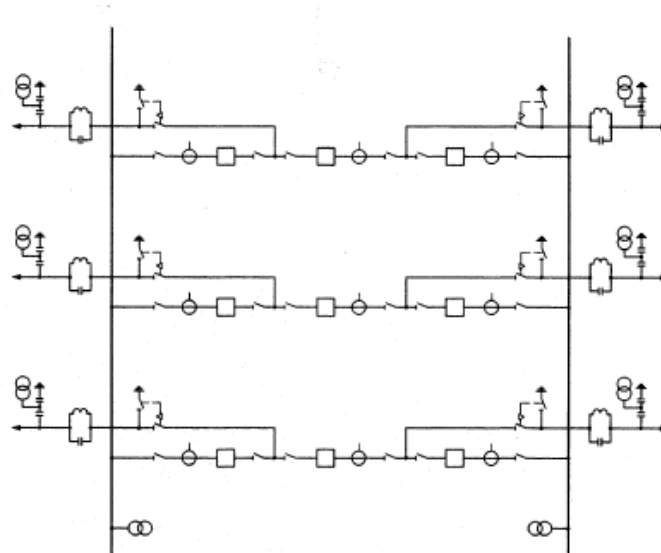


Ilustración 8. Esquema unifilar de una subestación de interruptor y medio.

3.6. Doble barra doble interruptor

Es un tipo de subestación que soporta cualquier tipo de falta, porque la aparamenta está duplicada. Se emplea en lugares donde la pérdida de servicio no es viable y supondría una situación altamente crítica como, por ejemplo en el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas o industrias caras.

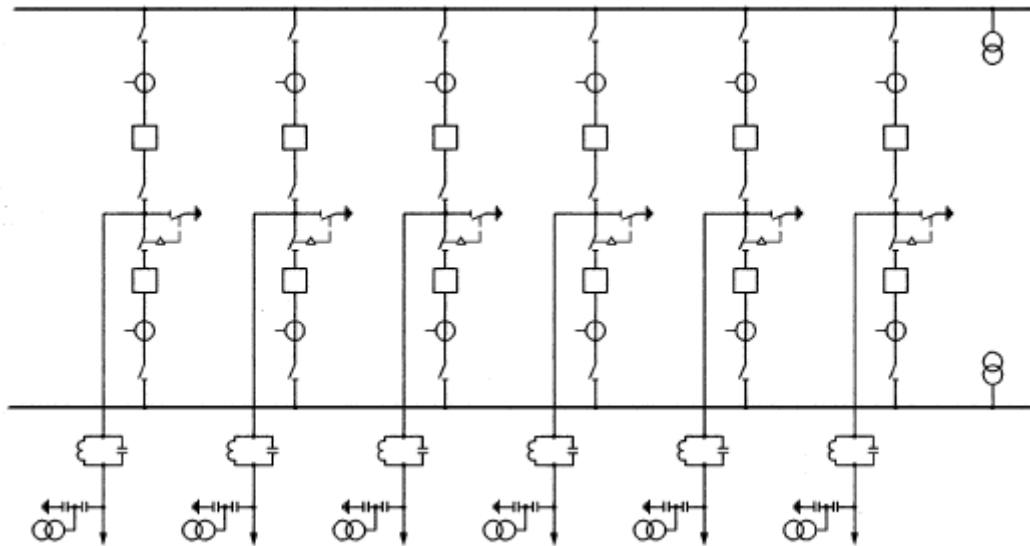


Ilustración 9. Esquema unifilar de una subestación de doble barra doble interruptor.

3.7. Anillo

En el funcionamiento normal de este tipo de subestación, todos los interruptores están cerrados. Es una disposición económica, pero si se dan varios problemas o faltas seguidas se puede perder el servicio.

Como se ve a partir de la ilustración, al no tener barras no hay problema de falta en barras. Presenta una dificultad en comparación a las otras, que es la previsión de ampliación. Si esta se deja prevista en el momento de su construcción, una subestación de anillo puede evolucionar a una de interruptor y medio.

3.7.1. Respuesta ante cortocircuitos

- Falta en una línea: cuando esto ocurre, hay que abrir los interruptores que alimentan la falta y se pierde una posición.
- Fallo de interruptor: aquí se ve la principal debilidad de este sistema, ya que cuando un interruptor falla y no puede despejar una falta, se abre el interruptor adyacente al que falla y se pierde, de manera adicional esa otra posición.

3.7.2. Operaciones de mantenimiento

Para el mantenimiento de cualquier elemento, como por ejemplo un interruptor, hay que abrir los seccionadores para dejar el circuito sin tensión y poder operar con seguridad.

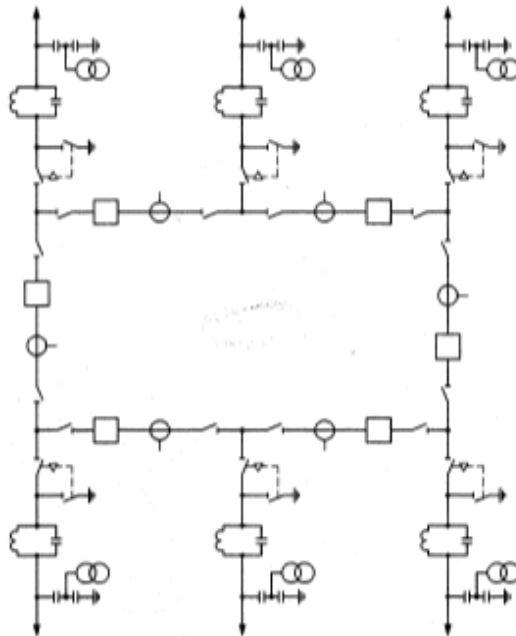


Ilustración 10. Esquema unifilar de una subestación en anillo.

Existen, de manera adicional, combinaciones de las anteriormente descritas subestaciones, donde se emplean barras de transferencia y sistemas de “By-Pass”, que actualmente se encuentran en desuso.

4. Tendencias de las subestaciones según la aparamenta

La evolución de la aparamenta de las subestaciones ha venido marcada en gran medida por el desarrollo urbano. Cuando las primeras subestaciones comenzaron a construirse hace más de cien años, solían situarse a la intemperie ya que se disponía de espacio en las ciudades, sin embargo con el aumento de la población en las grandes urbes se hizo visible un gran desafío: la necesidad de un mayor número de subestaciones que abasteciesen a los barrios que al mismo tiempo éstas fuesen más pequeñas.

La aparición en la década de 1960 de la aparamenta aislada en gas (GIS en la terminología anglosajona) permitió la reducción del espacio que ocupaban las subestaciones en un orden del 90%, brindando la posibilidad de situar las subestaciones en habitáculos subterráneos o de manera disimulada dentro de edificios en la ciudad.

Otro factor que ha perfeccionado de manera sobresaliente la fiabilidad de las subestaciones es el uso de modernas protecciones. En sus orígenes, las protecciones estaban basadas en relés electromecánicos que no eran muy efectivos y requerían un gran mantenimiento. Hoy en día las protecciones están construidas con una electrónica muy fiable y todas están digitalizadas y comunicadas entre sí. Ello proporciona una actuación muy fiable, siendo posible definir unos tiempos de despeje muy pequeños.

Con todo ello, se va a presentar a continuación una clasificación de la tecnología y aparamenta habituales en las subestaciones.

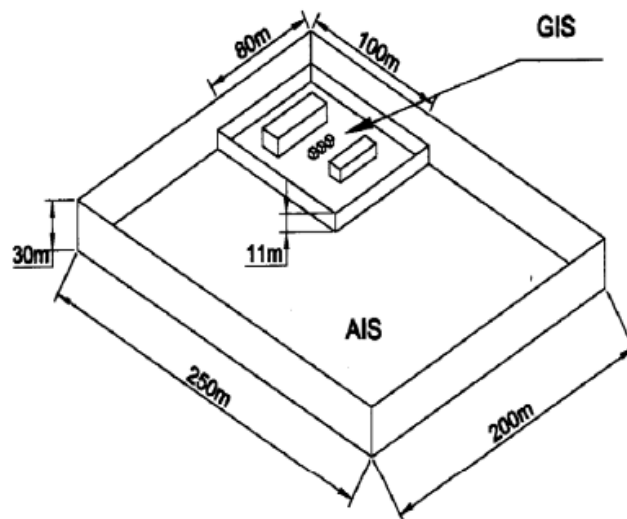


Ilustración 11. Comparación del espacio ocupado por una GIS y una AIS. El volumen ocupado por la GIS es el 5.8% del de la AIS.

4.1. Aislamiento en aire (AIS)

Este tipo de subestaciones también se llaman de intemperie, ya que están al aire libre. Son sin duda las que tienen la aparamenta más barata, sin embargo presentan dos problemas principales: en primer lugar, ocupan mucho espacio, puesto que se necesita una gran cantidad de aire para aislar, y en segundo lugar, provocan un gran impacto visual.



Ilustración 12. Subestación de San Sebastián de los Reyes (REE).

Las AIS se suelen emplear cuando se busca una solución económica y se dispone de mucho espacio (el precio del terreno no es elevado). Suelen estar presentes en los parques de generación de algunas centrales y en lugares alejados de los centros urbanos.

Uno de los retos que presentan, es la integración con el entorno y como su presencia debe ser disimulada para crear el menor impacto visual posible.



Ilustración 13. . Subestación con mejora de estética.

4.2. Aislamiento en gas (GIS)

Las subestaciones GIS también se denominan “blindadas”, puesto que el gas que aísla la aparataje está confinado en carcasas metálicas.

El gas que se emplea en las subestaciones tipo GIS es el hexafluoruro de azufre (SF_6). Es un gas no tóxico, no inflamable y de alta estabilidad. Tiene otras propiedades importantes para condiciones normales de temperatura y presión: es incoloro e inodoro.

Como se expuso anteriormente, la solución GIS es óptima para lugares donde no se dispone de mucho espacio (centrales hidráulicas) o el terreno es muy caro (ciudades). Deben destacarse dos aspectos relevantes que dan ventaja a las GIS:

- Mantenimiento reducido: los módulos encapsulados en gas permiten un mantenimiento de muy baja frecuencia.
- Rápido montaje: típicamente, las GIS son enviadas de fábrica por módulos, siendo montadas en la subestación. Únicamente hay que anclar los módulos al suelo y acoplarlos entre sí.



Ilustración 14. Aparataje GIS (ABB).

4.3. Híbridas (HIS)

Suelen ser una solución en la que se combinan varios aspectos de los tipos AIS y GIS. Típicamente se basan en un parque de intemperie donde llegan las líneas aéreas, que tiene parte de la aparamenta aislada en gas; por ejemplo los interruptores o los seccionadores.



Ilustración 15. Vista de una subestación HIS.

4.4. Subestaciones de media tensión

Corresponden a la parte de media tensión de una subestación transformadora. La principal característica que presenta este sistema es que la aparamenta de media tensión está albergada en celdas que se denominan celdas de media.

Las celdas de media suelen ser prefabricadas, lo que permite un rápido montaje en la subestación.



Ilustración 16. . Celdas de media tensión.

4.5. Subestaciones móviles

Las subestaciones móviles se suelen emplear para realizar alguna operación de mantenimiento. Por ejemplo, ante una falta en barras de una subestación que implique perder el servicio, mientras se repone la avería se puede emplear una subestación móvil a la que se enganchan las líneas de la que se ha quedado sin tensión. El negocio de la distribución de energía es de fuertes inversiones de capital. Por ello y sin descuidar la calidad de servicio, éstas deben ser minimizadas.

Se montan en vehículos motorizados como camiones, que permiten la movilidad con cierta facilidad.



Ilustración 17. . Subestación móvil. (Tadeo Czerweny S.A).

5. Subestaciones en el sistema eléctrico español

El abastecimiento eléctrico a los consumidores en España está repartido entre tres principales compañías:

- Endesa
- Iberdrola
- Gas natural

Existen además dos compañías que están localizadas de manera local en Asturias y en Cantabria, respectivamente:

- Hc Energía
- E-on

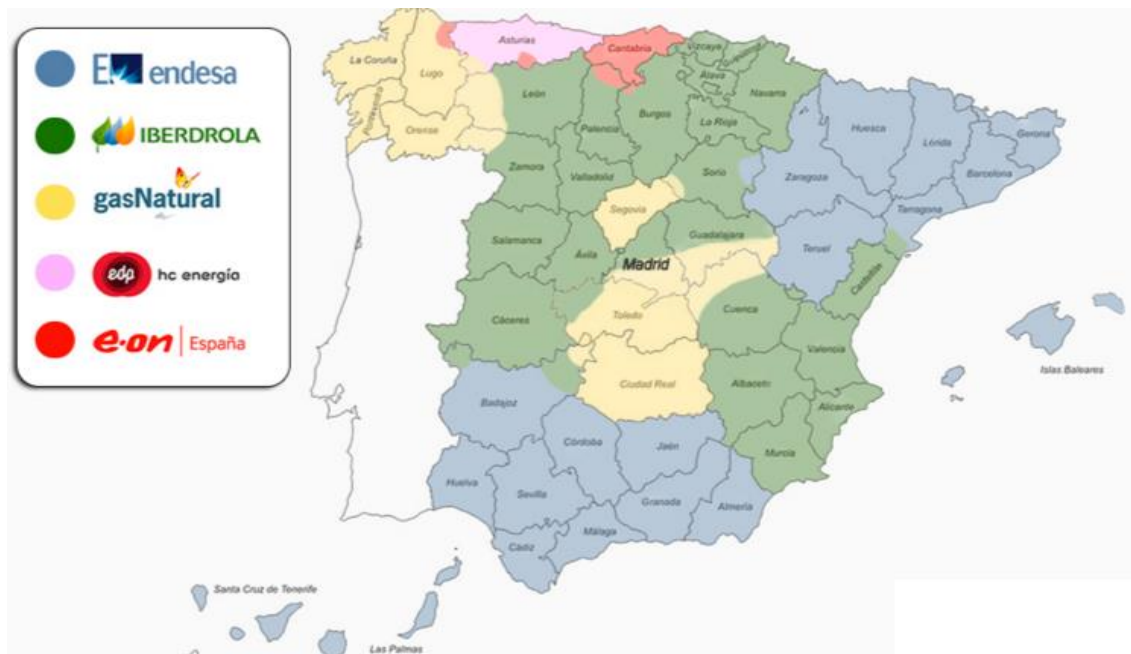


Ilustración 18. Distribución de las compañías eléctricas de distribución en España.

La mayoría de las compañías en España son el resultado de la fusión entre varias desde sus comienzos a principios del siglo XX. Un ejemplo de ello es Endesa (actualmente propiedad de la empresa pública italiana ENEL), que fue comprando pequeñas compañías como FECSA, Eléctricas Reunidas de Zaragoza y otras más.

A partir de 1985 se constituyó Red Eléctrica de España (de capitales público y privado) cuya función es la explotación del sistema de transporte y de la alta tensión en el país.

Con todo ello se quiere mostrar la variedad de compañías que tiene España, cada una de las cuales cuenta con sus propias infraestructuras y, lógicamente, ello incluye a las subestaciones.

Según la información que se ha podido encontrar en los sitios oficiales, la distribución de subestaciones en España es la siguiente:

<i>Compañía</i>	<i>Número de subestaciones</i>	<i>Km de circuito</i>
Red Eléctrica de España	5292	42601
Endesa	1240	314528
Iberdrola	950	266580
E-on/Viesgo	76	33000
Hc Energía	59	22121

Tabla 2. Subestaciones en España.

6. Justificación de la configuración escogida

La disposición del embarrado de la subestación a proyectar será de tipo doble barra, también llamada de doble juego de barras.

La elección de un embarrado es siempre un compromiso entre fiabilidad y coste. En subestaciones críticas del sistema eléctrico, en las que no se contempla fallo alguno (por ejemplo centrales nucleares, centrales de ciclo combinado o aeropuertos) se suele disponer de un embarrado tipo interruptor y medio e incluso de doble barra doble interruptor.

En el caso que abarca este proyecto, tratándose de una subestación de reparto con tres posiciones de línea, las opciones que brinda la disposición de doble barra son suficientes, ya que proporciona una mayor flexibilidad que una simple barra.

Desde el punto de vista de la inversión, el coste de las celdas es un porcentaje notable del presupuesto total de la construcción e implantación de la subestación que se proyecta. Un embarrado de mayores cualidades técnicas encarecería en gran medida el presupuesto del proyecto.

Este argumento toma un carácter distinto para los tipos de centrales mencionados con anterioridad, donde la construcción de la subestación es un pequeño porcentaje de del precio de ejecución de una central de gran potencia, por lo que tener una forma constructiva de interruptor y medio o superior no influye en gran medida en el coste final de tales proyectos.



Capítulo II

Memoria Descriptiva

1. Transformador de potencia

1.1. Características generales y justificación

El transformador de potencia es uno de los elementos vitales de la subestación. Permite transformar las magnitudes eléctricas de un nivel de tensión a otro. En el caso de esta subestación los niveles de tensión son 66 kV/ 20 kV.

Para el diseño de la subestación se ha optado por el transformador trifásico de tipo seco HiDry72 del fabricante ABB, basado en un diseño novedoso que incluye materiales como la fibra de vidrio y elementos auto extingüibles en sus elementos constructivos.

El principal valor añadido que este modelo aporta es su encapsulado en vacío, lo que permite eliminar completamente el aislamiento tradicional que emplea aceite como medio dieléctrico. Con ello se eliminan ciertos problemas que el aceite plantea como las fugas y los incendios.

La aparición de incendios es siempre algo indeseable, y más aún cuando existen parques naturales de gran valor como es el Parque Natural del Timanfaya, en la isla de Lanzarote. El clima seco de la isla, de tipo desértico favorecería la propagación de un incendio en un hipotético caso en el que el transformador prendiese fuego.

Además, este modelo se puede justificar desde un punto ecológico, ya que no tiene gases nocivos (no incluye gas adicional en su aislamiento) y sus emisiones son reducidas: 140 ton/año, 375 ton/año y 175 ton/año de CO₂, SO₂ y NO_x, respectivamente.

Tiene una alta capacidad para soportar duras condiciones de vibración. Este detalle es realmente importante puesto que en el régimen de trabajo de un transformador las interacciones electromagnéticas originan altos niveles de vibraciones.

Es también apto para condiciones húmedas y para ambientes polvorientos. Lo que lo hace idóneo para el emplazamiento deseado, puesto que está muy próximo a la costa y el clima de la isla es desértico.

Con este modelo se obtienen ventajas adicionales como la eliminación de fosos para la recogida de aceite, una notable reducción en la obra civil y la eliminación de los sistemas de detección y extinción de incendios.

1.2. Características técnicas

El transformador escogido tiene las siguientes características:

• Modelo	DRY TYPE CAST-COIL
• Aplicación	Distribución
• País de fabricación	España
• Potencia nominal	25 MVA
• Tensión primaria nominal	69 kV
• Tensión secundaria nominal	24 kV
• Cambiador de tomas en carga	(+4/-12)x1.25%
• Niveles de aislamiento primario	
○ LI	350 kV
○ AC	140 kV
○ Um	72.5kV
• Frecuencia nominal	50 Hz
• Número de fases	3
• Grupo de conexión	Dyn11
• Temperatura ambiente	
○ Máxima	40 °C
○ Media mensual	30 °C
○ Media anual	30 °C
• Máximo aumento de temperatura en los arrollamientos	100 K
• Clase de temperatura (AT/MT)	H/H
• Clase medioambiental	E2
• Clase climática	C2
• Clase anti fuego	F1
• Altitud	< 1000 m
• Disposición	Interior/envolvente

Los valores de operación para la relación 66 kV/20 kV son:

• Norma	IEC 60076-11
• Impedancia de cortocircuito (a 75 °C)	13%
• Pérdidas en vacío	44 kW
• Pérdidas en carga (a 75 °C)	94 kW
• Pérdidas totales (a 75 °C)	138 kW
• Presión sonora a 2m	70 dB

Las dimensiones del transformador son:

• Longitud	6200 mm
• Anchura	4000 mm
• Altura	4700 mm
• Peso total	61300 kg

Otras características son:

• Refrigeración	Aire Natural
• Material de los arrollamientos (AT/MT)	Al
• Tipo de arrollamientos (AT/MT)	Encapsulados



Ilustración 19. Transformador de encapsulado de vacío HiDry.

1.3. Arrollamientos

Los arrollamientos están fabricados de con conductores de cobre electrolítico, exentos de impurezas y con el menor número posible de soldaduras.

La conexión de los arrollamientos es del tipo estrella/triángulo y el grupo de conexión es Dyn11.

Los materiales empleados en los arrollamientos no se derriten frente a las altas temperaturas, y carecen de componentes aislantes de madera.

Se tiene, además un arrollamiento terciario empleado exclusivamente como arrollamientos de compensación que no alimenta carga alguna.

1.4. Núcleo magnético

Este transformador trifásico tiene un núcleo de tres columnas, el cual ha sido laminado para reducir al máximo las corrientes parásitas y el efecto de las corrientes circulares de Foucault.

Las chapas superpuestas son de acero de silicio de grano orientado, de bajas pérdidas por el efecto de histéresis y de alta permeabilidad magnética. Dichas chapas están exentas de impurezas y dispuestas de manera perfectamente plana.

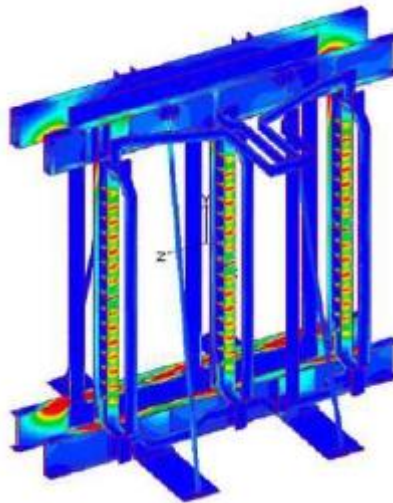


Ilustración 20. Pérdidas por efecto de las corrientes parásitas del núcleo magnético.

Las chapas magnéticas han sido montadas para que existan conductos de enfriamiento a lo largo de las columnas de acero que eviten la formación de puntos calientes, a la par que proporcionen una distribución uniforme de los campos eléctrico y magnético.

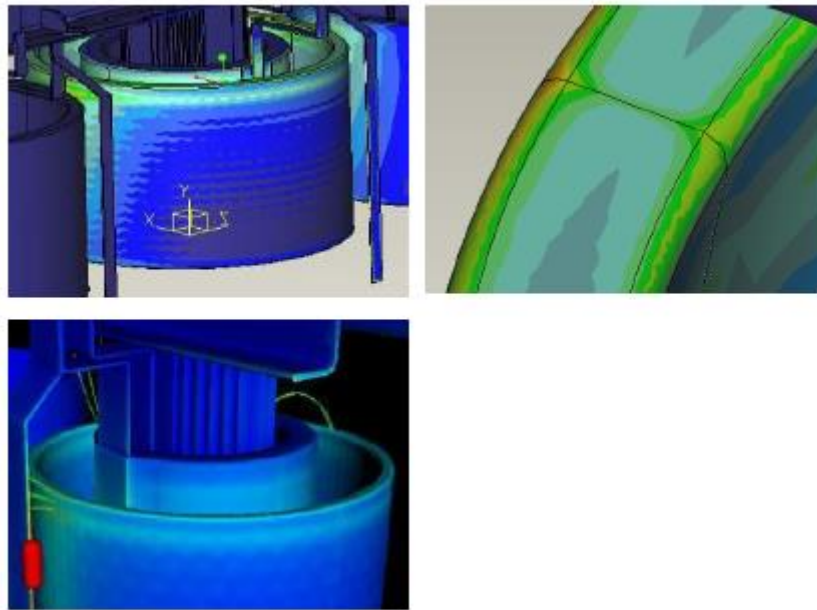


Ilustración 21. Simulación de la tensión dieléctrica según los ensayos BIL y AC.

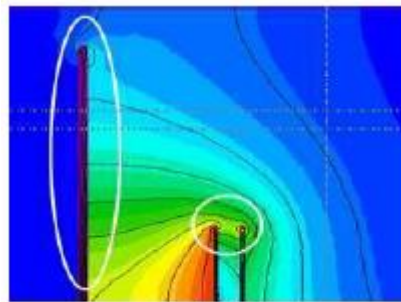


Ilustración 22. Detalle del campo de dispersión magnética.

Asimismo, las columnas han seguido un proceso de mecanizado a través del cual han sido fuertemente prensadas por medio de bloqueos y pernos pasantes los cuales han sido aislados frente a los efectos del campo eléctrico.

Las culatas han sido bloqueadas con perfiles de acero, sistemas de tirantes y pernos aislados.

El armazón principal que soporta el núcleo magnético se trata de una estructura reforzada que ofrece la resistencia mecánica adecuada y no presenta deformaciones permanentes en ninguna de sus partes. La estructura de sujeción se ha calculado de tal forma que las corrientes parásitas son reducidas de la mayor forma.

Las vibraciones se han minimizado para la puesta en servicio del transformador.

1.5. Autoválvula

En este apartado se describe el modelo de autoválvula seleccionado de acuerdo con las conclusiones obtenidas en la sección “Cálculo de la autoválvula” en el capítulo de “Cálculos”.



La autoválvula, también conocida como pararrayos, es un elemento de protección que se sitúa en la subestación con el objetivo de brindar la suficiente seguridad al transformador frente a la caída de rayos, lo que equivale a decir que el transformador no puede ser sometido a sobretensiones superiores a su BIL (Basic Insulation Level).

El modelo seleccionado es del fabricante ABB y se trata de la autoválvula EXLIM R, con núcleo de Óxido de Zinc.

La autoválvula cuenta con unos bornes de descarga por los que circulan las intensidades muy elevadas que se derivan por ella. De este modo es la autoválvula la que sufre los esfuerzos mecánicos debidos a las corrientes, en lugar de otros equipos (en este caso el transformador) que seguramente romperían.

Las características de la autoválvula son las siguientes:

• Tensión máxima del sistema	72 kV
• Clase de descarga	Clase 2
• Tensión nominal	72 kV
• Tensión continua de operación (ANSI/IEEE)	58 kV
• TOV (10 s)	79.2kV
• Corriente nominal	10 kA
• Máxima tensión residual	140 kV
• Distancia de protección (m)	11.38
• Margen de protección	2.5



1.6. Ruedas y elementos de elevación

El transformador lleva ruedas de transporte de acero fundido, con pestañas delgadas orientables en las dos direcciones. EL diseño permite que el ancho de vía (entre caras internas de raíl) sea fácilmente intercambiable entre 1.674 mm y 1.930 mm. Las ruedas tienen un dispositivo de bloqueo y los tándem son pivotantes.

De manera alternativa al empleo de ruedas, en caso de que haya zonas carentes de raíles, se ha suministrado un sistema de apoyo sobre pivotes de sustentación con igual altura a las ruedas diseñadas.

La base inferior de la envolvente ha de quedar preparada para el empleo de ambos sistemas, de tal forma que el transformador apoyará sobre la bancada de hormigón realizada en dos secciones transversales al transformador, simétricas respecto al centro de estos apoyos o ruedas.

Se dispondrán ganchos de elevación del transformador completo y de anillas de arrastre. Igualmente se dispondrán soportes para apoyo de gatos hidráulicos, representándose estos elementos oportunamente en el plano constructivo del transformador.

1.7. Bornes y terminales del transformador

A diferencia de los modelos clásicos, los bornes para los terminales de cable aislado no son de tipo enchufable.

El cable de 66 kV conecta directamente a la bobina, sin que sea necesario el uso de bornes, empleándose una botella terminal.

Para los cables de 20 kV los cables se conectan directamente a las palas terminales de la bobina.

Los bornes pertenecientes al primario y secundario, tanto para fase como para neutro cuando aplique, son idénticos entre sí respectivamente, independientemente de que en alguna de ellas vaya alojado un transformador de intensidad. Esta disposición facilita la existencia de un borne único por nivel de tensión como repuesto.



Ilustración 23. Detalle de la conexión de los cables de AT.



Ilustración 24. Detalle de la conexión de los cables de MT.

Los bornes están perfectamente protegidos por capuchones aislantes, fabricados con, que han sido suministrados por el fabricante, el cual ha indicado las características físicas y eléctricas de los mismos. Presentan una tensión máxima de material y nivel de aislamiento idénticos a los empleados en el diseño del arrollamiento terciario. El tipo de unión al terminal es roscada.

Dos bornes se emplean para cerrar el triángulo mediante una pletina adecuada, que se conecta de manera equipotencial al transformador. Se contempla la posibilidad de conexión externa a la red de tierras general de la subestación.

El marcado de los bornes y tomas se realiza siguiendo las recomendaciones de la norma UNE 20158.

El transformador llevará placas de identificación de bornes con la siguiente notación normalizada:

- Terminales de primario: 1U, 1V, 1W
- Terminales de secundario: 2U, 2V, 2W, 2N

Los bornes se ubicarán de la siguiente manera: si se mira desde el lado de alta tensión (66 kV), y de izquierda a derecha, se encuentren las bornes identificadas como 1U, 1V y 1W.

Mirando desde el lado de media tensión (20 kV), y de izquierda a derecha, los bornes serán aquellos que queden identificados como 2W, 2V, 2U.

El borne de neutro 1N se va a ubicar en el mismo lado que los bornes de fase correspondientes.

1.8. Cambiador de tomas

El cambiador de tomas seleccionado para el transformador es un cambiador en carga.

El cambiador de tomas dispone de los enclavamientos precisos para evitar operaciones falsas o intempestivas. En particular, es necesario evitar que al pasar de un escalón a otro adyacente, el conmutador se pare en posición intermedia y que una conmutación, una vez iniciada, no se concluya. Asimismo, permitirá la operación local manual mediante una manivela suministrada para tal fin, bloqueándose el motor en caso de inserción de manivela.

La regulación en carga se realizará en A.T. (borne de neutro) y dispone de un total de 17 posiciones: $(+4/-12) \times 1.25\%$. El sistema escogido es un inversor. La regulación se realizará a potencia y flujo constante en todas las tomas.

La posición número 1 será la de mayor tensión y la número 17 la de menor tensión, de forma que subir un escalón corresponda a subir la tensión en el secundario a igual tensión en el primario.

El cambiador de tomas viene equipado con finales de carrera de señal de primera y última toma de regulación, y contacto libre de potencial para señalar que la manivela se encuentra insertada.

El relé de protección del cambiador de tomas es del tipo RS-2.001, dispondrá de dos contactos de disparo. Se dispone de un contacto auxiliar con nivel real de alarma que se anticipe a la actuación del contacto de disparo.

El diseño es simple y robusto, con contactos de arco apropiados para una larga vida útil en servicio. Cada conmutador de tomas ensamblado es capaz de soportar sin daño los esfuerzos producidos por la corriente de cortocircuito prevista cuando el transformador sea sometido a corrientes de cortocircuito según los requerimientos de la norma UNE-EN 60214.



Ilustración 25. Vista de semi-perfil del cambiador de tomas del transformador.

El conmutador de tomas ha sido diseñado para soportar las pruebas dieléctricas aplicadas al devanado al cual esté conectado.

El motor está protegido con interruptor magnetotérmico con contactos de alarma NC, debidamente conectados a los bornes, y con posible cambio de tensión auxiliar de 3x400 a 3x230 Vca.

1.9. Envolvente metálica

El transformador se ubicará en un espacio exterior cubierto con un tejado metálico. Debido a que el emplazamiento será prácticamente de intemperie el transformador completo irá recubierto por una envolvente metálica, debidamente puesta a tierra.

La envolvente tiene la labor de proteger el transformador y el cambiador de tomas de cualquier tipo de elemento externo que lo pueda dañar.

La envolvente tiene una serie de rejillas que permiten la entrada de aire natural para la refrigeración del transformador.



Ilustración 26. Vista de la envolvente metálica del transformador.

1.10. Relés de imagen térmica.

Se ha suministrado un termómetro del fabricante AKM de cuatro juegos de contactos, con funciones de alarma de nivel 1 y nivel 2 por temperatura de aire.

El sistema cuenta con un Relé de imagen térmica del mismo fabricante y un transformador de intensidad tipo Bushing en la fase central (V) de primario y secundario, de idénticas características que el termómetro.

Adicionalmente, tanto termómetro como relés de imagen térmica dispondrán adicionalmente de salida analógica (0-5 mA) para indicación a distancia.

Se incluye una resistencia de platino Pt-100 para indicación a distancia de la temperatura del aceite del transformador, mediante una señal analógica (0-5 mA).

Las sondas de termómetros y relés de imagen térmica están protegidas de la intemperie con una envolvente de chapa desmontable. Se ha previsto una sonda de reserva para termómetro el termómetro.

Los relés de imagen térmica y el termómetro van alojados en un armario galvanizado en caliente, pintado con tapa de cristal y adosado a la envolvente.

Dicho armario está provisto de un termostato y resistencia de caldeo. Dispone asimismo de un circuito monofásico protegido mediante interruptor magnetotérmico adecuado, contactos de alarma NC debidamente conectados a bornes.

La ubicación es tal que pueden ser fácilmente observados desde el suelo, y que tengan una escala conveniente. Las escalas están graduadas en grados Celsius, indicándose la histéresis de apertura y cierre de los contactos auxiliares, mediante una placa adecuada, así como con los niveles de alarma (niveles 1 y 2) recomendados por el fabricante, de acuerdo al resultado del ensayo de calentamiento.

1.11. Cables

El cableado tanto interno como externo está apantallado longitudinalmente en cinta de cobre, y cuenta con las siguientes características:

- No propagador de la llama. (UNE-EN 50265)
- No propagador del incendio. (UNE-EN 50266)
- Cero halógenos. (UNE-EN 50267)
- Baja emisión de humos opacos. (UNE-EN 50268)
- Reducida emisión de gases tóxicos.
- Nula emisión de gases corrosivos. (UNE-EN 50267)

Para el cableado interno, la tensión de aislamiento es de 750 V, y para el cableado externo 0,6/1 kV.

El recorrido exterior de los cables a través de la estructura del transformador se ha realizado con sujeción a varillas de acero y con grapas metálicas inoxidable, y va protegido con una envolvente metálica de aluminio del tipo ANACONDA, siendo la superficie de canalización lo suficientemente amplia para albergar un 25% de espacio de reserva.

Todos los cables están identificados con canutillos de plástico y tinta indeleble.

La sección mínima de los cables es de 2,5 mm². En el caso de cables de secundario de transformador de intensidad, la sección mínima es de 6 mm².

1.12. Armarios

El armario de control de centralización de señales del transformador, termómetro e imágenes térmicas, y el armario de regulación están emplazados en el mismo lado del transformador.

Las dimensiones de estos armarios son lo suficientemente amplias para todos los elementos que van a albergar, de manera que permitan fácilmente la accesibilidad y reparación de cualquier elemento del mismo. Han sido provistos de toma de tierra directa, y aislados de la envolvente mediante amortiguadores tipo “silent-block”.

Los armarios son de acero inoxidable de 2 mm de espesor, pintados del mismo color que el transformador. Tienen tomas de aireación en sus partes superior e inferior, rejilla anti-insectos. La puerta está protegida con aislante antitérmico. Se han dotado de resistencia de caldeo y termostato.

Con las puertas cerradas, ofrecen un grado de protección mínimo contra contactos con las partes activas y penetración de cuerpos sólidos extraños IP-55 según la norma UNE 20324:1993, y un grado de protección contra choques mecánicos IK-08 según la norma UNE 50102:1996. Asimismo, tienen categoría de inflamabilidad FV1 según la norma UNE-EN 60707. Disponen de un sistema de retención para puerta abierta.

El cableado interno cumplirá lo descrito en el apartado “Cables”.

Los relés auxiliares son del fabricante ARTECHE y los interruptores magnetotérmicos del fabricante ABB.

Se ha mecanizado en campo la placa ciega de prensaestopas, de tal forma que se garantiza completamente la interconexión del transformador. Una vez realizada dicha placa, las siguientes unidades correspondientes al mismo tipo de transformador, vienen mecanizadas desde fábrica con dicha placa, y un 20% de huecos de reserva con su correspondiente tapón ciego.

Los bornes de conexión son los adecuados para la sección correspondiente de cable o hilo y no llevan más de una punta de conexión. Estos bornes serán de fabricación Phoenix.

Los elementos de calefacción, toma de fuerza y alumbrado son independientes de los elementos de control, y llevarán interruptor de protección.

Serán identificados adecuadamente con placas todos los aparatos del armario de mando con la identificación que figure en esquema. Estos rótulos correspondientes son de material resistente a las condiciones internas del armario.

Las bornes de alimentación exterior se han decidido colocar en la parte inferior del armario.

1.13. Placa de características

El transformador está equipado con las siguientes placas de características:

- Placa de características del transformador, según norma UNE-EN 60076-1.
- Placa de características del armario del cambiador de tomas, con esquema del mando y que irá en la parte interior de la puerta del armario, junto con los datos indicados por la norma UNE-EN 60214.
- Cada accesorio del transformador llevará placas de identificación con el número asociado en la lista de material. El transformador llevará placas de identificación de bornes, según lo indicado en el apartado “Bornes”.

Las placas de características se ubicarán en un lugar de fácil accesibilidad para su lectura y se construirán de acero inoxidable, escribiéndose de forma indeleble en lengua española los datos asociados.

1.14. Pintura

La pintura del transformador y accesorios, incluidos todos los armarios, se ha llevado a cabo según la Norma UNE 20.175, con acabado exterior gris medio UNE B-109 (Norma UNE 48.103), equivalente RAL 7030.

Las condiciones de garantía de pintura serán las establecidas en el documento contractual del pedido.

1.15. Ruido

Durante el funcionamiento del transformador a plena carga, se ha establecido que el nivel de ruido (presión acústica) no supere 75 dBA, cumpliendo así con los estándares de contaminación acústica establecidos por la regulación municipal de Tegui.

1.16. Registrador de impactos

El registrador de impactos se emplea durante las operaciones de transporte del transformador. Es un elemento muy importante cuando todo el conjunto del transformador está sometido a un movimiento.

El registrador de impactos consiste en un acelerómetro de tres ejes que mide y registra electrónicamente impactos en cualquier dirección. Dicho equipo dispone de una memoria permanente de datos, una memoria protegida, lectura con PC compatible y protección contra pérdida de memoria. El fabricante indica en la placa de características la aceleración máxima admisible en cada uno de los tres ejes cartesianos (x, y, z), así como curva característica que relacione aceleraciones máximas y tiempo admisible de las mismas, junto con las inspecciones y pruebas a realizar en caso de superarse los citados valores.

1.17. Aseguramiento de calidad

Para la puesta en marcha se realizará un estudio de calidad en el cual se considerarán los siguientes aspectos:

- Revisión del diseño constructivo.
- Inspecciones de fabricación y del sistema de calidad.
- Ensayos de recepción en fábrica.
- Ensayos especiales.
- Ensayo de cortocircuito.
- Ensayos de recepción en campo.

La recepción del suministro en los términos indicados en el documento contractual del pedido, requerirá, entre otros aspectos, tener resueltas satisfactoriamente todas las desviaciones o no conformidades abiertas en el proceso de aseguramiento de la calidad.

2. Celdas GIS de 66 kV

2.1. Descripción del equipo

Las celdas de 66 kV son tipo GIS (Gas Insulated Switchgear) y alojan la aparataje eléctrica de mayor tensión de la subestación en unos compartimentos de aluminio aislados en hexafluoruro de azufre (SF₆).

Las celdas de 66 kV escogidas para esta subestación son del fabricante ABB y se trata del modelo ELK-04 C.

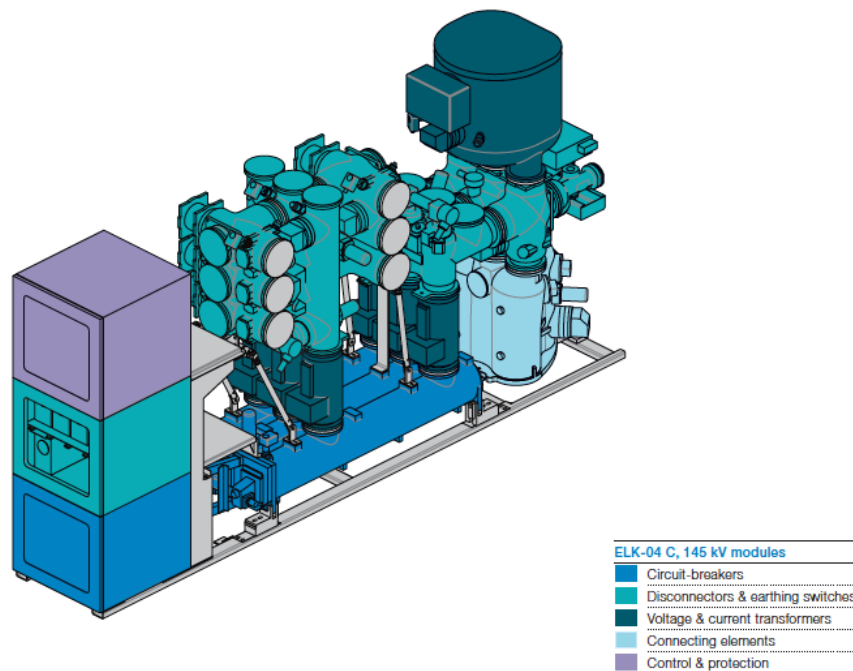


Ilustración 27. Vista general del módulo GIS de 66 kV.

2.2. Características técnicas generales

Las características técnicas generales de las celdas de 66 kV que se han escogido son las siguientes:

• Tensión máxima de funcionamiento continuo:	145 kV
• Sobretensión a frecuencia industrial:	275 kV
• Sobretensión a frecuencia industrial a través de distancia de aislamiento:	315 kV
• Sobretensión a impulsos tipo rayo:	615 kV
• Sobretensión a impulsos tipo rayo a través de la distancia de aislamiento:	750 kV
• Frecuencia nominal:	50 Hz
• Corriente nominal:	3150 A
• Corriente máxima de cortocircuito:	40 kA
• Tiempo máximo de cortocircuito:	3 s
• Corriente de pico máxima instantánea:	108 kA
• Instalación:	edificio
• Presión mínima:	0.6MPa

El diseño modular y compacto permite que el espacio ocupado sea reducido. El sistema es de tres fases con aisladores monofásicos, lo que proporciona una fácil accesibilidad a los equipos.

La simplicidad de estos equipos se muestra también en su reducido número de conductores e interruptores, ya que están agrupados en línea, lo que implica un uso menos complejo. Los accionamientos de desconexión y puesta a tierra se encuentran en la parte frontal del panel.

Los transformadores de corriente se sitúan fuera de los compartimentos de gas, sin la necesidad de un aislamiento en gas para sus secundarios.

La parte frontal del conjunto es fácilmente accesible, ya sea para operar los accionamientos o los sistemas manuales. Por otra parte, la información sobre la densidad del gas puede ser mostrada en la pantalla del controlador local integrado, que emplea monitores y sensores de densidad. Asimismo, una pasarela entre la zona de control integrada y los equipos permite el acceso a los puntos de relleno del sistema de gas.

Las celdas ELK-04 C están diseñadas para lograr una eco-eficiencia. Los aisladores monofásicos han sido mejorados y han permitido reducir la cantidad de gas SF₆ en un sesenta por ciento.

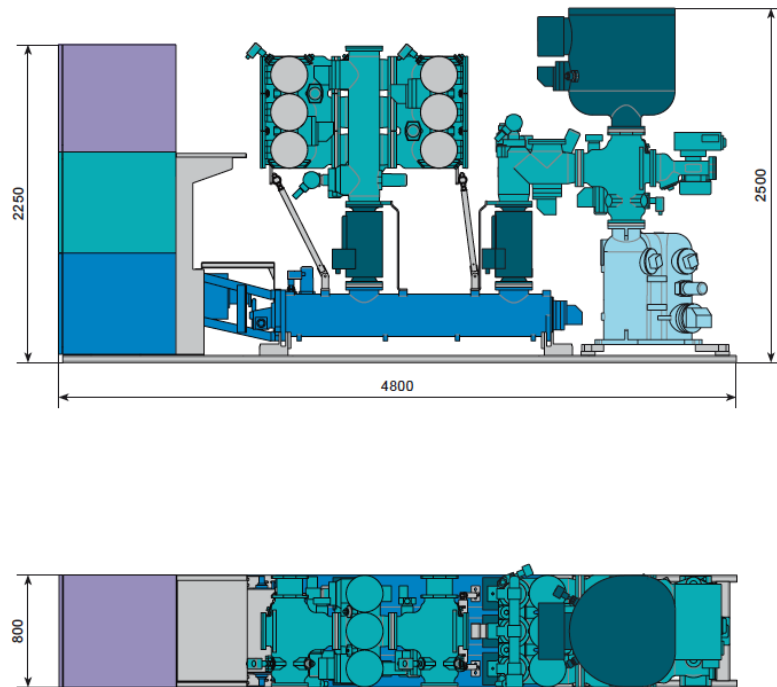


Ilustración 28. Alzado y planta del módulo GIS de 66 kV.

2.3. Características asignadas a la aparamenta

A continuación se exponen las características específicas de los elementos de aparellaje empleados en las celdas GIS de la subestación.

2.3.1. Mecanismos de accionamiento

Los mecanismos que accionan los interruptores automáticos son unipolares electromecánicos, tipo motor-resorte.

Los mecanismos que accionan los seccionadores de fase y de puesta a tierra son electromecánicos y de funcionamiento tripolar simultáneo (actúan al mismo tiempo en las tres fases).

Los mecanismos de accionamiento disponen de un sistema de funcionamiento manual tal que permite que la maniobra en cuestión se lleve a cabo si se diese una situación de falta de tensión de alimentación de los equipo que los accionan.

Los mandos de los accionamientos son de tipo electromagnético, accionadas por bobinas alimentadas en corriente continua.

2.3.2. Contactos auxiliares

Los interruptores de potencia, seccionadores de fase y de puesta a tierra, disponen de manera adicional de los siguientes juegos de contactos auxiliares (libres de potencial):

- Ocho contactos abiertos y ocho contactos cerrados para los interruptores.
- Seis contactos abiertos y seis contactos cerrados para los seccionadores de fase y de puesta a tierra.

Todo ello se añade a los contactos auxiliares precisados para el normal funcionamiento de la aparamenta.

Todos y cada uno de los contactos serán accionados por la propia aparamenta y de modo simultáneo con los contactos principales.

2.4. Descripción de la aparamenta

2.4.1. Interruptor

El interruptor de estas celdas se encuentra dispuesto en posición horizontal, para proporcionar una actuación óptima y un bajo mantenimiento.

El interruptor de las celdas ELK-04 C se basa en accionamientos auto-eyectables, con una unidad por polo (fase), es decir, tres polos monofásicos.

Los polos están confinados en una envolvente metálica de forma cilíndrica.

El sistema se compone de un accionamiento situado en una caja en la parte frontal de las celdas para un sencillo acceso. Seguidamente se encuentra el sistema de carga y los mecanismos de muelles y a continuación el interruptor.



Ilustración 29. Alojamiento del accionamiento del interruptor.

La columna cilíndrica del interruptor puede ser extraída de manera sencilla en caso de que se requiera.

El compartimento en el que se aloja el interruptor posee una envolvente monofásica y el sistema de extinción de arco se lleva a cabo en presencia de gas SF₆.

Requieren una reducida cantidad de energía para la carga y del sistema.

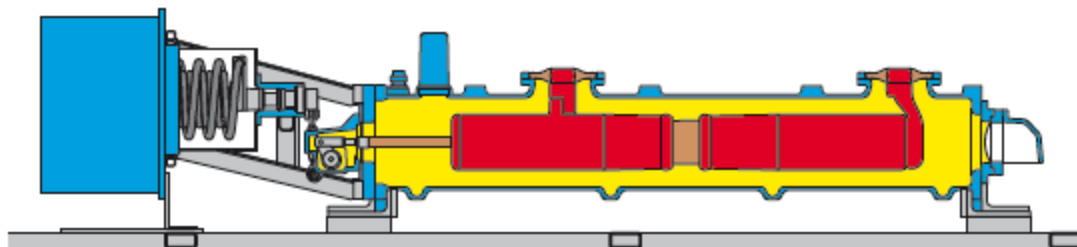


Ilustración 30. . Perfil del interruptor con mecanismo de accionamiento.

2.4.1.1. Funcionamiento del interruptor

Para abrir y cerrar el interruptor se emplea un sistema de muelle de torsión que acciona un resorte.

Cuando se precisa que el interruptor actúe, el pistón que está sujeto al resorte es liberado, lo que origina un aumento de la presión de la cámara donde se aloja el gas. El gas experimenta un aumento de presión que permite la extinción del arco eléctrico.

Las partes que integran el sistema se muestran en la siguiente imagen.

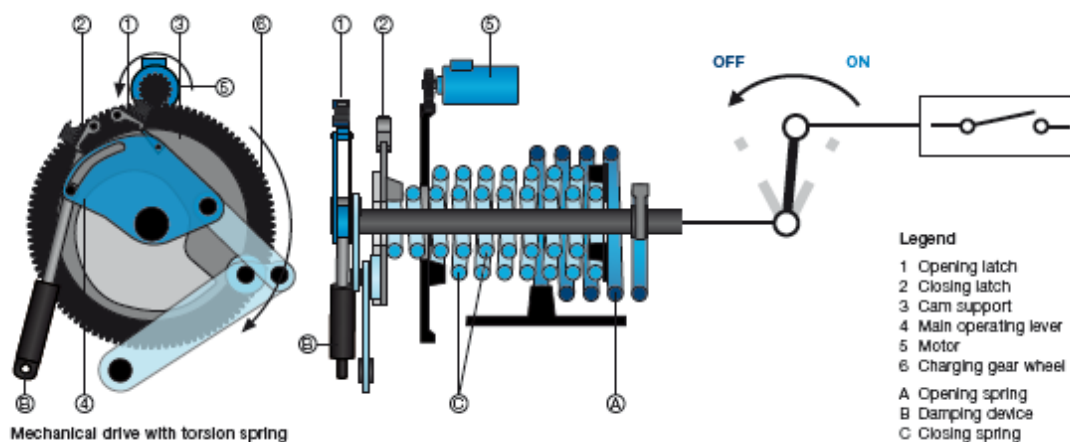


Ilustración 31. Componentes del accionamiento del interruptor.



Las partes señaladas en la imagen son:

1. Pestillo de apertura
2. Pestillo de cierre
3. Leva de soporte
4. Palanca principal de operación
5. Motor
6. Engranaje de carga

- A. Resorte de apertura
- B. Elemento amortiguador
- C. Resorte de cierre

- **Sistema de carga del interruptor**

El contacto normalmente cerrado (NC) inicia la operación de carga. Mediante un movimiento circular se ejerce una torsión en el muelle. La energía que se transmite al sistema es contenida por el pestillo de cierre.

La operación de carga se realiza en menos de 15 segundos.

En caso de no funcionar el motor, la carga del resorte se puede hacer de manera manual.

- **Operación de cierre**

Se actúa un contacto normalmente cerrado (NC). En ese momento el sistema tiene tensión y se procede a la operación de cierre del interruptor.

El resorte se carga y almacena la energía en el muelle, que se contiene por el pestillo de cierre.

Inmediatamente tras la operación de cierre, el motor carga el resorte de nuevo, de este modo el interruptor puede realizar una operación de apertura y una auto recarga en caso de reenganche a las barras de la subestación.

- **Operación de apertura**

El contacto normalmente cerrado (NC) se abre y se procede a la actuación. El interruptor abre, realizando la operación de extinción de arco. La falta se despeja en 55 ms.

Pasados 300 ms, el interruptor procede al reenganche automático a barras.

- **Características eléctricas**

<i>Descripción de la característica</i>	<i>Valor</i>
Intensidad nominal	2500
Poder de corte en cortocircuito	40 kA
Poder de cierre en cortocircuito	108 kA
Intensidad nominal de corte capacitivo (línea)	125 A
Intensidad nominal de corte capacitivo (condensadores)	400 A
Intensidad nominal de corte capacitivo (cables)	250 A
Factor del primer polo	1.3/1.5
Tipo de accionamiento	Resorte
Tiempo de apertura nominal	26-25 ms
Tiempo de ruptura nominal	<40 ms
Tiempo de cierre nominal	45-55 ms
Tiempo de reenganche	<300 ms
Secuencia de maniobra	O-0.3s-CO-3 min-CO
Reenganche	1F/3F
Número de bobinas de cierre	1
Número de bobinas de disparo	2
Contactos auxiliares (para mando)	6 NA + 6 NC
Contactos auxiliares (para control)	2 NA + 2 NC
Número de operaciones mecánicas	Clase M2
Corrientes capacitivas de corte	Clase C2

Tabla 3. Descripción eléctrica del interruptor.

2.4.2. Seccionadores

Los seccionadores que incluyen las celdas de este modelo son de dos tipos: de fase (barras) y de puesta a tierra.

Los seccionadores proporcionan capacidad de aislamiento en zonas de distinto potencial, por ejemplo en la desconexión de barras para hacer alguna operación de mantenimiento del interruptor.

El mecanismo que opera los seccionadores de fase y de puesta a tierra se encuentra alojado en la parte frontal de las celdas; contiene todos los elementos necesarios para su control y está cableado al panel de control general.

Los indicadores de posición y los accesos manuales son elementos convenientemente situados en la cabina de accionamientos y son fácilmente accesibles.



Ilustración 32. Alojamiento del accionamiento de los seccionadores.

Los seccionadores de puesta a tierra conectan las partes del interruptor al potencial de referencia de tierra durante labores de mantenimiento o montaje de equipos.

El seccionador de actuación rápida incluye un mecanismo controlado a través de un resorte que se carga con un motor o de manera manual si es necesario.

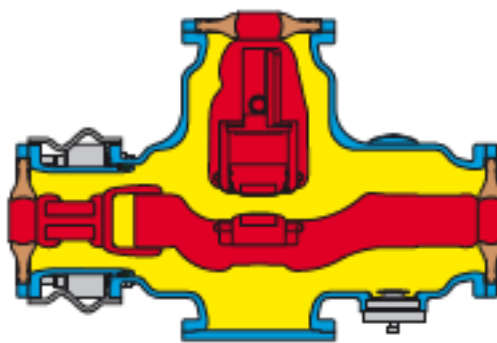


Ilustración 33. Seccionador de barras.



Ilustración 34. Detalle de la ubicación de los seccionadores.

La maniobra del seccionador de fases (barras) está enclavada con la posición del interruptor de tal forma que el seccionador no pueda maniobrase si el interruptor está cerrado.

El dispositivo de enclavamiento mecánico entre seccionadores de barras implica que dichos seccionadores no pueden estar cerrados simultáneamente salvo que el interruptor de acoplamiento está cerrado. El enclavamiento del motor es eléctrico y mecánico.

El mecanismo del seccionador de actuación rápida de puesta a tierra se encuentra en mismo equipo y se controla a través del panel principal de accionamientos.

Disponen de un dispositivo de indicación de posición formado por ventanas de visualización.

- **Características eléctricas**

<i>Descripción de la característica</i>	<i>Valor</i>
Tensión nominal	145 kV
Intensidad nominal	3150 A
Intensidad de cortocircuito (1 s)	40 kA
Poder de corte de corriente capacitiva	500 mA
Tiempo de cierre/apertura	<3 s
Número de contactos auxiliares	6 NA + 6 NC

Tabla 4. Descripción eléctrica de los seccionadores.

2.4.2.1. Seccionadores de puesta a tierra de mantenimiento

Presentan mando eléctrico único para los tres polos, con motor alimentado en corriente continua y opción de control manual, si es preciso.

De manera similar al seccionador, la operación del seccionador de puesta a tierra de mantenimiento está situada en el cuadro de accionamientos en la parte frontal de las celdas. Las funciones manuales, indicadores de posición y el enclavamiento mecánico son elementos convenientemente situados en el panel anteriormente mencionado y son de fácil acceso.

Disponen de un dispositivo de indicación de posición formado por ventanas de visualización.

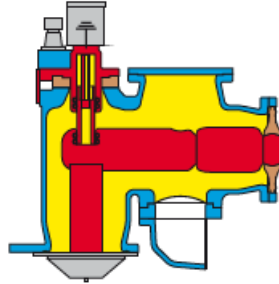


Ilustración 35. Seccionador de puesta a tierra para labores de mantenimiento.

2.4.2.2. Seccionadores de puesta a tierra rápidos

Los terminales de alimentación están equipados con seccionadores de actuación rápida (o de operación rápida) de puesta a tierra. Estos dispositivos son capaces de derivar a tierra corrientes inducidas aguas arriba de las líneas, descargar elementos que tengan comportamiento capacitivo (tales como las líneas por la noche) y proporcionar seguridad cuando el lado opuesto de la línea (en la subestación aguas arriba) no está adecuadamente des-energizado.

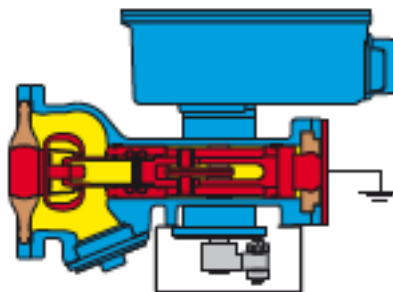


Ilustración 36. Seccionador de puesta a tierra de respuesta rápida.

El mando eléctrico es con resorte, el cual es el mismo para los tres polos. El motor que comprime el resorte se alimenta en corriente continua y dispone de un accionamiento manual, cuando así se precise.

Disponen de un dispositivo de indicación de posición formado por ventanas de visualización.

Las características eléctricas de este tipo de seccionadores se describen a continuación:

• Máxima corriente de cortocircuito	108 kA
• Máxima tensión inducida (acop. electromagnético)	6kV
• Máxima corriente inducida (acop. electromagnético)	100 A
• Máxima tensión inducida (acop. electrostático)	6 kV
• Máxima corriente inducida (acop. electrostático)	5 A
• Clasificación de resistencia eléctrica	Clase E1

2.4.3. Transformador de tensión

Los transformadores de tensión que incorporan las celdas no requieren de mantenimiento.

Proporcionan una medida precisa de la tensión y se emplean principalmente para labores de protección y control de tensión en barras de la subestación.

Son tripolares y de tipo inductivo, se conectan al interruptor mediante bridas estandarizadas y un aislador en partición.

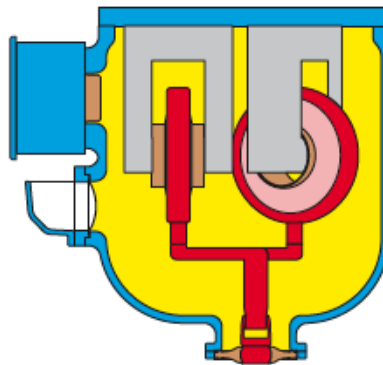


Ilustración 37. Sección del transformador de tensión.

El núcleo magnético del transformador es circular y está laminado para evitar las pérdidas por histéresis y por el efecto de las corrientes de Foucault. El entrehierro, como se aprecia en la imagen superior, es de SF₆, zona en la cual hay un debilitamiento de campo.

EL devanado primario está bobinado sobre el núcleo de hierro circular, y el devanado secundario va conectado al terminal de la envolvente metálica a través de un borne conector para gas aislante.



Ilustración 38. Vista exterior del transformador de tensión.

El gas está separado del resto de la aparamenta y cuenta con un sistema de monitorización para medir su densidad, adicionalmente dispone de una válvula de alivio en caso de que la presión de la cámara sea más elevada de lo que la envolvente puede soportar.

A continuación se muestran las características eléctricas de los transformadores de tensión:

- Relación de transformación nominal 66/√3:0.110/√3 kV
- Características de precisión
 - Primer secundario (medida)
 - Potencia de precisión 15 VA
 - Clase de precisión 0.2
 - Segunda secundario (protección)
 - Potencia de precisión 15 VA
 - Clase de precisión 0.5
- Potencia térmica nominal 1000 VA
- Factor de tensión nominal 1.9/8 h
- Potencia máxima simultánea > 70 VA
- Número de arrollamientos secundarios 3
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial (primario) 460 kV
- Tensión de ensayo de sobretensión tipo rayo (primario) 1050 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial (secundario) 3 kV

2.4.4. Transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad son unipolares y están adosados a la misma parte de la estructura metálica que los seccionadores de puesta a tierra de mantenimiento.

Los terminales secundarios están situados por la parte exterior del compartimento de gas para eliminar la necesidad de aislamiento en SF_6 y están dotados de protección mecánica. Son toroidales y no precisan de ningún tipo de mantenimiento.

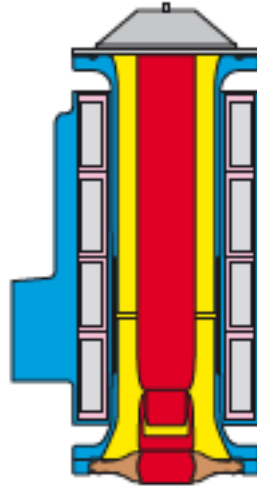


Ilustración 39. Sección del transformador de intensidad.

En caso de sobreintensidades, amortiguan la onda que se induce en el secundario, evitando así calentamientos excesivos y daños en los equipos.



Ilustración 40. Vista exterior del transformador de intensidad.

- **Características eléctricas de los transformadores de intensidad**

Se muestran a continuación las características de los transformadores de las celdas de 66 kV. Primeramente se describen las características comunes a todos ellos y posteriormente sus intensidades nominales en función del tipo que sean (línea, transformador de potencia o acoplamiento):

• Intensidad nominal secundaria	5 A
• Frecuencia nominal	50 Hz
• Tensión máxima de la red	72.5 kV
• Tensión de prueba de onda de choque	1050 kV cresta
• Tensión de ensayo a frecuencia industrial (secundario)	28 kV
• Tensión soportada entre espiras de un arrollamiento	>4.5 kV cresta
• Intensidad límite térmica nominal	1.2 In
• Arrollamiento secundario I (medida)	
○ Potencia de precisión	10 VA
○ Clase de precisión	0.5
• Arrollamiento secundario II (protección)	
○ Potencia de precisión	15 VA
○ Clase de precisión	5P20
• Factor de sobretensión permanente	1

Las intensidades nominales primarias, en función del tipo de posición en la que se ubicarán, son:

• Posición de línea	400-800 A
• Posición de transformador de potencia	200-400 A
• Posición de acoplamiento	600-1200 A

2.4.5. Elementos de conexión

2.4.5.1. Aliviadores

Los descargadores o aliviadores son componentes que controlan magnitudes como la tensión y la presión. Para permitir un servicio estable, se limitan las conexiones y las caídas de rayos que originan sobretensiones.

En el caso de los aliviadores de presión del gas SF_6 , se trata de un conducto alargado que posee una válvula de escape a otro depósito cuando la presión es superior al límite establecido.

Todas estas componentes se encuentran confinadas en una envolvente metálica.

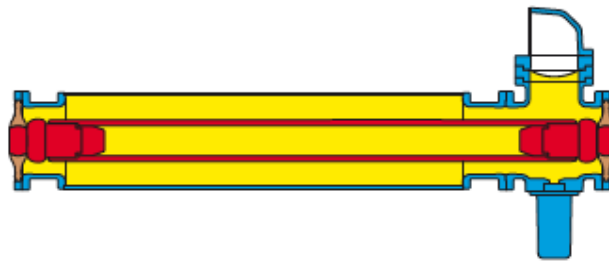


Ilustración 41. Sección del aliviador de presión.

2.4.5.2. Conexiones terminales

2.4.5.2.1. Conexiones terminales de transformador

Estas conexiones unen directamente los transformadores de potencia con el interruptor a través de conductos aislados en SF_6 protegidos por envolventes metálicas.

Las vibraciones, expansiones térmicas del transformador y del interruptor así como los movimientos de la estructura, se compensan con juntas de expansión.

Un cable aislado de alta tensión proporciona aislamiento al transformador para hacer cualquier tipo de pruebas.

2.4.5.2.2. Conexiones terminales de cable

Las celdas incluyen botellas terminales de cable. Estos dispositivos permiten tener la posibilidad de desconectar y aislar los cables para pruebas de alta tensión y facilitar cualquier tipo de operaciones.

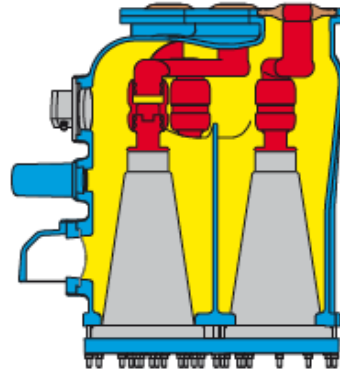


Ilustración 42. Sección de las conexiones terminales de cable.

2.4.6. Cubículos locales de control

Los cubículos locales de control (CLC) incluyen todas las funciones requeridas para el control y la supervisión del funcionamiento de las celdas GIS.



Ilustración 43. Cubículos locales de control.

Estos armarios están integrados en la parte frontal del conjunto que forman las celdas, en la parte más alta.

Están cableados, probados en fábrica y enviados con el resto de la celda en una misma unidad compacta, lo que reduce los errores durante el montaje de la subestación.

La única instalación que se realiza en la subestación es el cableado de botellas terminales, paneles de protección, sistemas de control, suministro de potencia y la interconexión entre celdas GIS.

El interruptor está equipado con un interruptor de monitorización modular (IMM), que permite hacer un seguimiento de los siguientes elementos:

- Densidad del SF₆ en tiempo real.
- Fugas del SF₆ en tiempo real.
- Humedad y punto de rocío del SF₆.
- Detección de un arco interno a través de tecnología óptica.

El IMM opera de manera independiente a todos los sistemas de control y protección. La situación actual de las variables que se miden puede ser revisada cuando se desee a través del “display” situado en el CLC o mediante control remoto a través de conexión Web.



Ilustración 44. Vista frontal del IMM.

En cada celda hay un armario que centralizará todos los dispositivos de mando local, protecciones de los equipos y equipos de medida.

Dichos elementos son los siguientes:

- Indicadores de posición de la aparamenta de corte (según el esquema unifilar).
- Indicadores de media de parámetros y variables.
- Indicadores del sistema de accionamiento por resorte.
- Controladores de las variables del gas SF₆.
- Regletas de bornes para el control a distancia de todos los indicadores.
- Regletas de bornes donde concurran los contactos auxiliares sin tensión de la aparamenta de corte, así como los secundarios de los transformadores de medida.
- Relés, pulsadores de mando y demás elementos auxiliares.

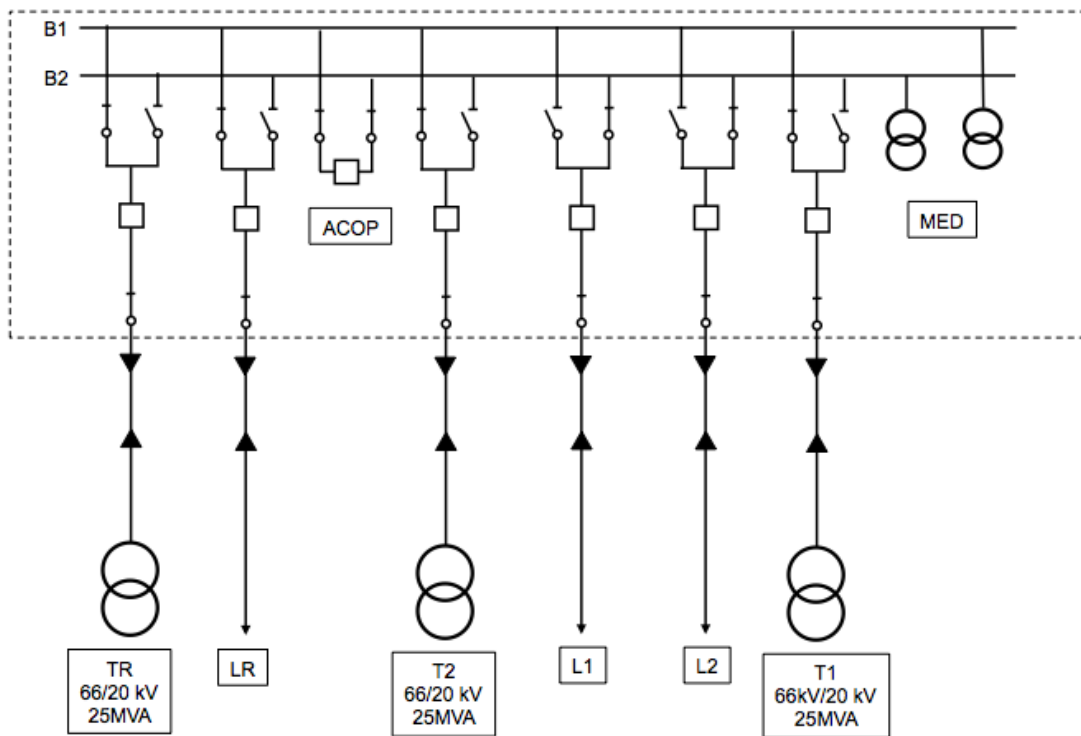
2.5. Distribución de las celdas de 66 kV

El conjunto de las celdas GIS de 66 kV está formado por un total de 7 celdas aisladas en hexafluoruro de azufre. El embarrado es de doble barra.

Los tipos de celdas son los siguientes:

- Primera celda (RT): celda de reserva de posición de transformador.
- Segunda celda (RL): celda de reserva de posición de línea.
- Tercera celda (ACOP): celda de posición de interruptor de acoplamiento de barras.
- Cuarta celda (T2): celda de posición de transformador número 2.
- Quinta celda (L1): celda de posición de línea número 1.
- Sexta celda (L2): celda de posición de línea número 2.
- Séptima celda (T1): celda de posición de transformador número 1.
- Octava celda (MED): celda de posición de medida de tensión en barras.

La distribución de las celdas en la subestación se muestra en el siguiente unifilar.





A continuación se precisan algunas características de las celdas:

2.5.1. Celdas de posición de transformador

Cada una de las tres celdas de posición de transformador está formada por los siguientes elementos:

- Dos tramos de barras con envolvente unipolar.
- Dos seccionadores de barras con accionamientos eléctrico tripolar.
- Un seccionador de puesta a tierra con accionamiento eléctrico tripolar.
- Un interruptor automático con accionamiento unipolar.
- Tres transformadores de intensidad toroidales (uno por fase) para medida, control y protección.
- Un seccionador de puesta a tierra aislable (seccionador de puesta a tierra rápido) con accionamiento eléctrico tripolar.
- Tres transformadores de tensión inductivos monofásicos (uno por fase) para medida, control y protección.
- Un envolvente para terminales de cable de sección normalizada.
- Un armario de control local con accesos remotos y manuales.

2.5.2. Celda de acoplamiento de barras

Está formada por los siguientes elementos:

- Dos tramos de barras con envolvente unipolar.
- Un seccionador de barra con accionamiento eléctrico tripolar
- Un seccionador de puesta a tierra con accionamiento eléctrico tripolar.
- Un interruptor automático con accionamiento unipolar.
- Tres transformadores de intensidad toroidales (uno por fase) para medida, control y protección.
- Un seccionador de puesta a tierra aislable (seccionador de puesta a tierra rápido) con accionamiento eléctrico tripolar.
- Dos tramos de barra con envolvente unipolar.
- Un armario de control local con accesos remotos y manuales.

3. Celdas de 20 kV

3.1. Descripción del equipo

Las celdas de 20 kV alojan la aparamenta eléctrica del conjunto de barras de menor tensión de la subestación en unos compartimentos de aluminio aislados en aire.

La aparamenta de 20 kV escogida para esta subestación es del fabricante ABB y se trata del modelo ZS8.4 “AIR-INSULATED MEDIUM VOLTAGE SWITCHGEAR” con partición clase PM.



Ilustración 45. Vista general del módulo de 20 kV.

Todos los equipos han sido probados en fábrica. El montaje es muy sencillo, al tratarse de un único módulo.

El diseño garantiza la seguridad de operación y una accesibilidad segura a los paneles de mando, protección y medida, situados en la parte frontal de las celdas.

Los equipos están enclavados eléctricamente, cumpliendo con la norma IEC 62271-200, de modo que la posibilidad de errores por factor humano es nula.

Las áreas funcionales están divididas dentro de las celdas, situadas en compartimentos independientes entre sí, tal y como muestra la siguiente figura:

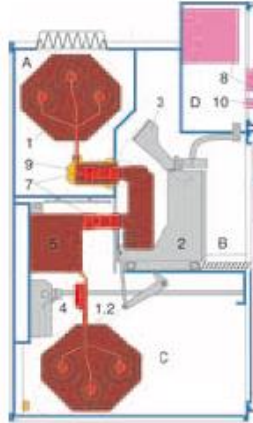


Ilustración 46. Secciones y elementos de la celda de acoplamiento de 20 kV.

- Las secciones nombradas con letras en la imagen son:

A: área de barras

B: área de interruptor

C: área de barras

D: compartimento de baja tensión

- Los elementos numerados en la imagen son:

1: barra 1

1.2: barra 2

2: interruptor (VM1/VD4)

3: obturador automático

4: seccionador de puesta a tierra

5: transformador de intensidad

7: contactos de instalación

8: paneles de protección (unidad REF542 plus)

9: dispositivo aislante

10: indicador capacitivo de tensión

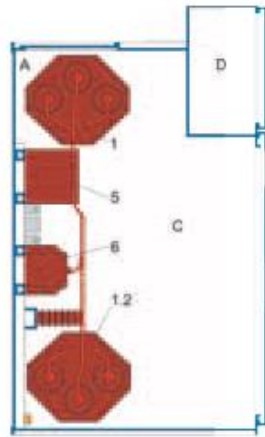


Ilustración 47. Secciones y elementos de medida en barras de 20 kV.

- Las secciones nombradas con letras en la imagen son:
 - A: área de barras
 - C: área de transformador
 - D: compartimento de baja tensión
- Los elementos numerados en la imagen son:
 - 1: barra 1
 - 1.2: barra 2
 - 5: transformador de intensidad
 - 6: transformador de tensión
- Todas las celdas presentan las siguiente medidas:

Medida	Valor
Altura	2300 mm
Anchura	800 mm
Profundidad	1200 mm

Tabla 5. Medidas de la celda de 20 kV.

3.2. Características técnicas generales

Las características eléctricas de la apartamentada de 20 kV que se ha escogido son las siguientes:

• Tensión máxima de funcionamiento continuo:	24 kV
• Sobretensión a frecuencia industrial:	50 kV
• Sobretensión a impulsos tipo rayo:	125 kV
• Frecuencia nominal:	50 Hz
• Corriente nominal (barras):	2000 A
• Corriente máxima de cortocircuito:	25 kA
• Tiempo máximo de cortocircuito:	3 s
• Corriente de pico máxima instantánea:	63 kA
• Instalación:	edificio
• Nivel de aislamiento	
○ Interruptor	IP4X
○ Resto equipos	IP2X
• Temperatura ambiente de servicio	
○ Máxima	40 °C
○ Valor medio (24 h)	35 °C
○ Mínima	-5 °C
• Máxima altura sobre el nivel del mar	1000 m
• Peso	1200 kg

El diseño modular y compacto permite que el espacio ocupado sea reducido. El sistema es de tres fases con aisladores monofásicos, lo que proporciona una fácil accesibilidad a los equipos.

La seguridad de este modelo se hace notar en el uso de secciones compartimentadas, lo que protege las barras en caso de faltas internas en cualquier parte del equipo o en la zona terminal del cable aislado.

3.3. Descripción de la aparamenta

3.3.1. Interruptor

El interruptor de las celdas de 20 kV es de tecnología de corte en vacío, modelo VM1. Está certificado de acuerdo con la norma IEC 62271-100.

Es un dispositivo de medidas muy compactas y de alta fiabilidad. El modelo VM1 está completamente sellado de por vida y por lo tanto no es preciso realizar ningún trabajo de mantenimiento.

Ofrece un elevado ciclo de maniobras y tiene un sistema de carga de muelles a través de un motor de 125 Vcc, el cual tarda menos de quince segundos en realizar la operación de carga.



Ilustración 48. Interruptor de las celdas de 20 kV.

Las características eléctricas del interruptor son:

- | | |
|-------------------------------------|----------------------|
| • Capacidad de corte | 63 kA |
| • Tiempo total de corte | 50-75 ms |
| • Duración total de la maniobra | 60-80 ms |
| • Secuencia de reenganche | O-0,3s-CO-15s-CO |
| • Clase | M2 (10000 maniobras) |
| • Niveles de intensidad | 630/1250/2000 A |
| • Intensidad de corta duración (3s) | 25 kA |

3.3.2. Seccionadores

Los seccionadores que incluyen las celdas de este modelo son modelos tipo C4 y requieren bajo mantenimiento debido a su compacto diseño.

Poseen una alta capacidad de corte y cierre en carga, cualidad que les hace desmarcarse del resto de seccionadores clásicos.

Ofrece una fiabilidad alta para la extinción del arco gracias a su aislamiento en aire, que emplea principios de gases pesados.

Tiene, además, la cualidad de abrir corrientes capacitivas bajo condiciones de falta a tierra.

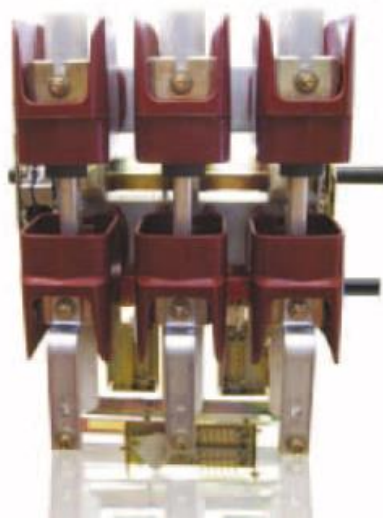


Ilustración 49. Seccionador de las celdas de 20 kV.

Las características eléctricas del seccionador son:

- Seccionador de posición de línea
 - Endurancia mecánica M0 (1000 maniobras)
- Seccionador de puesta a tierra
 - Capacidad de cierre 40 kA
 - Endurancia eléctrica E0
- Poder de corte en cortocircuito 25 kA
- Intensidad nominal 800 A

3.3.3. Transformador de tensión

Los transformadores de tensión que incorporan las celdas no requieren de mantenimiento; pueden instalarse fijos o extraíbles.

Sus dimensiones están certificadas de acuerdo con la norma DIN 42600 y sus características eléctricas cumplen con la norma IEC 60044-2.

Los sensores están probados frente a cortocircuitos y no son sensibles a efectos de ferro-resonancia o componentes de corriente continua.

Son de tipo inductivo y monofásicos.

Están conectados a los sistemas de protección y control.



Ilustración 50. Transformador de tensión de las celdas de 20 kV

Las características eléctricas del transformador de tensión son:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| • Tensión nominal primaria (U_n) | 22/ $\sqrt{3}$ kV |
| • Factor de tensión en permanencia | 1.2 U_n |
| • Factor nominal de tensión $U_n/8h$ | 1.9 |
| • Tensión secundaria | 110/ $\sqrt{3}$ V |
| • Características de medida | |
| ○ Potencia de precisión | 50 VA |
| ○ Clase de precisión | Cl. 0.5 |
| • Características de protección | |
| ○ Potencia de precisión | 20 VA |
| ○ Clase de precisión | Cl. 0.2 |

3.3.4. Transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad son unipolares, de tipo toroidal y están encapsulados en una envolvente metálica.

Están instalados en el interior de las celdas de 20 kV, en celdas independientes a las de interruptor y se emplean para labores de medida y de protección.

Algunos de ellos son de tipo compuesto y también pueden realizar medidas de tensión.



Ilustración 51. Transformador de intensidad de las celdas de 20 kV.

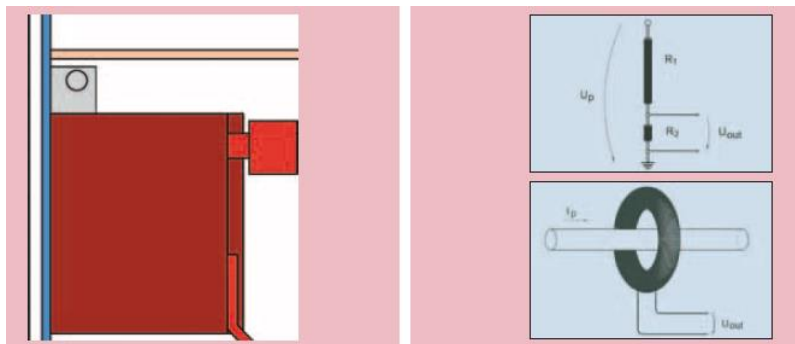


Ilustración 52. Esquema de un transformador de intensidad compuesto.

Se muestran a continuación las características de los transformadores de intensidad de las celdas de 20 kV. Primeramente se describen las características comunes a todos ellos y posteriormente sus intensidades nominales en función del tipo que sean (línea, transformador de potencia, acoplamiento o transformador de servicios auxiliares):

• Intensidad nominal secundaria	5 A
• Nivel de aislamiento	72 kV
• Límite de tensión (alterna, durante 1 min)	3 kV
• Frecuencia nominal	50 Hz
• Tensión máxima de la red	24 kV
• Intensidad límite térmica nominal	1.2 In
• Clase de aislamiento	E
• Relación nominal de transformación	400/5 A
• Potencia de precisión	10 VA
• Características de medida	
○ Clase de precisión	Cl. 0.2
• Características de protección	
○ Clase de precisión	5P20

Las intensidades nominales primarias, en función del tipo de posición en la que se ubicarán, son:

• Posición de línea	400 A
• Posición de transformador de potencia	1200 A
• Posición de transformador de servicios auxiliares	630 A

3.3.5. Cubículos de control y protección

Los cubículos de control y protección se encuentran en la parte delantera de las celdas y son fácilmente accesibles. Mediante los “displays” digitales se realizan las labores de seguimiento y se pueden ajustar los valores disponibles así como comprobar los registros de las unidades de medida.

Los paneles de las celdas de 20 kV permiten llevar a cabo labores de protección y control de operación.

- **Características de protección**



Ilustración 53. Imagen del relé REF 615.

Se realizan mediante un relé REF 615 de ABB. Éste gobierna el interruptor y controla las unidades subordinadas de protección.

Tiene 17 entradas binarias y 12 salidas binarias. Incluye un relé diferencial en su interior.

Permite configurar posiciones de enclavamiento para distintas secciones en el interior de las celdas.

Cumple con lo expuesto en la norma IEC 61850 en cuanto a sistemas y capacidad de comunicación.

Lleva el control manual de los accionamientos de puesta a tierra, gestiona la unidad de protección diferencial y la unidad de protección de distancia de las celdas de 20 kV.

Es un componente fácilmente extraíble en caso de necesitar ser reparado.

- **Características de control de operación**



Ilustración 54. Monitores de la unidad REF 542 plus.

Las unidades de control de operación sirven de apoyo a las unidades de protección.

El dispositivo principal es el relé REF 542 de ABB que permite llevar a cabo operaciones como:

- Control electromecánico de posición y estado de embarrados.
- Control multifunción de las secciones interiores de la celda.
- Salidas a través de luces LED para mostrar las variables de estado.

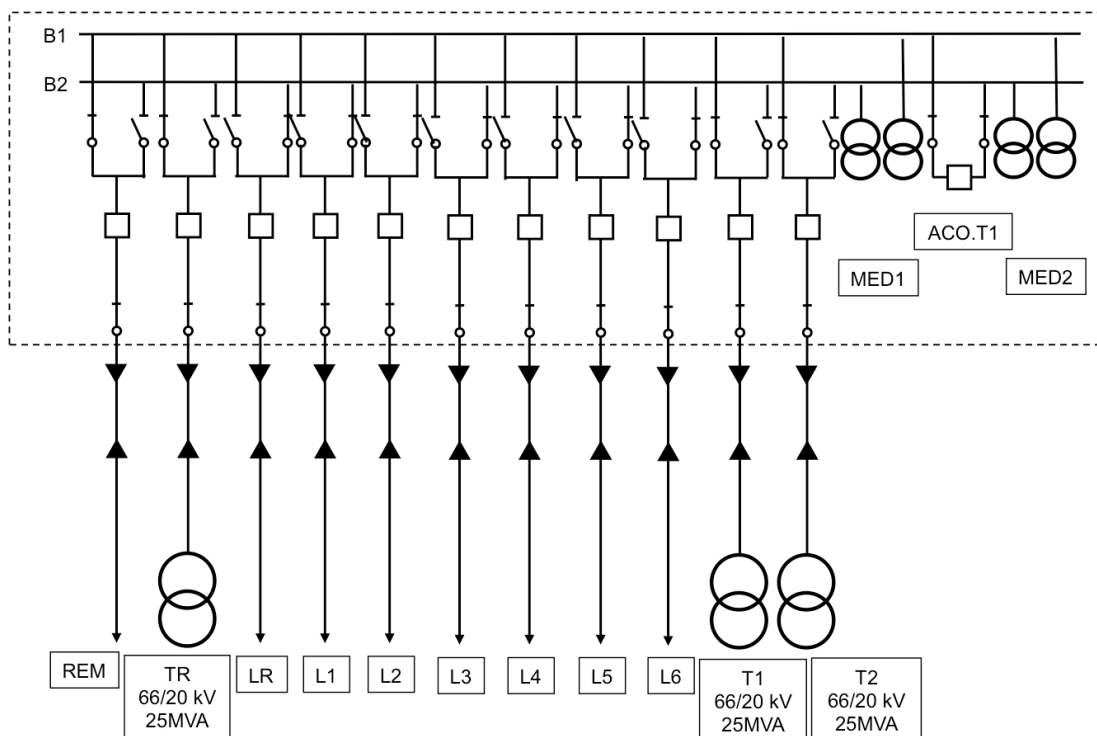
3.4. Distribución de las celdas de 20 kV

El conjunto de las celdas en aire de 20 kV está formado por un total de 27 celdas aisladas en aire. El embarrado es de doble barra.

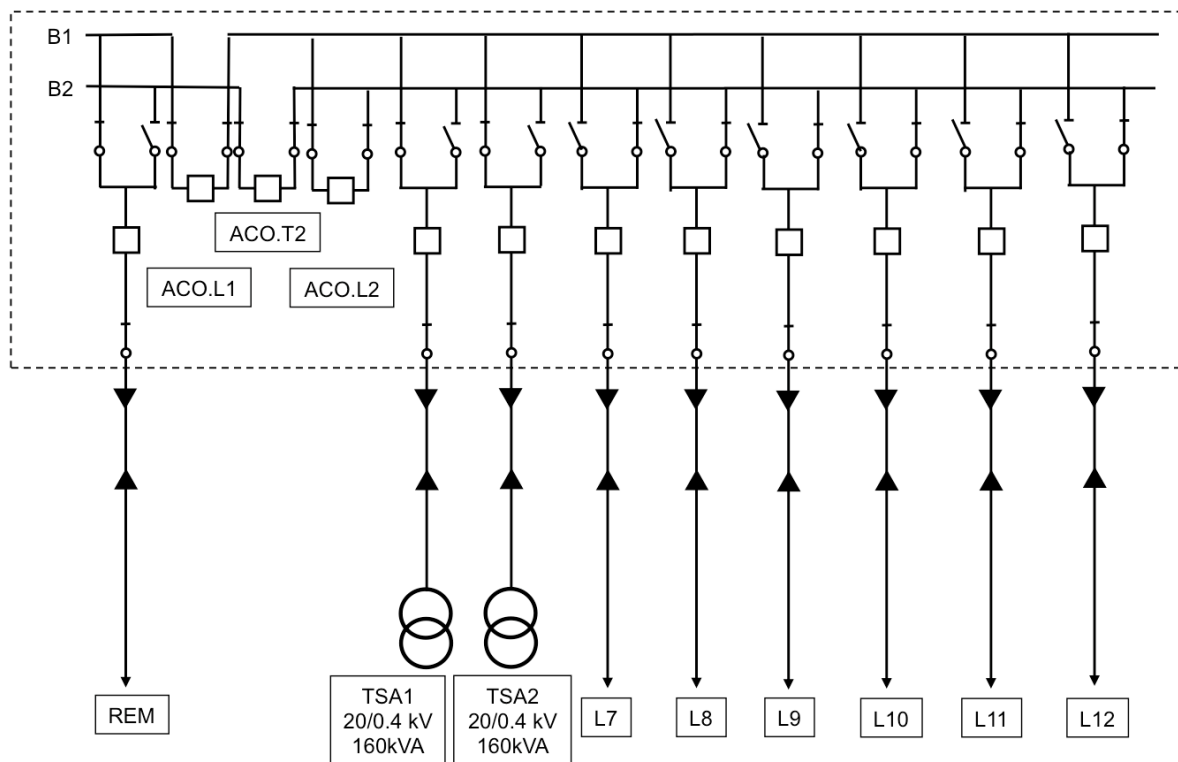
Las celdas se encuentran distribuidas en dos series, una primera serie de 15 celdas unidas a través de un remonte a la segunda serie de 12 celdas, con su correspondiente remonte de unión a la primera serie. Dentro de las series existen interruptores de acoplamiento longitudinales y transversales, que brindan la opción de dar distintas configuraciones al embarrado en caso de quedar parte de él fuera de servicio.

Los tipos de celdas son los siguientes:

- Primera serie (14 celdas)
 - REM: celda de unión entre series mediante remonte.
 - RT: celda de reserva de posición de transformador.
 - RL1: celda de reserva de posición de línea número 1.
 - L1: celda de posición de línea número 1.
 - L2: celda de posición de línea número 2.
 - L3: celda de posición de línea número 3.
 - L4: celda de posición de línea número 4.
 - L5: celda de posición de línea número 5.
 - L6: celda de posición de línea número 6.
 - T1: celda de posición de transformador de potencia número 1.
 - T2: celda de posición de transformador de potencia número 2.
 - MED1: celda de posición de medida de tensión número 1.
 - ACO.T1: celda de posición de interruptor de acoplamiento transversal de barras número 1.
 - MED2: celda de posición de medida de tensión número 2.
 -



- Segunda serie (12 celdas)
 - REM: celda de unión entre series mediante remonte..
 - ACO.L1: celda de posición de interruptor de acoplamiento longitudinal de barras número 1.
 - ACO.L2: celda de posición de interruptor de acoplamiento longitudinal de barras número 2.
 - ACO.T2: celda de posición de interruptor de acoplamiento transversal de barras número 2.
 - TSA1: posición de transformador de servicios auxiliares número 1.
 - TSA2: posición de transformador de servicios auxiliares número 2.
 - L7: celda de posición de línea número 7.
 - L8: celda de posición de línea número 8.
 - L9: celda de posición de línea número 9.
 - L10: celda de posición de línea número 10.
 - L11: celda de posición de línea número 11.
 - L12: celda de posición de línea número 12.



4. Cables aislados

En este apartado se describen los cables por los que se ha optado a partir lo que se expone en el apartado “Cálculo de los cables aislados” en el capítulo “Cálculos”.

Los cables aislados se encargan de conectar, a través del transformador de potencia, los dos parques de tensión (66 kV con 20 kV).

4.1. Cables aislados de 20 kV

Los cables aislados de 20 kV se encargan de conectar la salida del transformador de potencia con las celdas de media tensión.

Los cables empleados serán del fabricante PRYSMIAN, en particular el modelo “AL VOLTALENE H LXHI0Z1”

Se trata de un cable de características muy notables, tanto en pérdidas en el dieléctrico, resistividades térmica, mecánica y eléctrica como en rigidez dieléctrica. El cable presenta características adicionales como por ejemplo protecciones frente al agua para evitar la aparición de arborescencias.

Los cables satisfacen los ensayos establecidos en la norma IEC 60502-2 y han seguido la normas de diseño DMA-C33-251/E y HD 620-1.

Como se ha expuesto en el apartado “Cálculo de los cables aislados” en el capítulo “Cálculos”, para transportar toda la potencia requerida, se ha decidido emplear cables en paralelo; lo que implica la cantidad de 12 cables: hay dos posiciones de transformador y se precisan dos cables por fase y por posición de transformador.

Se muestra una imagen del cable con sus partes numeradas, las cuales se describen a continuación:

1. **Conductor:** cuerda redonda compacta de hilos de cobre clase 2, según IEC 60228.
2. **Semiconductora interna:** capa extrusionada de material conductor.
3. **Aislamiento:** polietileno reticulado (XLPE)
4. **Semiconductora externa:** capa extrusionada de material conductor separable en frío.
5. **Pantalla metálica:** hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira. Sección total: 16 mm².
6. **Protección contra el agua:** cintas hinchantes.
7. **Cubierta exterior:** poliolefina (PO) semiconductora. No propagador del incendio.



Ilustración 55. Componentes del cable aislado de 20 kV.

Las características del cable son las siguientes:

• Modelo de cable	AL VOLTALENE H LXHI0Z1
• Número de conductores por fase	1 (unipolar)
• Conductor	cuerda compacta de Cu. Clase 2
○ Sección	240 mm ²
• Aislamiento	XLPE
○ Diámetro	35,6 mm
○ Espesor	8 mm
• Pantalla	cinta e hilos de Cu
○ Sección	16 mm ²
• Peso longitudinal	1980 kg/km
• Radio de curvatura estático	660 mm
• Radio de curvatura dinámico	880 mm
• Temperatura máxima/cortocircuito	90 °C/250°C
• Tensión nominal simple U ₀	12 kV
• Tensión nominal entre fases	20 kV
• Tensión a impulsos U _p	170 kV
• Intensidad máxima admisible	590 A
• Intensidad máxima de cortocircuito (1s)	22,3 kA



4.2. Cables aislados de 66 kV

Los cables aislados de 66 kV se encargan de conectar el primario del transformador de potencia con las celdas GIS de 66 kV.

Los cables empleados serán del fabricante PRYSMIAN, en particular el modelo “AL VOLTALENE H RHZ1-20L”

Los cables satisfacen los ensayos establecidos en la norma IEC 60502-2 y han seguido la normas de diseño DMA-C33-251/E y HD 632-6A.

Ha sido construido a partir de materiales termoplásticos (reciclables al 100%) y mediante un proceso de fabricación que permite aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases contaminantes.

Se empleará el siguiente número de cables de este tipo: uno por fase y por posición de transformador; resultando un total de seis cables (puesto que hay dos posiciones de transformador).

Se muestra una imagen del cable con sus partes numeradas, las cuales se describen a continuación:

1. **Conductor:** cuerda redonda compacta de hilos de cobre clase 2, según UNE EN 60228.
2. **Semiconductora interna:** capa extrusionada de material conductor.
3. **Aislamiento:** polietileno reticulado (XLPE)
4. **Semiconductora externa:** capa extrusionada de material conductor separable en frío.
5. **Protección longitudinal contra el agua:** cordones cruzados higroscópicos o cinta hinchante.
6. **Pantalla metálica:** hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira. Sección total: 16 mm².
7. **Separador:** cinta de poliéster.
8. **Cubierta exterior:** poliolefina termoplástica, Z1 Vemex.



Ilustración 56. Componentes del cable aislado de 66 kV.

Las características del cable son las siguientes:

• Modelo de cable	AL VOLTALENE H RHZ1-20L
• Número de conductores por fase	1 (unipolar)
• Conductor	cuerda compacta de Cu. Clase 2
○ Diámetro	11,4 mm
○ Sección	95 mm ²
• Aislamiento	XLPE
○ Diámetro	39.2 mm
• Pantalla	cinta e hilos de Cu
○ Diámetro	43,8 mm
○ Sección	16 mm ²
• Peso longitudinal	2900 kg/km
• Radio de curvatura estático	798 mm
• Radio de curvatura dinámico	998 mm
• Temperatura máxima/cortocircuito	90 °C/250°C
• Tensión nominal simple U ₀	36 kV
• Tensión nominal entre fases	66 kV
• Tensión a impulsos U _p	325 kV
• Intensidad máxima admisible	335 A
• Intensidad máxima de cortocircuito (1s)	40 kA



4.3. Cable aislado de servicios auxiliares

Este cable une la posición de celda GIS de 20 kV con el lado de 20 kV del transformador de servicios auxiliares.

Los cables empleados serán del fabricante PRYSMIAN, en particular el modelo “AL EPROTENAX H COMPACT”

Los cables satisfacen los ensayos establecidos en la norma IEC 60502-2 y han seguido la norma de diseño UNE HD 620-9E.

Se empleará el siguiente número de cables de este tipo: uno por fase y por posición de transformador de servicios auxiliares; resultando un total de seis cables (puesto que hay dos posiciones de transformador de servicios auxiliares).

Se muestra una imagen del cable con sus partes numeradas, las cuales se describen a continuación:

1. **Conductor:** cuerda redonda compacta de hilos de aluminio clase 2, según UNE EN 60228.
2. **Semiconductora interna:** capa extrusionada de material conductor.
3. **Aislamiento:** polietileno reticulado (XLPE)
4. **Semiconductora externa:** capa extrusionada de material conductor separable en frío.
5. **Pantalla metálica:** hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira. Sección total: 16 mm².
6. **Separador:** cinta de poliéster.
7. **Cubierta exterior:** poliolefina termoplástica, Z1 Vemex.

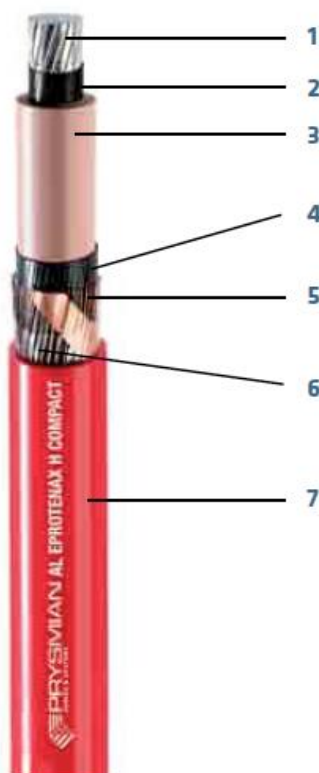


Ilustración 57. Componentes del cable aislado de 20 kV de servicios auxiliares.

Las características del cable son las siguientes:

• Modelo de cable	AL EPROTENAX H COMPACT
• Número de conductores por fase	1 (unipolar)
• Conductor	cuerda compacta de Al. Clase 2
○ Sección	50 mm ²
• Aislamiento	XLPE
○ Diámetro	18,1 mm
○ Espesor del aislamiento	4,5 mm
• Pantalla	cinta e hilos de Cu
• Peso longitudinal	780 kg/km
• Radio de curvatura estático	387 mm
• Radio de curvatura dinámico	516 mm
• Temperatura máxima/cortocircuito	105 °C/250°C
• Tensión nominal simple U ₀	12 kV
• Tensión nominal entre fases	20 kV
• Tensión a impulsos U _p	125 kV
• Intensidad máxima admisible	120 A
• Intensidad máxima de cortocircuito (1s)	47 kA

5. Terminales de cable

Los terminales de cable son piezas que realizan la conexión entre los cables y otros equipos como las celdas GIS o los transformadores.



Para el transformador, el cable aislado de 66 kV conecta directamente a la bobina, sin bornas, a través de una botella terminal. El cable de MT se conecta directamente a las palas terminales de la bobina.

En el caso de las celdas de 66 kV, se dispone de botellas terminales a las que se conectan los cables aislados, sin embargo las celdas de 20 kV tienen conexiones enchufables para cable aislado, que son las que se describen a continuación.

5.1. Terminales para celdas de 20 kV

Los terminales escogidos para el nivel de tensión de 20 kV son del fabricante PRYSMIAN, en particular el modelo “FMCTXs-240/36 Cu”.

Cumplen con los requisitos establecidos por la normas HD 628 y HD 629.

Sus características son:

- No precisa de herramientas especiales, encintados ni rellenos.
- Se puede instalar en cualquier posición.
- No es necesario conservar las distancias mínimas entre fases.
- Se puede dar tensión inmediatamente después de su conexionado.
- El conector está completamente apantallado por una envolvente semiconductora.
- Maniobrables sin tensión.
- Idóneos para cables de aislamiento seco unipolares (PE, XLPE, EPR).
- Pantallas de cable: semiconductora extrusionada o encintada de hilos.
- Apto para secciones de conductor de Cu o Al desde 50 mm² hasta 630 mm².
- Soporta corrientes hasta 1250 A, y de 1800 A durante 8 horas.
- Aptos para transformadores y módulos compactos.

Se muestra una imagen del terminal con sus partes numeradas, las cuales se describen a continuación:

1. **Contacto roscado:** vástago de cobre, roscado en ambos extremos para sujeción de los contactos. Mantiene una presión uniforme con el contacto engastado al conductor.
2. **Tapón aislante:** componente epoxy que dispone de un inserto metálico hembra que conecta al contacto roscado.
3. **Divisor capacitivo:** elemento metálico de cabeza hexagonal, ubicado en el tapón aislante. Permite comprobar la ausencia de tensión.
4. **Capuchón:** parte premoldeada semiconductora (EPDM) que pone a tierra el divisor capacitivo durante el servicio.
5. **Ojal de toma de tierra:** permite conectar la semiconductora externa del conector a la pantalla del cable.
6. **Contacto del conductor:** terminal metálico de dimensiones adecuadas para la sección del conductor que permite su conexión al equipo.
7. **Capa semiconductora interna:** protección semiconductora EPDM que actúa como jaula de Faraday evitando la ionización del aire ocluido en su interior.

8. **Capa semiconductor externa:** capa semiconductor premoldeada (EPDM) diseñada para dar continuidad a la pantalla del cable. Su conexión a la misma asegura que el conjunto se mantiene al potencial de tierra.
9. **Cuerpo aislante:** premoldeado aislante (EPDM) para la reconstitución integral del aislamiento. Mantiene una presión de contacto uniforme entre el reductor y el aislamiento del cable.
10. **Reductor:** premoldeado (EPDM) que permite la total adaptación del accesorio a las diferentes secciones y tensiones de los cables.
11. **Protector de la toma de tierra:** componente (EPDM) que asegura la estanquidad y protege la toma de tierra.

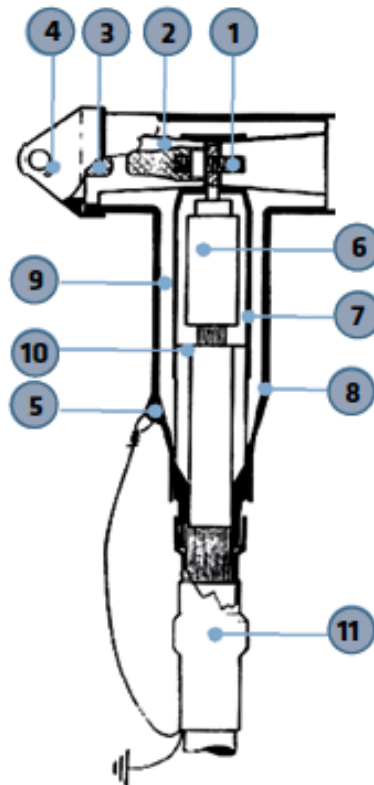


Ilustración 58. Componentes del terminal de 20 kV.

El terminal dispone de un accesorio que permite acoplar los cables en paralelo del diseño de cable aislado en 20 kV, tal como muestra la siguiente figura:

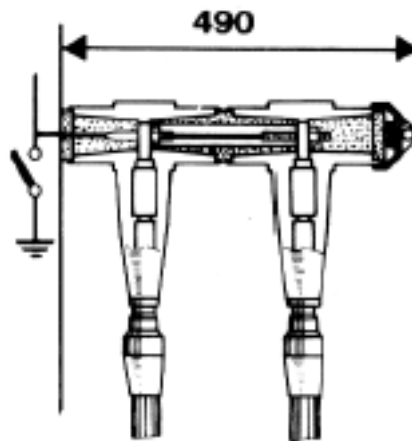


Ilustración 59. Accesorio de unión de terminales enchufables en paralelo para de 20 kV.

6. Servicios auxiliares

Los equipos de servicios auxiliares permiten mantener la operatividad óptima y continua de la subestación durante momentos en los que se pone en jaque el funcionamiento de la instalación como, por ejemplo, una falta o la pérdida de tensión en barras.

Estos equipos garantizan la alimentación de los equipos de protección y medida, permitiendo que la situación se contrarreste de la mejor manera posible.

6.1. Servicios auxiliares de corriente alterna

6.1.1. Transformador de servicios auxiliares

El transformador para los servicios auxiliares seleccionado es del fabricante ORMAZABAL y se trata del modelo "TRANSFORMA ORGANIC" de niveles de tensión 20 kV/400 V y 160 kVA de potencia aparente. Se instalarán un total de dos transformadores de servicios auxiliares de este modelo.

Se trata de un transformador trifásico para instalación interior, hermético (de llenado integral), sumergido en aceite mineral de acuerdo a la norma IEC 60296. El sistema de refrigeración es ONAN y posee una envolvente metálica que forma parte del sistema de intercambio de calor que proporciona, además, el aislamiento necesario.

El aceite mineral en el que está sumergido el núcleo magnético y los arrollamientos es un fluido natural biodegradable obtenido a partir de aceites vegetales y formulado sin aditivos antioxidantes. Entre las numerosas ventajas que ofrece, cabe destacar el alargamiento en la vida útil del transformador, ya que este fluido tiene una gran capacidad para retener agua, lo que evita la degradación de los arrollamientos.

A continuación se muestran las características eléctricas del transformador:

- | | |
|--------------------------------------|-------------|
| • Relación de transformación nominal | 24 kV/400 V |
| • Potencia aparente nominal | 160 kVA |
| • Frecuencia nominal | 50 Hz |
| • Nivel de aislamiento | 24 kV |



• Grupo de conexión	Dyn11
• Intensidad nominal (lado de baja)	250 A
• Pérdidas en vacío	210 W
• Pérdidas en carga	2000 W
• Impedancia de cortocircuito (75 °C)	4 %
• Nivel de potencia acústica	44 dB
• Factor de potencia	0,8
• Caída de tensión a plena carga	3,31 %
• Rendimiento	
○ Al 100 % de carga	98,30 %
○ Al 75 % de carga	98,63 %
• Volumen de aceite	213 litros
• Peso total	753 kg

Las medidas del transformador son las siguientes:

• A (largo)	1046 cm
• B (ancho)	743 cm
• C (alto a tapa)	873 cm
• D3 (alto a bornes enchufables)	963 cm
• F (separación MT)	275 cm
• H (separación entre BT)	80 cm
• J (distancia entre ruedas)	520 cm
• K (ancho de rueda)	40 cm
• Ø (diámetro de la rueda)	125 cm
• L (rueda)	110 cm
• Distancia entre ganchos para poste	530 cm

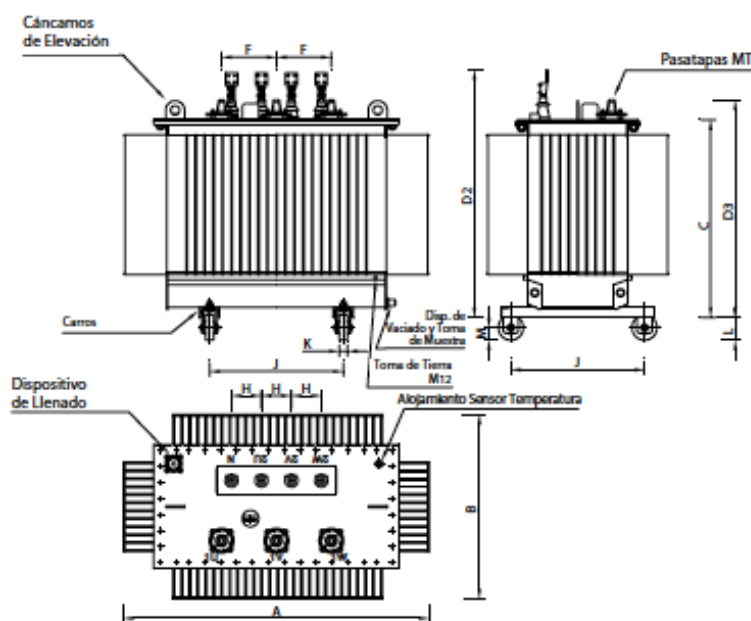


Ilustración 60. Vistas del transformador.

Las cotas D1 y D2 corresponden a modelos con otro tipo de bornes.

Los pasatapas son enchufables, para poder conectar los terminales de los cables que vienen desde las celdas de 20 kV.

6.1.2. Cuadro general de baja tensión de CA

El cuadro general de corriente alterna se ubicará en la habitación de servicios auxiliares de la subestación.

Este cuadro contendrá todos los interruptores del sistema de baja tensión de los servicios auxiliares así como las derivaciones a los cuadros de distribución.

El cuadro seleccionado será el modelo PRISMA G IP30 del fabricante SCHNEIDER ELECTRIC.

La alimentación del cuadro procederá de los lados de baja de los transformadores de servicios auxiliares (20 kV/400 V). Dicha alimentación proporcionará una tensión de línea de 400 V y una tensión simple de 230 V. La disposición del embarrado trifásico del cuadro será de barra partida y contará con una barra de neutro. Esta configuración incrementa la comodidad de cara a labores de mantenimiento, permitiendo transferir cargas de una sección de la barra a otra. Asimismo se pueden acoplar las dos barras, formando un único embarrado simple.

El acoplamiento entre barras se realiza mediante un interruptor motorizado.

El cuadro contendrá un contador electromagnético de potencia activa de clase 1.



Ilustración 61. Cuadro general de BT de CA.

6.1.3. Cuadros de distribución

Los cuadros de distribución será el modelo PRISMA G IP43 del fabricante SCHNEIDER, e irán alimentados desde el cuadro general de BT descrito en el apartado anterior.

Los cuadros de distribución serán los siguientes:

- cuadro general de sistemas de alumbrado, que contiene todos los servicios de alumbrado y luminaria de la subestación y del recinto exterior.
- cuadro de fuerza, ventilación y climatización con barras separadas entre sí.

6.1.4. Instalaciones de alumbrado

El alumbrado del recinto exterior se llevará a cabo con luminarias de unos 150 W, las cuales proyectarán luz hacia el suelo. Los accesos peatonales contarán con encendido por fotocélula inteligente.

El alumbrado de emergencia estará constituido por luminaria fluorescente que marcarán adecuadamente las zonas de entrada y salida así como los caminos de evacuación de emergencia. Estos sistemas tendrán una alimentación independiente de los equipos de CA de la subestación, para asegurar su funcionamiento en caso de pérdida de tensión.

Las salas internas de la subestación estarán iluminadas con lámparas de fluorescentes junto con lámparas proyectoras de suspensión de tal modo que el conjunto garantice una iluminación uniforme y adecuada.



6.2. Servicios auxiliares de corriente continua

6.2.1. Cuadro general de CC

El cuadro general de corriente continua tiene la misma forma constructiva que el cuadro general de corriente alterna.

En este cuadro se encuentran los interruptores y distintos mandos de fuerza de los servicios auxiliares, equipos de comunicación y demás elementos que deban ser alimentados en corriente continua.

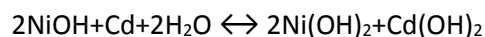
6.2.2. Baterías

Las baterías permiten almacenar una cantidad de energía eléctrica en forma de energía química, que puede ser transformada en energía eléctrica por medio de reacción químicas tipo Redox (Reducción-oxidación).

Las baterías seleccionadas tienen un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo metálico de Níquel/Cadmio.

Durante la descarga, el hidróxido de níquel presenten en el cátodo se reduce a un estado menor de oxidación y el cadmio se oxida a hidróxido de cadmio. La reacción descrita es reversible, lo que permite las acciones de carga y descarga de las baterías. La reacción tiene lugar con un electrolito de hidróxido de potasio.

La reacción descrita es la siguiente:



El objetivo de las baterías es alimentar en corriente continua los equipos de vital importancia como las protecciones y estar siempre disponibles para los sistemas de recarga de muelles de los interruptores.

La ventaja que tienen respecto a otro tipo de baterías es su mayor estabilidad para proporcionar tensión durante el proceso de descarga (hasta del 95% del valor nominal) y sus pocas pérdidas de material electrolito durante el servicio.

6.2.2.1. Batería de 125 Vcc

El modelo seleccionado para la implantación en la subestación es de 125 Vcc del fabricante CHLORIDE CENER y es una batería de ánodo metálico de níquel-cadmio. El equipo completo está formado por las cajas de baterías y por un rectificador (seleccionado de otro fabricante) que permite, mediante electrónica de potencia y un controlador por microprocesador el control de los flujos de potencia que entran y salen de la batería.

A continuación se presenta una relación de las características generales de las baterías:

- Modelo LHC160
- Capacidad 160 Ah
- Celdas
 - Número de celdas 95
 - Largo 205 mm
 - Ancho 108 mm
 - Altura 423 mm
 - Peso 7.3 kg

6.2.2.2. Rectificador de la batería de 125 Vcc

El rectificador está alojado junto a las celdas de la batería. Es del fabricante RECTICUR, modelo RAF Argos.

Su tecnología combina la eficiencia y fiabilidad para poder alcanzar los niveles de potencia requeridos. Es adecuado para sistemas modulares, como es el caso de las baterías.

Las características del rectificador son:

- Modelo RAF Argos
- Tensión nominal de entrada 400 Vca (III)
- Tensión nominal de salida 125 Vcc
- Estabilidad en tensión y corriente $\pm 0.5\%$
- Rizado de salida $\leq 150\text{mVpp}$
- Temperatura de funcionamiento -40°C a 75°C

7. Red de tierras

7.1. Descripción general

La puesta a tierra es un conjunto de estructuras metálicas subterráneas que conforman un electrodo. Su función es proporcionar un circuito de baja impedancia, a través del cual se puedan derivar al terreno cualquier tipo de corriente que se pueda originar y suponga un peligro para la instalación o para las personas. Asimismo, establece un potencial de referencia permanente dentro de su perímetro de actuación, evitando diferencias de potencial entre distintos puntos por la circulación de dichas corrientes.

El aspecto que más influye en el diseño de la puesta a tierra es la resistividad del terreno, que equivale a la resistencia de un cubo de terreno de 1 m de arista. En el diseño de la puesta a tierra, si la resistividad del terreno no es lo suficientemente buena, se suele mejorar dicha propiedad mediante la adición de sales.



Ilustración 62. Telurímetro y ensayo de resistividad eléctrica.

Según el reglamento, existen dos magnitudes principales que condicionan el diseño de la puesta a tierra y del electrodo:

- Tensión de paso. Es la diferencia de potencial entre dos puntos de la superficie del terreno que se encuentran separados 1 metro (distancia de un paso), siguiendo el sentido del gradiente de potencial máximo.
- Tensión de contacto. Es la diferencia de potencial entre una estructura metálica, susceptible de ser recorrida por una corriente (derivación a masa), y un punto de la superficie del terreno situado a 1 metro, siguiendo el sentido del gradiente de potencial máximo.

En el eventual caso de que una persona puentee estas tensiones, se forma un divisor de tensión entre las resistencias que conforman el circuito. Ello implica que la persona no se ve expuesta a la totalidad de la tensión, sino a una parte de la misma, estas tensiones que ve la persona se denominan tensiones aplicadas.

Las tensiones aplicadas máximas admisibles se encuentran reguladas para las instalaciones eléctricas y normalizadas en función del tiempo en el que se deba disipar la falta o la derivación pertinente. Este tiempo incluye el tiempo de funcionamiento de las protecciones, el de maniobra de los interruptores y de los reenganches. Los valores regulados se muestran en la siguiente tabla:

<i>Duración de la corriente de falta (s)</i>	<i>Uca (V)</i>	<i>Upa=10×Uca (V)</i>
0,05	735	7350
0,1	633	6330
0,2	528	5280
0,3	420	4200
0,4	310	3100
0,5	204	2040
1	107	1070
2	90	900
5	81	810
10	80	800

Tabla 6. Duración total de falta y tensiones admisibles.

7.2. Datos de partida para el análisis

Tras haber diseñado la distribución de la subestación, se ha llegado a una forma rectangular de 31 metros de largo por 32 metros de ancho. Además, por motivos de seguridad, se va a establecer una distancia perimetral adicional de 1 metro.

La potencia de cortocircuito de la red en la que se va a instalar la subestación es de 1100 MVA, con lo que se tiene una corriente de cortocircuito a tierra de 9.623 kA. Para redundar en seguridad, se ha decidido hacer el diseño para 10 kA.

Para los valores de resistividad del terreno, se ha acudido al estudio *“Pruebas de resistividad eléctrica con telurímetro en terrenos volcánicos. Aplicación a subestaciones eléctricas”* de J.R. Jiménez, A. Lomoschitz y J. Herman, del cual se ofrece una tabla conceptual a continuación:

Zona de ensayo	Terrenos ensayados	Resultados de resistividad ($\Omega \times m$)	Medida de resultados ($\Omega \times m$)	Grado de humedad
A	Arcillas (Tenerife)	mar-15	10.25	Alta
B	Tobas pumíticas	sep-44	20.77	Alta
C	Lapilli basáltico	1602-7523	2185.20	Media
D	Brecha fonolítica	72-289	218.65	Baja
E	Derrubios con cantos fonolíticos	30-80	52.02	Baja
F	Arcillas (Gran Canaria)	ene-27	24.96	Media
G	Conglomerado (FDP)	ago-14	9.91	Baja
H	Arenas algo cementadas	1093-3622	2086.85	Baja

Tabla 7. Resultados de los ensayos de resistividad eléctrica (diferentes litologías).

Tal y como muestra la tabla, los ensayos fueron realizados en distintos terrenos del territorio Canario, siendo el terreno de “Arcillas” en Gran Canaria de iguales características al de la población de Tegui, donde se ubicará la subestación.

Por ello, el valor de la resistividad del terreno será: $\rho_s=25 \Omega\text{m}$.

Los tramos de camino para circulación de vehículos y personas serán asfaltados con una capa de 5 cm de espesor. El conjunto toma una resistividad de $5000 \Omega\text{m}$.

Se ha establecido un tiempo de neutralización de la falta de 0.5 segundos, lo que condiciona las tensiones aplicadas.

Se empleará cable de cobre para formar el electrodo. En caso de ser necesario, se añadirán picas.

Parámetro	Valor
Corriente de cortocircuito (I_{CC})	10 kA
Resistividad natural del terreno (ρ_s)	25 Ωm
Resistividad de los viales (ρ_v)	5000 Ωm
Resistividad del hormigón (ρ_H)	3000 Ωm
Resistividad del suelo de la subestación (ρ_l)	3000 Ωm
Tiempo de actuación	0.5 s
Tensión de contacto aplicada (U_{CA})	204 V
Tensión de paso aplicada (U_{PA})	2040 V
Distancia perimetral	1 m
Profundidad de enterramiento de la malla	0.8 m
Sección del cable de cobre	70 mm ²
Diámetro del cable de cobre	9.5 mm

Tabla 8. Propiedades iniciales para el cálculo de la puesta a tierra.

8. Protecciones eléctricas de la subestación

8.1. Protecciones en 66 kV

8.1.1. Mínima tensión

El relé de mínima tensión (27) está comunicado con los interruptores de posición de línea y da orden de disparo cuando la tensión medida en barras es inferior a un valor establecido.

La pérdida de tensión es un escenario muy grave, puede originar pérdida de sincronismo, altas tensiones de paso y contacto y otros efectos nocivos para la seguridad de la subestación.

8.1.2. Sincronismo

El relé de sincronismo (25) es una protección de línea.

Es vital para una automatización de las protecciones de la subestación. Este relé mide la frecuencia y el módulo de la tensión a ambos lados y da orden de cierre al interruptor de acoplamiento si estas magnitudes son iguales, de este modo se elimina la posibilidad de aparición de sobretensiones durante la conexión.

Irán instalados para garantizar el adecuado enganche durante una reposición de las líneas de 66 kV que llegan a la subestación.

8.1.3. Distancia

El relé de distancia (21) es la principal protección de línea.

Tiene cuatro zonas de actuación: primera y segunda (hacia delante) y tercera y cuarta (hacia atrás). Estas zonas están comunicadas entre sí mediante fibra óptica y proporciona una correcta actuación, evitando la apertura innecesaria de las líneas.

Al ser las líneas de 66 kV relativamente cortas (inferiores a 60 km), se realizará un ajuste por sobrealcance a bloqueo. De este modo, uno de los relés dará señal de bloqueo a su homólogo en la subestación de origen cuando la cuarta zona detecte una falta. La primera zona está configurada para actuar instantáneamente y no puede recibir señal de bloqueo.

Si hubiese una falta en barras de la subestación, los relés verían la falta en su tercera zona (hacia atrás) y darían orden de apertura a los interruptores.

8.1.4. Sobreintensidad direccional

La protección de sobreintensidad direccional (67N) se emplea como respaldo o como protección secundaria de la protección principal de las líneas de transporte, es decir, la protección de distancia.

Mediante la combinación de relés de distancia y de relés de sobreintensidad orientados hacia atrás se tiene la llamada protección de comparación direccional.

Cada relé incluye un relé de distancia (con sobrealcance a bloqueo) y un relé de sobreintensidad direccional orientado hacia atrás, tal como muestra la siguiente figura.

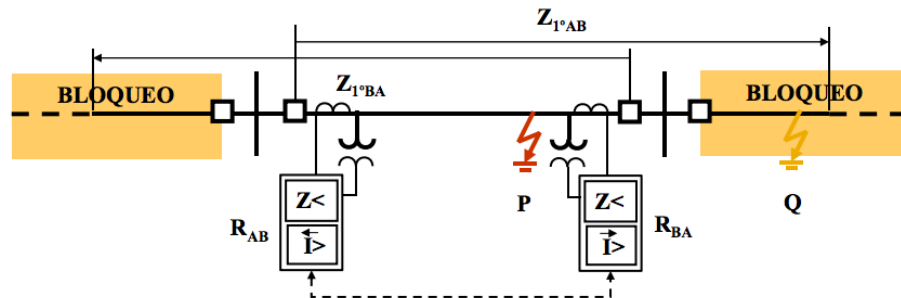


Ilustración 63. Protección de comparación direccional.

Cada relé envía al otro una señal constante de bloqueo, a través del canal de comunicaciones. Si se detecta fallo en primera zona, se deja de enviar dicha señal. Por otra parte, la unidad direccional mantiene la señal de bloqueo del otro extremo de la línea por falta externa.

El relé actúa de manera instantánea si detecta falta en primera zona y no recibe dicha señal de bloqueo.

Funcionamiento:

- En caso de falta en P cada relé arranca en primera zona y el bloqueo es eliminado.
- En caso de falta en Q.
 - RBA no detecta falta en primera zona pero su unidad direccional detecta el flujo de corriente hacia la falta.
 - RAB detecta la falta y recibe bloqueo de RBA, con lo que no actúa.

8.2. Protecciones en 20 kV

8.2.1. Sobre-frecuencia y sub-frecuencia

El relé de sobre-frecuencia (81M) y el de sub-frecuencia (81m) vigilan variaciones anormales, superiores o inferiores a 50 Hz, respectivamente.

Los valores normales de frecuencia están comprendidos entre 49,85 Hz y 50,15 Hz. Cualquier valor que no pertenezca a ese intervalo supone un peligro para la red en cuanto a seguridad y a fiabilidad se refiere.

Cuando los este tipo de relés miden frecuencias distintas a los valores mencionados se procede a la descarga parcial de elementos de la red: se comienza con los grupos de bombeo y se continúa abriendo líneas poco en escalones del 10% de la carga total de la red.

Se dispondrá un relé por barra de la protección 81M, que detecta las sobre-frecuencias originadas por deslastes de cargas o por el anómalo funcionamiento de la regulación de frecuencia. Se ajustará a 52 Hz y dará orden de apertura a todos los interruptores.

Análogamente, se dispondrá un relé por barra de la protección 81m. Detectará las sub-frecuencias debidas a la desconexión de los grupos de generación o al funcionamiento anómalo de la regulación de tensión. Se ajustará a 48 Hz y dará orden de apertura a todos los interruptores.

8.2.2. Sobreintensidad de fase

Esta unidad cuenta con dos relés: el de tiempo definido (50) y el de tiempo inverso (51). La protección de sobreintensidad de fase se emplea para proteger la línea de distribución ante las elevadas corrientes que aparecen en las faltas polifásicas.

Se instalarán debido a la alta densidad de carga a la salida de la subestación.

Para ajustar las protecciones de sobreintensidad es necesario establecer las corrientes de arranque de las unidades. Para la unidad de tiempo definido se establecerá una corriente de arranque que esté comprendida entre la corriente de falta bifásica y la corriente máxima de carga. Para la unidad de tiempo inverso se tomará la corriente de arranque entre el 120% y 150% de la corriente máxima de carga. El dial de la unidad de tiempo inversa se calcula para falta al final de la línea.

Los tiempos de actuación serán tales que en caso de falta polifásica, el tiempo de actuación para el centro de transformación al final de las líneas de 20 kV sea inferior a 400 ms.

8.2.3. Sobreintensidad de neutro

Esta unidad cuenta con dos relés: el de tiempo definido (50N) y el de tiempo inverso (51N). La protección de sobreintensidad de neutro se emplea para proteger la línea de distribución ante las elevadas corrientes que aparecen en las faltas monofásicas.

Aunque el funcionamiento de estos relés es análogo al de los relés de sobreintensidad de fase, la configuración de los tiempos en este caso está condicionada por el estado del neutro de las líneas de distribución; típicamente aislado o puesto a tierra.

8.3. Protecciones eléctricas del transformador

8.3.1. Diferencial

La protección diferencial (87T) es la principal protección del transformador. Vigila la corriente diferencial de tal modo que no actúa ante faltas externas, sino únicamente ante faltas internas, cuando las intensidades se suman en la bobina diferencial.

Cuenta con tres relés monofásicos (uno por fase), compensados para cancelar el efecto de los grupos de conexión y de las relaciones de intensidad de los transformadores de media.

La unidad diferencial está adecuadamente ajustada para evitar problemas de orden de disparo cuando se haga regulación en carga del transformador.

La protección se guía por una característica que compara la corriente de frenado frente a la corriente diferencial.

El principal problema que presenta la protección diferencial es la orden de disparo durante la conexión del transformador. La corriente de conexión toma valores de entre 5 y 10 veces la corriente nominal. La solución a este problema consiste en incluir en la protección el bloqueo por segundo armónico, ya que dicha corriente de conexión tiene un alto contenido en segundo armónico, de tal modo que el relé es capaz de medirlo y da orden de bloqueo, para evitar la apertura del interruptor.

8.3.2. Sobreintensidad

La protección de sobreintensidad del transformador (51) tiene unidades de fase y neutro que miden las corrientes de todas las fases. Esta protección se emplea de respaldo a la diferencial del transformador, que es la principal.

Las sobreintensidades de las que se debe proteger el transformador se originan debido a faltas internas y faltas externas. Dichas sobreintensidad producen daños indeseables en los arrollamientos como calentamientos y elevados esfuerzos mecánicos. En caso de que la falta sea a tierra, se producen también daños en la chapa y en la envolvente metálica del transformador.

La protección debe actuar rápidamente ante defectos internos y debe ser especialmente selectiva con defectos internos y externos, ya que en estos casos las corrientes de falta son muy similares.

Para el ajuste se deberá tener en cuenta que la unidad de tiempo definido se deberá coordinar con las unidades de tiempo definido de las protecciones de línea de 20 kV. En cuanto a la unidad de tiempo inverso: la corriente de arranque se ajustará a la máxima sobrecarga soportada por el transformador, el dial se programará para que la protección esté coordinada con la protección de sobreintensidad de la línea de distribución de 20 kV más larga.



Deberá comprobarse la no actuación en caso de corriente de conexión máxima (bloqueo por segundo armónico).

8.3.3. Protección de sobrecarga

El relé de sobrecarga (49) que se instalará en la subestación tiene como función la protección de los cables aislados.

Esta protección mide la intensidad de línea y mediante integraciones numéricas determina la energía disipada por el cable de manera instantánea. Compara estos valores con los de una característica del tipo $I^2t = \text{cte.}$ y da orden de disparo cuando procede.

Los cables aislados no admiten sobrecargas tan elevadas como las que pueden darse en las líneas aéreas debido a que una temperatura de operación más elevada a la nominal originaría importantes degradaciones en el aislamiento de los cables.

La intensidad de arranque de la unidad se ajustará al 110% de la corriente nominal.



Capítulo III

Cálculos

1. Corrientes nominales

En primer lugar, hay que tener en cuenta las corrientes que llegan a la subestación por la línea de 66 kV. Dichas corrientes tienen un valor de 1250 A. Este dato es de vital importancia para el dimensionamiento de la instalación.

La potencia que llega a la subestación se hace circular a través de dos transformadores de 25 MVA. Sabiendo, que para corriente alterna trifásica:

$$I(A) = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)}$$

Por otra parte, se tienen unas corrientes de cortocircuito trifásico que los equipos deben ser capaces de soportar durante un tiempo lo suficientemente corto.

Niveles de tensión de la subestación (kV)	66	20
U (frec. Industrial) (kV)	140	50
U (tipo rayo) (kV)	325	25
Icc (kA) (Transformador)	31,5	25
In de la línea (A)	1250	
I (acoplamientos y barras) (A)	2500	2000
Sc (MVA) (Transformador)	3600,93	866,03
In (transformador) (A)	218,69	721,69

Tabla 9. Características eléctricas de la subestación.

2. Corrientes de cortocircuito

Por los datos constructivos de la subestación, ya se conoce que la potencia de cortocircuito de la red en el lado de alta tensión es de 1100 MVA y que la corriente de cortocircuito asociada en ese mismo lado es de 10 kA

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito se empleará el criterio aproximado de la Red Infinita.

Partiendo de que la impedancia de cortocircuito del transformador (Z_{cc}) vale 0.13 pu, se tiene que la potencia de cortocircuito en el lado de baja tensión es:

$$S_{cc}(MVA) = \frac{S(MVA)}{Z_{cc}(pu)} = \frac{25}{0.13} = 192.3 \text{ MVA}$$

Asimismo, la corriente de cortocircuito en ese lado es:

$$I_{cc}(kA) = \frac{S(MVA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)} = \frac{192.3}{\sqrt{3} \cdot 20} = 5.55 \text{ kA}$$

Se resumen los valores de las magnitudes de cortocircuito en la siguiente tabla:

Lado	$S_{cc}(MVA)$	$I_{cc}(kA)$
66 kV	1100	10
20 kV	192.3	5.55

Tabla 10. Magnitudes de cortocircuito.

3. Cálculo de la red de tierras

Primeramente han de determinarse las resistividades superficiales aparentes de cada una de las distintas zonas. Estos valores son los de las resistividades multiplicadas por el coeficiente reductor “ C_s .”

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2h_s + 0,106} \right) \quad \left| \begin{array}{l} C_s \rightarrow \text{coeficiente reductor} \\ \rho \rightarrow \text{resistividad del terreno natural} \\ \rho^* \rightarrow \text{resistividad de la capa superficial} \\ h_s \rightarrow \text{espesor de la capa superficial} \end{array} \right.$$

Aplicando la fórmula a todas a las superficies pertinentes de la subestación, se obtiene la siguiente información:

Lugar	$\rho_{aparente}(\Omega \cdot m)$
Interior de la subestación	2384,11
Viales	2458,06
Perímetro sin acera	25

Tabla 11. Resistividades superficiales corregidas.

A continuación se determinan las tensiones de paso y de contacto de la instalación, que marcarán los límites a cumplir en el diseño de la puesta a tierra.

$$U_C = U_{CA} \cdot \left(1 + \frac{1000 + 1,5 \cdot \rho_S}{1000}\right) \quad \left| \quad U_P = U_{PA} \cdot \left(1 + \frac{4000 + 6000 \cdot \rho_S}{1000}\right)\right.$$

Al aplicar estas fórmulas se obtienen los siguientes valores:

Lugar	$U_c(V)$	$U_p(V)$
Interior de la subestación	1137,54	39381,51
Viales	1160,16	40286,63
Perímetro sin acera	415,65	10506

Tabla 12. Tensiones de paso y contacto máximas admisibles de la instalación.

Para poder cumplir con la normativa y garantizar la seguridad, las tensiones que se obtengan del circuito diseñado deberán ser estrictamente menores que las que se muestran en la tabla 3.3.E.

Tras las consideraciones anteriores, ya se puede calcular la resistencia del electrodo que se va a enterrar. Tras realizar una serie de simulaciones numéricas, se llegó a la conclusión de que el electrodo será un mallado de medio metro de retícula cuadrada con 20 picas de 2 metros de longitud conectadas en paralelo.

La resistencia del electrodo viene dada por la siguiente expresión:

$$R = \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20} \cdot A} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$\rho \rightarrow$ resistividad del terreno natural

$L \rightarrow$ longitud total de las picas y del cable enterrado

$A \rightarrow$ superficie cubierta por el mallado

$h \rightarrow$ profundidad de enterramiento de la malla

Operando numéricamente:

$$R=0,823 \Omega$$



El siguiente paso consiste en calcular las tensiones de paso y de contacto según el modelo numérico, que deberán ser inferiores a las que se han obtenido de acuerdo a los tiempos de despeje de falta.

Estos cálculos se hacen mediante la siguiente serie de factores.

$$U'_C = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_m}$$

$$U'_P = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s}$$

Parámetro	Definición
n	Número de conductores en paralelo
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
L_C	Longitud total de los conductores enterrados, excepto picas
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

Tabla 13. Definición de los parámetros de cálculo de la puesta a tierra.



Las fórmulas de los anteriores parámetros son las siguientes:

$$n = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} \cdot \sqrt{\frac{L_P}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

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

$$K_{ii} = 1$$

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

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

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

$$L_m = L_C + \left[1,55 + 1,22 \cdot \frac{L_r}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \right] \cdot L_R$$

$$L_S = 0,75 \cdot L_C + 0,85 \cdot L_R$$

El valor que toman los anteriores parámetros para la configuración escogida se compacta en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor
n	63,99
K_m	0,264
K_s	1,08
K_i	10,11
L_c	4031
L_m	4095,19
L_s	3057,25
K_h	1,342
K_{ji}	1

Tabla 14. Valor de los parámetros de cálculo de la puesta a tierra.

Finalmente, se calculan los valores de las tensiones de contacto y de paso y se comparan con los límites.

Lugar	$U'c$ (V)	$U'p$ (V)	Comprobación Uc	Comprobación Up
Interior de la subestación	391,85	2144,59	CUMPLE	CUMPLE
Viales	391,85	2144,59	CUMPLE	CUMPLE
Perímetro sin acera	391,85	2144,59	CUMPLE	CUMPLE

Tabla 15. Comprobación de las tensiones de paso y de contacto obtenidas.

Las tensiones obtenidas son menores que las máximas admisibles en la instalación, por lo que la disposición de la puesta a tierra es correcta y cumple con la normativa.

La disposición final que se tomará será: un mallado rectangular de 31 metros de largo por 32 metros de ancho con una retícula cuadrada de 0,5 metros de lado y poniendo en paralelo 20 picas de 2 metros de longitud.

4. Cálculo de los cables aislados

Para realizar los cálculos relativos a los cables aislados se seguirán las indicaciones del Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT).

Los cables irán alojados en una galería debajo del nivel del suelo, este habitáculo ventilado tiene el suficiente volumen para que pueda circular el aire y por ello se emplearán las preinscripciones del apartado 6.1.3 "Condiciones de instalación al aire" del RLAT en lugar de las disposiciones para cables enterrados.

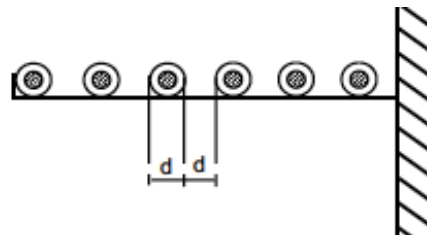


Ilustración 64. Disposición de los cables en el interior de la galería.

Se cumplen así las condiciones que plantea el reglamento en cuanto a radiación solar (cables a la sombra). Para la subestación de diseño, se ha optado suponer una temperatura máxima superior a la habitual (40 °C) y tomar 50 °C debido a la situación climatológica de la isla, especialmente en verano.

Se ha decidido emplear conductores de cobre con aislamiento de XLPE.

El criterio que se emplea para el cálculo de los cables es el de corrientes máximas admisibles, aunque también se cotejarán los resultados con el criterio de corrientes de cortocircuito.

4.1. Cálculo del cable de 20 kV

Como se ha detallado a lo largo de la memoria, cada posición de transformador tiene una potencia aparente de 25 MVA, luego la intensidad que deberá transportar cada cable será:

$$I(A) = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 721,69 \text{ A}$$

Seguidamente hay que tomar los coeficientes de corrección necesarios para la instalación que se va a disponer. En este caso el coeficiente de corrección por temperatura para 50 °C es $K_T=0,92$. El segundo coeficiente que se tiene en cuenta es el que hace referencia a la forma de instalar los cables en la galería. En este caso se ha planteado que los cables estarán separados una distancia igual a su diámetro entre ellos y se colocarán por ternas sobre bandejas; el coeficiente es $K_I=0,88$.

Temperatura de servicio, θ_s , en °C	Temperatura ambiente, θ_a , en °C										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
105	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83
90	1,27	1,23	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,78
70	1,41	1,35	1,29	1,23	1,16	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58
65	1,48	1,41	1,34	1,27	1,18	1,10	1	0,89	0,78	0,63	0,45

Ilustración 65. Factor de corrección para temperaturas ambiente distintas de 40 °C. RLAT.

Factor de corrección			
Número de Bandejas	Número de ternos		
	1	2	3
1	0,92	0,89	0,88
2	0,87	0,84	0,83
3	0,84	0,82	0,81
6	0,82	0,80	0,79

Ilustración 66. Factor de corrección para cables unipolares, separados una distancia igual a su diámetro. RLAT.

Sección (mm²)	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	140	110	155	120	160	125
35	170	130	185	145	195	150
50	205	155	220	170	230	180
70	255	195	275	210	295	225
95	310	240	335	255	355	275
120	355	275	385	295	410	320
150	405	315	435	335	465	360
185	465	360	500	385	535	415
240	550	425	590	455	630	495
300	630	490	680	520	725	565
400	740	570	790	610	840	660

Ilustración 67. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna. RLAT.

Si se toma la sección de 400 mm², que presenta una intensidad máxima admisible de 790 A y se aplican los factores de corrección mencionados anteriormente:

$$I_{\text{real}}(A) = I_{\text{tabla}} \cdot K_T \cdot K_I = 790 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = 639,58 \text{ A} < 721,69 \text{ A}$$

La intensidad real es menor que la que debe transportar el cable, por lo tanto esta propuesta no es válida. Puesto que se ha tomado la mayor de las secciones comerciales, la mejor solución consiste en poner dos cables en paralelo, lo que implicará un nuevo coeficiente corrector $K_P=0,9$ que tiene en cuenta los posibles desequilibrios de corriente entre cables iguales que están en paralelo.

La intensidad que cada cable en paralelo debe ser capaz de soportar es la mitad de la anterior: 360,85 A.

Tomando dos cables en paralelo de sección 240 mm² (la intensidad máxima es 590 A) se tiene:

$$I_{\text{real}}(A) = I_{\text{tabla}} \cdot K_T \cdot K_I \cdot K_P = 590 \cdot 0,92 \cdot 0,88 \cdot 0,9 = 429,9 \text{ A} > 360,85 \text{ A}$$

La corriente que el cable puede soportar es superior a la que se precisa, luego la solución propuesta cumple.

Se tomará los de sección 240 mm² en paralelo como solución para 20 kV.



4.2. Cálculo del cable de 66 kV

En este caso la intensidad que deberá transportar cada cable será:

$$I(A) = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 66 \cdot 10^3} = 218,69 \text{ A}$$

La corriente es tal que no es necesario disponer cables en paralelo. Los coeficientes de corrección son los mismos que para 20 kV:

- $K_T=0,92$
- $K_I=0,88$

Si se toma la sección de 95 mm², que presenta una intensidad máxima admisible de 335 A y se aplican los factores de corrección mencionados anteriormente:

$$I_{\text{real}}(A) = I_{\text{tabla}} \cdot K_T \cdot K_I = 335 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = 271,16 \text{ A} > 218,69 \text{ A}$$

La corriente que el cable puede soportar es superior a la que se precisa, luego el cálculo cumple.

Se tomará el cable de sección 95 mm² como solución para 66 kV.

4.3. Cálculo del cable de servicios auxiliares

Este cable une la posición de celda GIS de 20 kV con el lado de 20 kV del transformador de servicios auxiliares.

En este caso la intensidad que deberá transportar cada cable será:

$$I(A) = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \cdot U(V)} = \frac{160 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 4,62 \text{ A}$$

La corriente es muy pequeña comparada con la corriente máxima admisible que podemos encontrar en la tabla del RLAT para la menor de las secciones (corriente de 120 A para una sección de 25 mm²) por ello, aunque apliquemos los coeficientes de corrección se tomará sección más pequeña con conductor de Al y aislamiento XLPE.

Los coeficientes de corrección son los que modelan la disposición de los cables: tendido en galería con ventilación y una temperatura máxima de servicio de 50 °C :

- $K_T=0,92$
- $K_I=0,88$

Si se toma la sección de 25 mm², que presenta una intensidad máxima admisible de 120 A y se aplican los factores de corrección mencionados anteriormente:

$$I_{\text{real}}(A) = I_{\text{tabla}} \cdot K_T \cdot K_I = 120 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = 97,15 \text{ A} > 4,62 \text{ A}$$

La corriente que el cable puede soportar es superior a la que se precisa, luego el cálculo cumple.

Tomar el cable de sección 25 mm² parece la mejor solución para el conexionado entre la celda GIS de 20 kV y el transformador de servicios auxiliares, sin embargo de acuerdo con el catálogo de PRYSMIAN, la sección comercial mínima que se fabrica es la de 50 mm².

Por ello se tomará la sección de 50 mm² con conductor de aluminio, que cumple con los requisitos de corriente.

4.4. Comprobación por corriente de cortocircuito

Las corrientes de cortocircuito que se consideran en este apartado son las del transformador, no las de la red, ya que se quiere estudiar el comportamiento frente a cortocircuitos de los cables aislados en que conectan los módulos de las celdas con el transformador de potencia.

Las corrientes de cortocircuito que los cables deben ser capaces de soportar durante 100 ms son:

- Cable aislado de 66 kV: 31,5 kA
- Cable aislado de 20 kV: 25 kA

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, t_{cc} , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PVC: sección $\leq 300 \text{ mm}^2$ sección $> 300 \text{ mm}^2$	90 70	363 325	257 229	210 187	162 145	148 132	115 102	93 83	81 72	72 65	66 59
XLPE, EPR y HEPR $U_o/U > 18/30 \text{ kV}$	160	452	319	261	202	184	143	116	101	90	82
HEPR $U_o/U \leq 18/30 \text{ kV}$	145	426	301	246	190	174	135	110	95	85	78

Ilustración 68. Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito (A/mm²) para conductores de Cu. RLAT.

Teniendo en cuenta que los cables tienen aislamiento de XLPE y el tiempo asignado es el mencionado anteriormente, se acude a la siguiente tabla, donde se obtiene una densidad de corriente de 452 A/mm².

Si multiplicamos dicha densidad por la sección de cada cable:

- Para 66 kV $I_{CC}(kA) = \frac{452 \cdot 95}{1000} = 42,94 \text{ kA} > 31,5 \text{ kA}$
- Para 20 kV $I_{CC}(kA) = \frac{452 \cdot 240}{1000} = 108,48 \text{ kA} > 25 \text{ kA}$

Ambos cables cumplen con los requisitos de corrientes de cortocircuito.

5. Cálculo de la protección de sobreintensidad

A continuación se procede al cálculo de las unidades de tiempo (definido e inverso) de la protección de sobreintensidad, descrita en la memoria, de las líneas de 20 kV.

- Unidad de tiempo definido

La unidad de tiempo definido está ajustada para que actúe de manera instantánea ante una falta trifásica en bornes del transformador:

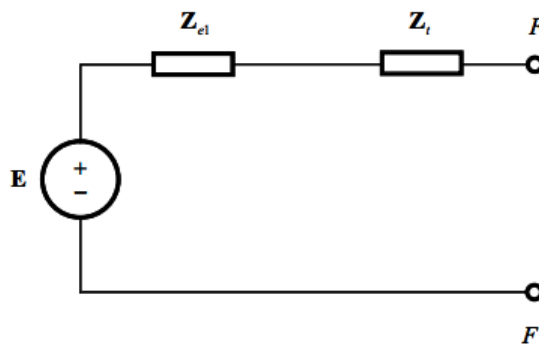


Ilustración 69. Circuito equivalente de la falta trifásica en bornes del transformador.



“ Z_{e1} ” representa la impedancia de la red finita de 1100 MVA, “ Z_t ” es la impedancia de cortocircuito del transformador y “ E ” es la tensión simple del lado de baja del transformador.

$$Z_{e1} = j \cdot \frac{(20 \cdot 10^3)^2}{1100 \cdot 10^6} = j \cdot 0,364 \, \Omega$$

$$Z_t = j \cdot 0.13 \cdot \frac{(20 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = j \cdot 2.08 \, \Omega$$

La corriente de falta es:

$$I_F = \frac{\frac{(20 \cdot 10^3)}{\sqrt{3}}}{j \cdot (0,364 + 2.08)} = -j \cdot 4724.63 \, \text{A}$$

Que vista desde el lado de alta del transformador es:

$$I_F = -j \cdot 4724.63 \cdot \frac{20}{66} = -j \cdot 1431.71 \, \text{A}$$

Ahora se debe calcular la corriente que medirán las protecciones a partir de sus transformadores de medida 1250/5 A:

$$I_F(\text{protección}) = 4724.63 \cdot \frac{5}{1250} = 18.89 \, \text{A}$$

Como el paso de la intensidad de arranque es 0.1 A, la corriente de falta final es de 18.8 A. La intensidad final está comprendida entre los márgenes de la protección (1-160 A).

- Unidad de tiempo inverso

La unidad de tiempo inverso está ajustada para que la intensidad de arranque sea el 140% de la nominal y de tal modo que la protección actúe en 200 ms ante una falta franca bifásica al final de la línea.

Para el cálculo de las magnitudes se emplean las componentes simétricas del Teorema de Fortescue.

“ Z_{l2} ” representa la impedancia de la línea en su totalidad se tiene en cuenta que su reactancia es de 0.4 Ω /km. La línea de media tensión tiene 5 km de longitud

$$Z_{l2} = j \cdot 0.4 \cdot 5 = j \cdot 2 \, \Omega$$

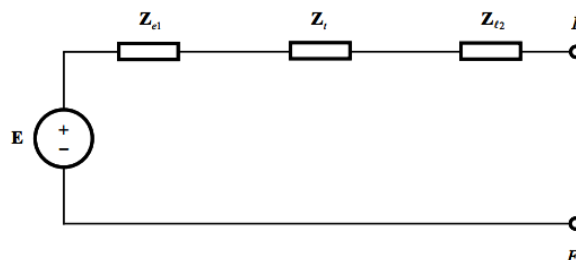


Ilustración 70. Circuito equivalente de la componente directa.

$$Z_1 = j \cdot (2.08 + 2 + 0.364) = j \cdot 4.444 \, \Omega$$

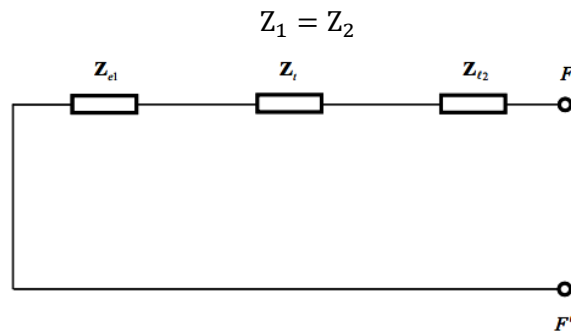


Ilustración 71. Circuito equivalente de la componente inversa.

Una vez se han calculado las impedancias de cada componente, se acoplan los circuitos en paralelo para representar la falta bifásica.

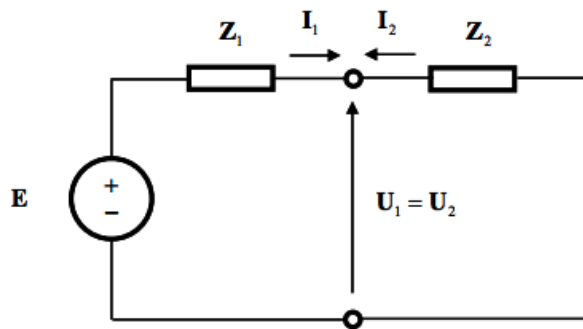


Ilustración 72. Circuito equivalente de la falta bifásica al final de la línea.

La corriente I_1 resulta:

$$I_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2} = \frac{\frac{(20 \cdot 10^3)}{\sqrt{3}}}{j \cdot (4.444 + 4.444)} = -j \cdot 1299.17 \, \text{A} = -I_2$$



Y la corriente de falta resulta:

$$I_F = -j \cdot \sqrt{3} \cdot I_1 = -2250.23 \text{ A}$$

Ahora se debe calcular la corriente que medirán las protecciones a partir de sus transformadores de medida 1250/5 A:

$$I_F(\text{protección}) = 2250.23 \cdot \frac{5}{1250} = 9 \text{ A}$$

La corriente de arranque se ha fijado al 140% de la nominal, que vista desde el lado de las protecciones es:

$$I(>) = 1.4 \cdot \frac{(25 \cdot 10^6)}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} \cdot \frac{5}{1250} = 4.04 \text{ A}$$

Finalmente, se calcula el dial de la hipérbola de tiempo inverso:

$$T = \frac{t}{a} \cdot \left[\left(\frac{I}{I(>)} \right)^b - 1 \right] = \frac{0.2}{0.4} \cdot \left[\left(\frac{9}{4.04} \right)^{0.02} - 1 \right] = 0.008$$

El margen del dial es de 0.05 a 1, como el valor calculado no entra en dicho intervalo, se toma 0.05 como dial.

6. Cálculo de las baterías

Para poder calcular los equipos de baterías, hay que tener en cuenta el diagrama de sollicitaciones de la batería (corriente que se le pide en función del tiempo), la intensidad máxima en régimen permanente que debe soportar el cargador y la tensión nominal (tensión máxima admisible durante la carga y descarga de la batería).

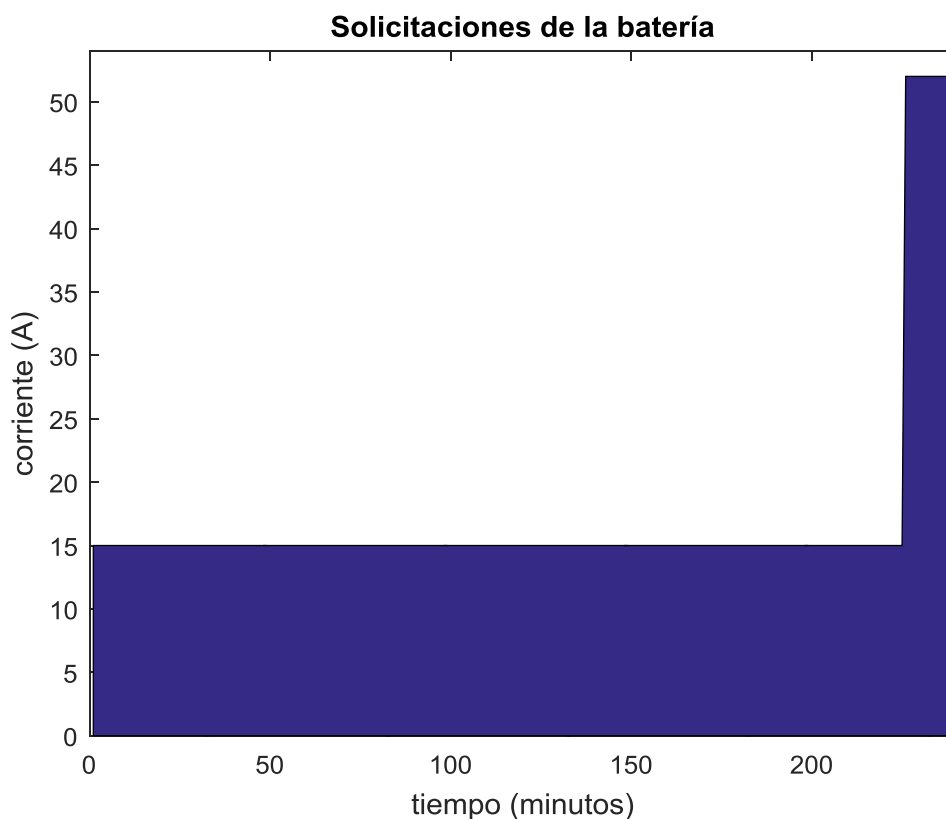
Se va a realizar el diseño para la situación más desfavorable que las baterías deben afrontar, es decir, proporcionar la energía suficiente para los equipos durante la reposición de la subestación tras una falta.

El diagrama de solicitaciones mencionado es el siguiente:

Se supone un funcionamiento continuo proporcionando un valor de 15 A para alimentar las protecciones, equipos de medida y demás elementos vitales de la subestación. A los doscientos veinticinco minutos se ha simulado una falta. El pico, que dura 15 minutos y toma un valor de 52 A, representa el momento en que se produce la carga de muelles de los interruptores.

Todo ello se produce a tensión 125 Vcc y durante un tiempo establecido de 4 horas (240 minutos).

Ilustración 73. Diagrama de solicitaciones de la batería.



La tensión máxima que puede soportar el conjunto es de 137.5 V y cada celda proporciona (dato del fabricante CHLORIDE CENER) 1.45 V.

Primeramente se determina el número de celdas que se necesitarán.

$$N^{\circ} \text{ celdas} = \frac{U_{\text{máx}}}{U_{\text{celda}}} = 95 \text{ celdas}$$

Seguidamente se debe obtener la capacidad (en Ah) de la batería. Para ello hay que tener en cuenta las dos franjas mencionadas de 15 A y 52 A.

$$C = 15 \text{ A} \cdot 3.75 \text{ h} + 52 \text{ A} \cdot 0.25 \text{ h} = 69.25 \text{ Ah}$$

Una vez se tiene este valor, hay que seleccionar el valor comercial inmediatamente superior a éste, entre los que el fabricante ofrece.

Si se acude al catálogo mencionado anteriormente, el modelo LHC 80 (de 80Ah) cumple con los requerimientos establecidos, ya que durante 3h y 45 min puede proporcionar 21 A (se necesitan 15 A) y durante 15 min proporciona 122 A (se necesitan 52 A). Todas las intensidades pueden ser proporcionadas sin bajar de 1.45 V/celda.

Seguidamente, se calcula la fracción de la batería que se usa durante la descarga como:

$$\text{Gasto de la batería} = \frac{69.25}{80} = 86.56\%$$

Para asegurar que, en el improbable caso de no poder reponer la subestación en el primer intento se tenga carga en las baterías para poder controlar los equipos, se tomará un modelo superior para tener mayor capacidad.

El modelo finalmente escogido es el LHC160 (de 160 Ah) del fabricante CHLORIDE CENER, que cumple con los requerimientos establecidos, ya que durante 3h y 45 min puede proporcionar 43.5 A (se necesitan 15 A) y durante 15 min proporciona 275 A (se necesitan 52 A). Todas las intensidades pueden ser proporcionadas sin bajar de 1.45 V/celda.

El gasto de esta batería, para un ciclo:

$$\text{Gasto de la batería} = \frac{69.25}{160} = 43.28\%$$

7. Cálculo de la autoválvula

El cálculo de la autoválvula se realiza a partir de las fórmulas expuestas en el RLAT. Dicho cálculo se basa en determinar una serie de tensiones que luego se comparan con unos valores normalizados que ofrecen los fabricantes y que establecen el tipo de autoválvula a instalar en la acometida de la línea aérea.

Teniendo en cuenta que el equipo que se desea proteger es el transformador de potencia, que tiene un nivel básico de aislamiento de 350 kV ($U_{BIL}=350 \text{ kV}$), se procede de la siguiente manera.



Primeramente se calcula la tensión continua de operación:

$$U_C \geq \frac{U_S}{\sqrt{3}} = \frac{72,5}{\sqrt{3}} = 41,857 \text{ kV}$$

| U_S representa la tensión más elevada de la red de 66 kV.

A continuación se calcula el TOV, que es el valor de la capacidad frente a sobretensiones temporales:

$$\text{TOV}(10 \text{ s}) \geq \left(\frac{k \cdot U_S}{\sqrt{3}} \right) \cdot \left(\frac{T_t}{10} \right)^{0,02} = \frac{1,9 \cdot 72,5}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{1}{10} \right)^{0,02} = 75,95 \text{ kV}$$

Donde los parámetros de la ecuación son:

- k : factor de falta a tierra que depende de la conexión del neutro del equipo a proteger. En el caso que se trata, el neutro del transformador está aislado.
- T_t : tiempo de despeje de faltas a tierra.

Seguidamente se debe tener en cuenta el margen de protección del veinte por ciento (20 %) que establece el Reglamento de Líneas de Alta Tensión, lo que permite obtener la tensión residual:

$$U^*_{BIL} \leq \frac{U_{BIL}}{1,2} = \frac{350}{1,2} = 291,667 \text{ kV}$$

Además, debe tenerse en cuenta el incremento de la tensión residual con la distancia eléctrica entre la autoválvula y el equipo a proteger, ya que debido a reflexiones de las ondas móviles, la tensión en el equipo a proteger es mayor que la tensión residual de la autoválvula, lo que es equivalente a establecer que la protección que la autoválvula brinda al transformador es mayor cuanto menor es la distancia entre ambos elementos.

La distancia eléctrica entre el transformador y la autoválvula en la subestación es de once metros, con ello se tiene que:

$$L = \frac{U_{BIL} - U_P}{2 \cdot S} \cdot V \rightarrow U_P = 145 \text{ kV}$$

L : distancia entre equipos (11 m)

U_{BIL} : nivel básico de aislamiento (291,667 kV)

U_P : tensión residual (kV)

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

V : velocidad de propagación de la onda (150 m/ μ s)

A continuación se establece una comparativa de los valores obtenidos frente a las posibles autoválvulas comerciales. El modelo escogido es el EXLIM R de óxido de zinc, del fabricante ABB.

Variable	Requerido	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3
Corriente nominal	5 kA/10 kA	5 kA	10 kA	5 kA
Clase de descarga	1/2	Clase 1	Clase 2	Clase 1
Tensión nominal	-	72 kV	72 kV	75 kV
Tensión continua de operación	$\geq 41,857$ kV	58 kV	58 kV	60 kV
TOV(10 s)	$\geq 75,95$ kV	79,2 kV	79,2 kV	82,5 kV
Nivel de protección	≤ 145 kV	132 kV	140 kV	145 kV
Distancia de protección	≥ 11 m	11,98 m	11,38 m	11
Margen	$\geq 1,2$	2,65	2,5	2,41

Tabla 16. Autoválvulas candidatas.

Las tres autoválvulas candidatas cumplen con las restricciones calculadas. Se tomará finalmente el modelo de 72 kV y 10 kA para la implantación en la subestación, que corresponde a un término medio entre las tres opciones en cuanto a precio y nivel de protección se refiere.

8. Simulaciones de la autoválvula

Para poder asegurar el correcto funcionamiento de la autoválvula seleccionada se ha decidido hacer una serie de simulaciones numéricas mediante un modelo simplificado.

Las simulaciones consisten en distintos casos de estudio en los que se observa la sobretensión originada en bornes del transformador por la caída de un rayo en un punto de la línea de 66 kV que viene de la subestación de San Bartolomé.

La idea de realizar este estudio surge a partir del artículo *“Protection of power transformers connected to GIS against lightning overvoltages”* elaborado por el IIT en colaboración con Iberdrola, a cargo de los Doctores y profesores del ICAI Luis Rouco y Lukas Sigrist.

En dicho artículo se realiza un estudio detallado de las diferentes configuraciones GIS en 220 kV que la compañía Iberdrola emplea en sus subestaciones en España, y se trata de dilucidar la susceptibilidad de las mismas frente a los efectos de las caídas de rayos.

Este tipo de simulaciones son de gran importancia en el mundo industrial: los pararrayos implican una importante inversión económica y protegen un elemento tan fundamental como es el transformador y es preciso asegurar su correcta actuación en su lugar de implantación.

A la hora de plantear la simulación, se decidió trabajar con el programa ATP Draw, que es el Software que se emplea en el ámbito industrial (a otra escala) para estudiar este tipo de situaciones. El programa permite introducir los datos particulares y marcar las variables que se desee del caso de estudio y genera una serie de ficheros numéricos asociados a las variables que, posteriormente, permite representar gráficamente.

8.1. Procedimiento

El contexto en el que se van a realizar las simulaciones es: un rayo normalizado de 10 kA de pico (tipo 8/20 μ s) cae en la línea aérea de 66 kV a 15 km de la subestación y viaja a la velocidad de la luz hasta el punto de estudio.

El punto de estudio es un condensador, que representa la capacidad parásita paralelo del transformador del lado de Alta Tensión. Esta simplificación se realiza porque tales capacidades responden de manera más rápida a los frentes de onda tipo rayo que el resto de elementos de un modelo típico en T o en L de un transformador.

Las simulaciones que se presentan son:

- a) Caída del rayo, sin autoválvula.
- b) Caída del rayo, con autoválvula y despreciando el cable aislado.
- c) Caída del rayo, con autoválvula y cable aislado.

8.2. Caso I. Caída del rayo, sin autoválvula.

En este supuesto, se estudia la sobretensión producida en el transformador por la caída del rayo, sin contar con el pararrayos.

El modelo de simulación es el siguiente:

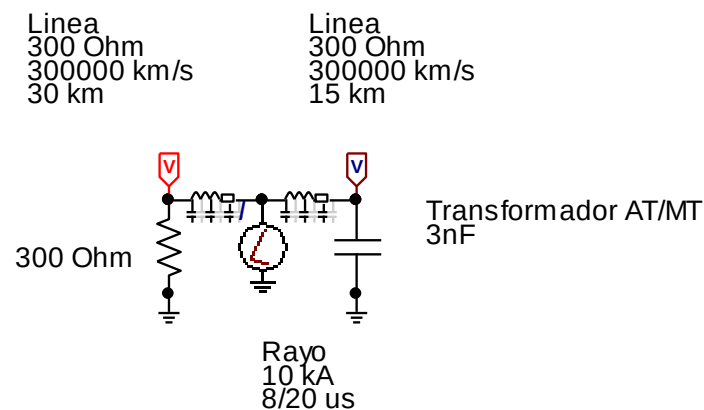


Ilustración 74. Esquema de simulación sin autoválvula.

Se ha puesto una resistencia para evitar reflexiones de onda. El modelo de la línea es de parámetros distribuidos. Se muestra su impedancia característica en la figura junto a las demás características.

En este caso se espera una sobretensión de valor de pico igual a la impedancia característica por la intensidad pico del rayo, es decir un valor aproximado de 3.000 kV.

Por otra parte, se puede calcular el tiempo de viaje como la distancia que recorre la onda viajera (15 km) dividida entre la velocidad de propagación (300.000 km/s para una línea aérea). El tiempo de viaje es de 0.05 ms.

Con todas estas premisas no queda sino observar la representación gráfica de los valores que proporciona la simulación:

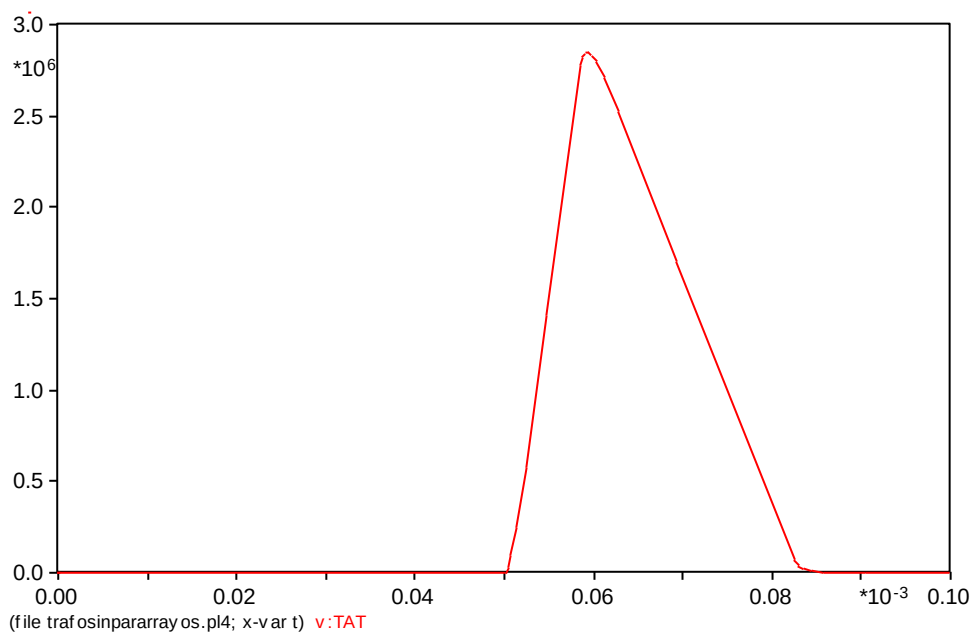


Ilustración 75. Respuesta temporal.

El pico de la sobretensión toma el valor aproximado que se comentaba antes y el tiempo de viaje es el esperado: 0.05 ms.

Es importante ver que en este caso el rayo destruiría el transformador, ya que el valor de la sobretensión (2.875 kV) es muy superior al BIL (325 kV).

Este caso permite valorar los efectos destructivos en los transformadores que tienen las caídas de rayos y hace patente que para el diseño de esta subestación es necesario disponer de una autoválvula.

En los casos siguientes se va a incorporar el modelo comercial de autoválvula de ABB que se calculó y seleccionó, para poder comprobar si la respuesta que ofrece es satisfactoria.

8.3. Caso II. Caída del rayo, con autoválvula y despreciando el cable aislado.

En este supuesto, se estudia la sobretensión producida en el transformador por la caída del rayo, contando con el pararrayos.

El modelo de simulación en el siguiente:

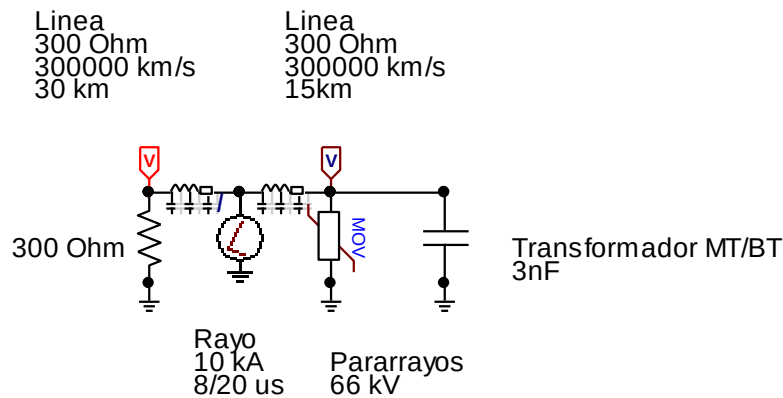


Ilustración 76. Esquema de simulación con autoválvula.

En este caso se espera una amortiguación de la onda a un valor de pico muy inferior a la tensión de 3.000 kV que aparecía antes.

De nuevo, el tiempo en el que aparece la sobretensión debería ser a los 0.05 ms de la caída del rayo y debería tener una duración de unos 0.03 ms.

La respuesta temporal obtenida en la simulación es la siguiente:

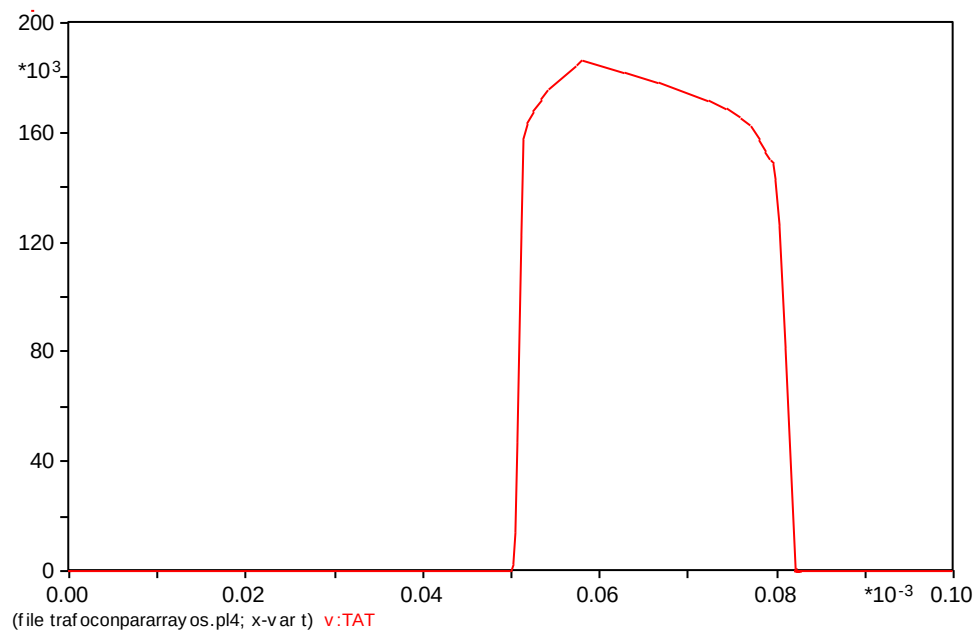


Ilustración 77. Respuesta temporal.

Se puede apreciar cómo, en este caso, el pico del frente de onda de sobretensión no alcanza los 200 kV y por tanto el límite del BIL no es superado y el transformador no sufre daños. A modo ilustrativo, resulta interesante representar juntas la sobretensión que aparece sin pararrayos y la que aparece con pararrayos:

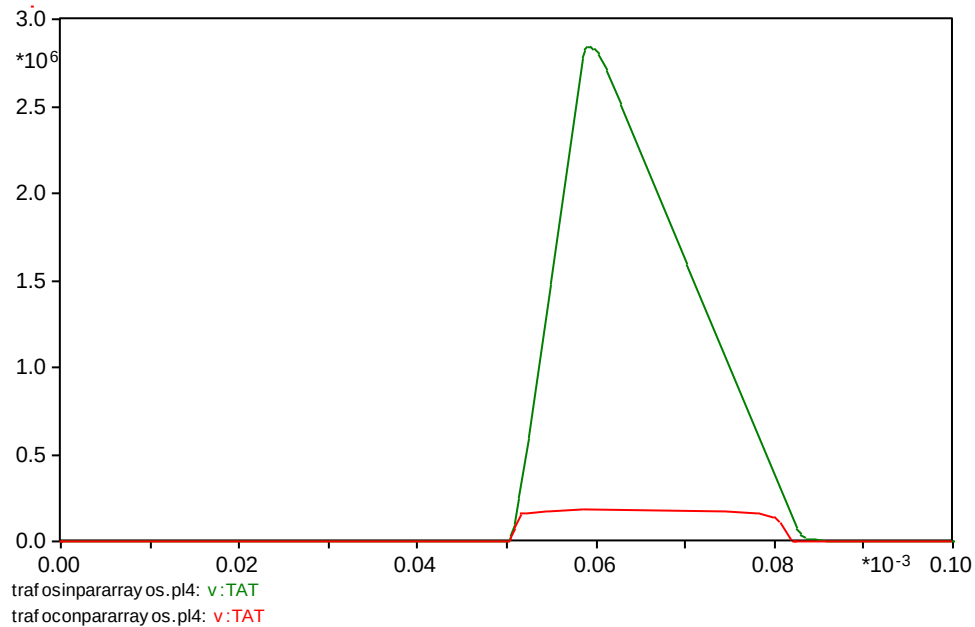


Ilustración 78. Respuesta temporal.

Queda demostrado que la amortiguación de la onda es muy fuerte y la función de la autoválvula escogida es muy satisfactoria.

8.4. Caso III. Caída del rayo, con autoválvula y cable aislado.

En este supuesto, se estudia la sobretensión producida en el transformador por la caída del rayo, contando con el pararrayos y añadiendo el cable aislado que une la celda GIS con el transformador.

El modelo de simulación en el siguiente:

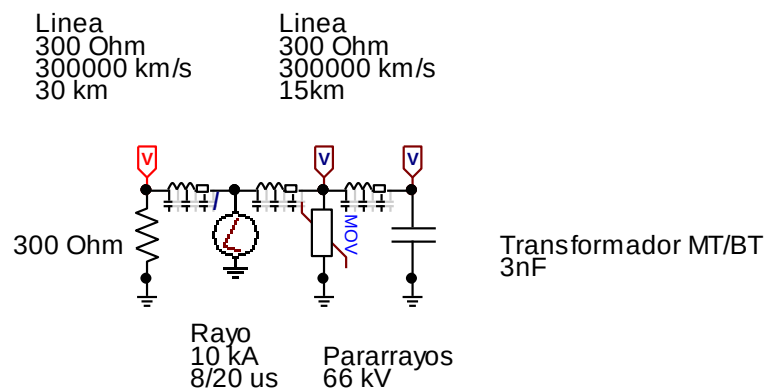




Ilustración 79. Esquema de simulación con autoválvula y cable aislado.

En este caso se espera una amortiguación de la onda muy similar a cuando no se tenía el cable y un valor de pico muy inferior a la tensión de 3.000 kV que aparecía en el caso que no incluía autoválvula.

Asimismo, el tiempo en el que aparece la sobretensión debería ser a los 0.05 ms de la caída del rayo y debería tener una duración de unos 0.03 ms.

La respuesta temporal obtenida en la simulación es la siguiente:

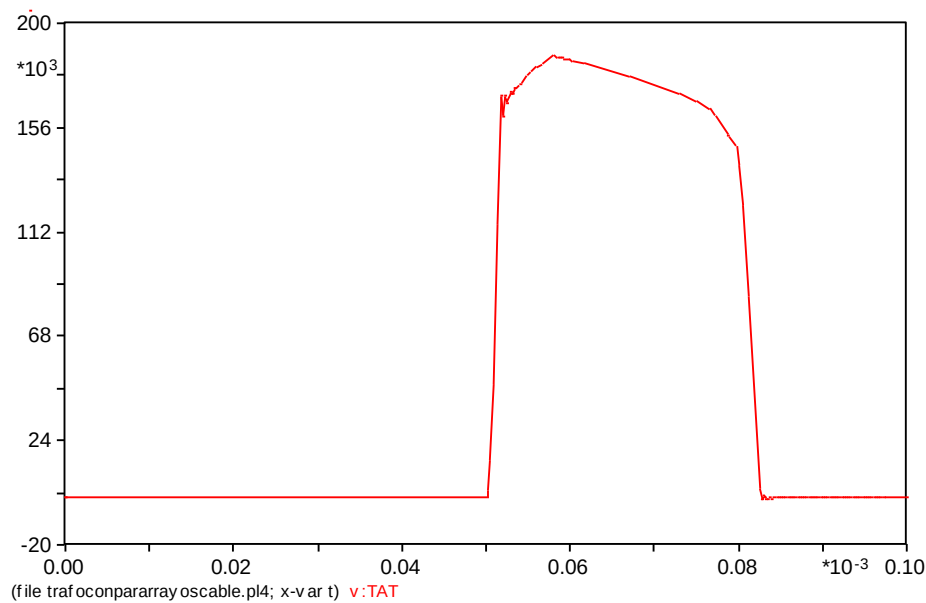


Ilustración 80. Respuesta temporal.

De nuevo, el pico del frente de onda de sobretensión no alcanza los 200 kV y por tanto el límite del BIL no es superado y el transformador no sufre daños.

Sin embargo, aparece un pequeño rizado de alta frecuencia en el frente de onda, con el que antes no se contaba.

La introducción del cable aislado en el modelo de estudio introduce un nuevo aspecto muy interesante desde el punto de vista ingenieril. Puede apreciarse como la forma general de la respuesta temporal que se obtiene en esta simulación es muy similar a la respuesta obtenida en el caso anterior, lo que invita a pensar que la presencia del cable es irrelevante.

La respuesta a esta cuestión es, que no siempre tiene por qué ser así, ya que la forma dependerá de las características del propio cable aislado.

Para poder precisar esta cuestión se presenta un detalle de la parte superior del frente de onda, en el que se representa de manera conjunta la respuesta temporal cuando se estudia la actuación de la autoválvula con y sin cable aislado.

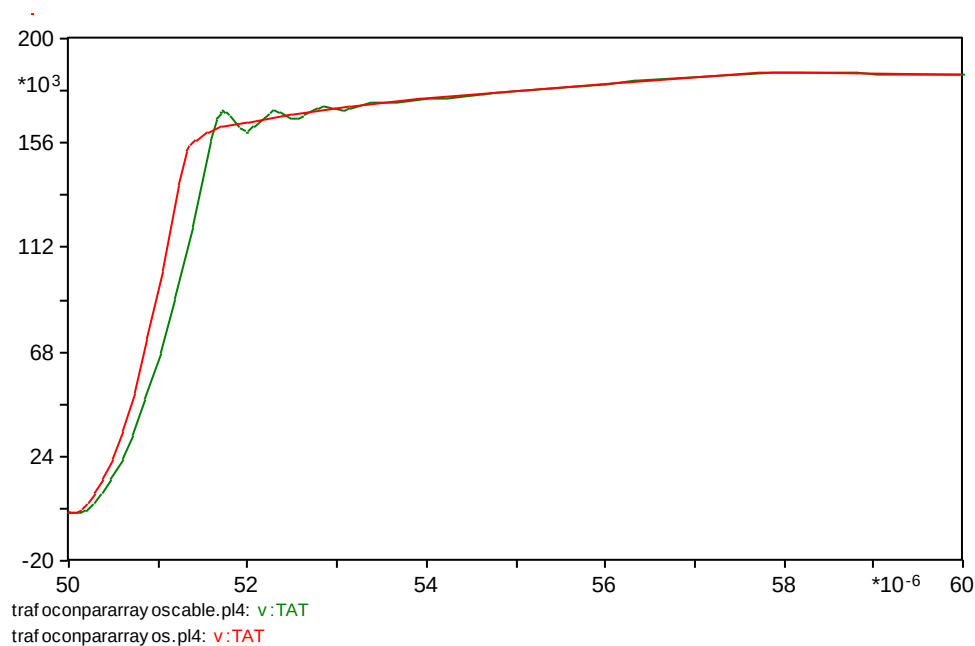


Ilustración 81. Respuesta temporal.

Esta imagen de detalle permite aclarar un aspecto muy interesante. Los cables aislados introducen un rizado en el frente de onda que depende, principalmente, de su inductancia.

Para este caso, la forma no se ve demasiado afectada, y el rizado es de unas decenas de kV. Sin embargo, dependiendo de las propiedades del transformador y de la inductancia del cable el rizado puede ser mucho mayor, superando en algunos casos el límite del BIL y pudiendo ocasionar daños en el transformador.

8.5. Conclusiones de las simulaciones

Aunque se ha abordado el problema desde un punto de vista simplificado, las simulaciones proporcionan una visión gráfica muy buena de la importancia del uso de un pararrayos.

Por otra parte, este estudio ha permitido comprobar que la autoválvula escogida para el servicio en la subestación es correcta y responde de manera satisfactoria ante las caídas de rayos.

Finalmente se debe destacar la importancia de hacer una simulación completa, esto es, incluyendo el efecto del cable aislado, ya que en ocasiones puede implicar cambios muy pequeños en la forma del frente de onda (respetando el BIL) mientras que en otras puede causar rizados, que superpuestos al frente de onda, superen el BIL y causen daños en el transformador.



Capítulo IV

Pliego de condiciones

1. Objeto

El objeto de este capítulo es el establecimiento de los requisitos a los que se deben ajustar las ejecuciones de las obras del proyecto, así como las condiciones técnicas y demás requisitos de control de calidad que deben cumplir los materiales empleados en las mismas.

Las condiciones técnicas y operaciones a realizar que se indican no tienen carácter limitador, es decir, pueden ser complementadas con cualquier tipo de medida adicional, siempre y cuando garanticen la correcta y adecuada ejecución del trabajo.

2. Abreviaturas y símbolos

Se presenta, a continuación, una relación de las notaciones empleadas a lo largo del presente documento con sus correspondientes definiciones.

Abreviatura	Significado
CPC	Condiciones Particulares de Contratación
PGCT	Pliego General de Condiciones Técnicas de Obra Civil
IEC	International Electrotechnical Commission
UNE	Una Norma Española
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
NLT	Normas de ensayo del Laboratorio del Transporte y Mecánica del suelo
MAT	Muy Alta Tensión
AT	Alta Tensión
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
ET	Especificación /es Técnica/s
EHE	Instrucción de Hormigón Estructural
BOE	Boletín Oficial del Estado
PG3	Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes

Tabla 17. Abreviaturas y símbolos.

3. Disposiciones generales

3.1. Seguridad en el trabajo

Conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997, del 24 de Octubre, por el que se disponen las condiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción (al amparo de la Ley 31/1995, del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales) cada contratista elaborará un Plan que deberá ser aprobado por el Coordinador en materia de seguridad y salud nombrado al efecto por el promotor, previo al inicio de las obras.

Además se tendrán en cuenta las siguientes normativas:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- Prescripciones de Seguridad para Trabajos y Maniobras en Instalaciones Eléctricas, edición 2ª revisada (AMYS), o en su caso la última edición o revisión de la misma.
- RD 614/2001 “Disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico”.
- RD 1627/1997 “Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción”.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- RD 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/95, de Prevención de Riesgos Laborales en materia de Coordinación de actividades empresariales.

3.2. Gestión medioambiental

Todas las obras del proyecto se ejecutarán garantizando el cumplimiento de la legislación y reglamentación medioambiental aplicable.

Asimismo se deberán cumplir el conjunto de medidas, planes y acciones que se encuentran reflejados en la “GUÍA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL” del Departamento de Ingeniería de Subestaciones (ISUB) “G-DS.9001”.

3.3. Códigos y normas

Todas las obras del proyecto, además de lo establecido en el presente Pliego de Condiciones, se ejecutarán cumpliendo las normas y recomendaciones (en su última edición ó revisión que les sean de aplicación) y que estén vigentes en el momento del inicio de dichas obras.

Tales normas son:

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión, de Junio de 2014.
- Reglamento Electrotécnico para BT en su última edición de Septiembre del 2015. (RD 842/2002, de 2 de Agosto)
- Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de AT de Marzo de 2008.
- Normas “UNE”, “IEC” y aplicables.
- Instrucciones de carreteras (Secciones de firme 6.1 IC, 6.2 IC y secciones aplicables).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de carreteras y Puentes (PG-3), con sus correspondientes revisiones y actualizaciones, tanto en el BOE como en el propio documento.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la recepción de cementos (RC-08).
- EHE.
- Instrucciones Técnicas del fabricante, aplicables a los equipos y componentes a instalar y correspondientes a almacenamiento, manipulación, montaje, ensayos y puesta en servicio.
- NLT.
- Norma DB-SE-A “Estructuras de acero laminado en edificación”.

3.4. Condiciones para la ejecución por contrata

Serán las que vengan reflejadas en las Condiciones Generales de la Compañía para la contratación de obras y servicios NI 00.13.11 Edición Quinta, de Septiembre de 2008, así como las descritas en las condiciones particulares de contratación.

Además de las condiciones anteriormente indicadas, la contrata está obligada al cumplimiento de la Reglamentación del Trabajo correspondiente, la contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio Familiar y de Vejez, Seguro de Enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicten.

4. Condiciones técnicas de los transformadores de potencia

En este apartado se trata todo lo relativo a los transformadores de potencia, tanto a los principales (aislamiento seco) como a los de servicios auxiliares (aislamiento en aceite mineral).

4.1. Placas de características

El transformador está equipado con las siguientes placas de características

- Placa de características del transformador, según norma UNE-EN 60076-1.
- Placa de características del armario del cambiador de tomas, con esquema del mando y que está situada en la parte interior de la puerta del armario, junto con los datos indicados por la norma UNE-EN 60214.
- Placa de características independiente indicando valores de capacidad (C1 y C2) y tangente de delta o factor de potencia de los bornes de tipo capacitivo A.T. y B.T.
- Cada accesorio del transformador lleva placas de identificación con el número asociado en la lista de material. La tapa del transformador lleva placas de identificación de bornes.

Las placas de es fácilmente accesible para su lectura y está construida con acero inoxidable, escribiéndose de forma indeleble en idioma español los datos asociados.

4.2. Pintura

La pintura del transformador y armarios, está realizada según la Norma UNE 20.175, con acabado exterior gris medio UNE B-109 (Norma UNE 48.103), equivalente RAL 7030.

Las condiciones de garantía de pintura serán las establecidas en el documento contractual del pedido.

4.2.1. Revisión del Diseño Constructivo

La Revisión del diseño constructivo tiene por objetivo fundamental la validación del diseño del transformador, en lo relativo a materiales y comportamientos dieléctrico, electrodinámico y térmico, identificando los puntos críticos y determinando los márgenes de diseño.

La distribuidora garantizará la confidencialidad de la información entregada por el fabricante, tal y como se refleja en el documento contractual del pedido.

Esta actividad, a realizar en un transformador de cada serie de fabricación, constará de tres etapas:

- Análisis y toma de datos

Se solicitarán al suministrador, entre otros, los siguientes datos de diseño del transformador:

- Núcleo magnético: material, dimensiones/pesos, pérdidas magnéticas, corriente de excitación, inducción magnética a 100% y 110 % de la tensión nominal, control de flujo de dispersión (si existe).
- Arrollamientos: tipo y características del conductor, disposición, dimensiones/pesos, pérdidas en carga y pérdidas adicionales.
- Requerimientos Dieléctricos: disposición, dimensiones/pesos del aislamiento, mapa electrostático, esfuerzos eléctricos.
- Requerimientos Electrodinámicos: configuración mecánica, mapa de flujo, reactancias de cortocircuito, esfuerzos mecánicos.
- Estudio de sobrepresiones mecánicas.
- Estudio eléctrico/dieléctrico del borne.
- Lista de planos constructivos y de fabricación.

- Simulación del comportamiento y determinación de los márgenes de diseño:

Con la información obtenida en la toma de datos, se realizará una simulación del comportamiento eléctrico, dieléctrico, electrodinámico y térmico, a efectos de validación de los cálculos del fabricante y se establecerán los márgenes de diseño dieléctrico (frente a los diferentes tipos de sobretensiones), electrodinámico (frente a los diferentes tipos de cortocircuito) y térmico.

- Definición de los ensayos de recepción en fábrica y ensayos especiales

Finalmente, la distribuidora y el suministrador acordarán los ensayos de recepción a realizar (incluyendo posibles ensayos especiales), así como los parámetros de ejecución de los mismos.



Se establecerán los siguientes aspectos:

- Ensayos de recepción y ensayos especiales a realizar para cada una de las unidades de la serie de fabricación.
- Plano de disposición del transformador durante los ensayos.
- Orden de los ensayos.
- Configuración de ensayo, valores aplicar, registros a medir, posición del cambiador de tomas, etc.
- Normativa de aplicación de los ensayos.
- Criterios de aceptación.
- Estructura del informe a entregar por el fabricante.

En función de los resultados y márgenes obtenidos en la revisión del diseño constructivo, así como posibles puntos críticos detectados, se establecerán los controles adicionales necesarios en la fase de inspección de fabricación y de ensayos de recepción.

Por todo ello, el suministrador no podrá comenzar la fabricación de ninguna de las unidades de una serie hasta que no se finalice la Revisión del Diseño Constructivo de la misma, salvo indicación expresa por parte de La distribuidora.

Cualquier modificación en el diseño de las unidades de una serie de fabricación deberá ser analizada y aprobada por la distribuidora.

4.3. Inspecciones del Sistema de Calidad del suministrador

A fin de asegurar el cumplimiento por parte del suministrador de los requerimientos de su Sistema de Calidad, éste deberá:

- Poseer un certificado de calidad de acuerdo con la correspondiente norma ISO de la serie 9000, expedido por un organismo acreditado.
- O bien, tener implantado un Sistema de Calidad que recoja como mínimo los puntos definidos en este apartado. La concesión del pedido se supeditará al previo examen de dicho Sistema (con cargo al suministrador).

La distribuidora, o la Entidad de Inspección que designe, se encargarán del control y verificación del cumplimiento de dichos requisitos, de la conformidad del Sistema con lo especificado en este apartado, así como de la adecuación del suministro con los requerimientos que se recogen en esta especificación de pedido.

5. Ensayos de recepción en fábrica

La distribuidora y el suministrador establecerán, con la debida antelación, los ensayos de recepción a realizar, según lo dispuesto en el punto c) del apartado 4.2.1. Revisión del Diseño Constructivo.

Con carácter general, los ensayos de recepción que se enumeran a continuación, estarán incluidos en el alcance del suministro, se realizarán en presencia de La distribuidora, en el orden indicado y de acuerdo a los requerimientos indicados en el presente documento y los establecidos adicionalmente tras la Revisión del Diseño Constructivo.

Salvo indicación expresa en contra, no se comenzará con los ensayos de recepción en fábrica si el suministrador no ha emitido el informe final de fabricación.

En cualquier caso, la distribuidora se reservará el derecho de incluir otros ensayos adicionales, cuya definición técnica y valoración económica se realizaría aparte.

En todos los ensayos de recepción citados, el transformador estará equipado con todos sus accesorios, de la misma forma que en el momento de su puesta en servicio, y cualquier excepción deberá ser aprobada expresamente por la distribuidora.

Antes del comienzo de los ensayos deberá realizarse la comprobación sobre el plano constructivo de las dimensiones y disposición del transformador y de todos sus accesorios.

6. Procedimientos tras la finalización de ensayos

Al finalizar los ensayos de recepción en fábrica, la distribuidora y el suministrador firmarán un acta de finalización de ensayos donde se reflejarán el resultado global de los mismos (satisfactorio o no satisfactorio) y los aspectos más significativos ocurridos durante los ensayos.

En caso de fallo, incidencia, perturbación o anomalía durante los ensayos de recepción en fábrica, el suministrador entregará el protocolo con los ensayos realizados hasta el momento de producirse el mismo. Adicionalmente, el suministrador entregará un informe con las causas del problema y las acciones conducentes a solucionarlo. La distribuidora se reserva el derecho a validar todas las acciones correctoras propuestas por el suministrador y estará presente en la ejecución de las mismas.

La información a incluir por el fabricante en el protocolo de ensayos es la siguiente:

- El protocolo de ensayos final entregado a la distribuidora sellado y firmado por el fabricante en todas sus páginas y conteniendo, para cada ensayo, todos registros y resultados obtenidos, así como los datos y cálculos intermedios que sean necesarios para repetir en cualquier momento posterior cada ensayo en las mismas condiciones en que fueron realizados.
- El orden de los ensayos así como la fecha y hora de realización de los mismos.



- Para los ensayos de impulso tipo rayo y tipo maniobra se incluirá la secuencia con todos los impulsos realizados. Para cada ensayo de impulso sobre una fase se incluirá un esquema del circuito de ensayo y de medida y se indicarán al menos los siguientes valores: valor de resistencia óhmica del “shunt”, y valor de las resistencias óhmicas limitadoras (si las hubiese).
- Las páginas correspondientes tanto a las medidas de pérdidas en vacío como a las medidas de pérdidas en carga deberán incluir al menos los siguientes datos: tensión media y eficaz medida en cada fase, corriente de vacío medida en cada fase, frecuencia, factor de potencia, y resistencias óhmicas utilizadas para el cálculo de la corrección de las pérdidas, así como los factores de corrección utilizados para su cálculo.
- La parte del protocolo correspondiente al ensayo de calentamiento incluirá en forma tabulada los datos de todas las temperaturas registradas durante el ensayo y de la potencia de pérdidas aplicada. Además se incluirán de forma tabulada todos los valores de las resistencias óhmicas medidos después de la desconexión de la fuente de alimentación al transformador. Se incluirán también los valores utilizados para el cálculo de las pérdidas totales aplicadas.
- En los ensayos de tensión inducida con CA y medida de descargas parciales, se anotará como valor de éstas el máximo valor recurrente durante un intervalo de tiempo no inferior a 10 segundos. Se anotarán los valores de descargas parciales a todos los niveles de tensión, si bien a efectos de superación del ensayo se tendrá en cuenta lo establecido en la norma UNE-EN 60076-3.

7. Expedición, transporte, montaje en campo y pruebas de puesta en servicio

7.1. Autorización de expedición

Antes de proceder a la expedición del pedido, el suministrador deberá obtener de la distribuidora o de sus representantes la Autorización de Expedición. El suministrador se responsabilizará de preparar y cumplir los requisitos de su emisión.

La Autorización de Expedición es un documento en el que queda reflejado:

- Que todos los documentos han sido aprobados.
- Que el Informe Final de Calidad está disponible y aprobado por el Departamento de Calidad del suministrador.
- Que los Informes de desviaciones y no conformidades, tanto del propio suministrador como los emitidos por la distribuidora están cerrados.
- Que todo el proceso de Aseguramiento de Calidad del suministro (a excepción de los Ensayos de Recepción en Campo) ha sido superado satisfactoriamente, y la Unidad de Aseguramiento de Calidad de la distribuidora ha emitido su informe de aceptación.
- Que los equipos del pedido están limpios, protegidos, embalados e identificados correctamente.

Es decir, que se han cumplido con los requisitos contractuales derivados de los requerimientos de esta Pliego de Condiciones.

En caso contrario, la distribuidora podrá emitir una Autorización de Expedición condicional en el caso de encontrarse desviaciones no cerradas o nuevas.

7.2. Transporte y recepción en destino

En caso de ser adjudicado al suministrador el transporte del transformador, éste se realizará con un registrador de impactos electrónico, debidamente instalado y protegido.

El registrador de impactos cumplirá con lo especificado en el apartado correspondiente.

En caso de que se registren impactos o se detecte alguna anomalía física como consecuencia del transporte, el ofertante adjudicatario será responsable de la realización de todas las pruebas e inspecciones necesarias, siendo el coste de estos ensayos a cuenta del suministrador.

La distribuidora o su representante inspeccionará el pedido en el lugar de destino comprobando el estado del mismo y su funcionamiento así como verificando la documentación que le acompañe.

Realizadas las pertinentes comprobaciones se emitirá el correspondiente Certificado de Recepción.

7.2.1. Montaje en campo y pruebas de puesta en servicio

Los requisitos relativos al montaje, incluidos en el alcance del suministro, comprenderán los aspectos siguientes:

- El suministrador presentará un plan de ejecución del montaje que será aprobado por La distribuidora previamente al inicio del montaje.
- El suministrador será responsable del montaje completo del transformador con todos sus accesorios, quedando éste dispuesto para las pruebas en carga. La distribuidora designará un Coordinador para los trabajos de montaje en campo.
- Desde el inicio del montaje, el suministrador se hará responsable de todos los materiales y accesorios a montar (equipo completo).
- La distribuidora facilitará gratuitamente agua y energía eléctrica para uso del suministrador.
- La distribuidora exigirá el cumplimiento de las Normas de Seguridad vigentes y, en concreto, será de obligado cumplimiento el Plan de Seguridad para trabajos en la distribuidora, de cuyo documento se dará una copia en el montaje. El suministrador será responsable de la Seguridad de las Personas y de la Instalación.
- Pruebas funcionales, a realizar con posterioridad a los ensayos de recepción en campo:
- Grupo de conexión y polaridad en el transformador y en transformadores de intensidad.
- Ensayo de funcionamiento en cabina de ventilación y alarmas y de aparatos de protección.
- Ensayo de funcionamiento del cambiador de tomas en carga.
- Comprobación para la puesta en marcha, incluyendo puesta en tensión veinticuatro

7.3. Lista de repuestos

El Fabricante propondrá y cotizará la cantidad de piezas de repuesto para cinco años de operación normal. La distribuidora decidirá para cada transformador los repuestos a solicitar en cada pedido.

Así, deberán listarse tanto las piezas de repuestos recomendadas como las herramientas especiales que se requieran, indicando los precios unitarios correspondientes.

En cualquier caso, para los transformadores objeto de la presente documentación, se prevén los siguientes repuestos:

- 1 borne de A.T.
- 1 borne de neutro de A.T.
- 1 termómetro
- 1 indicador de flujo

7.4. Normas

Las normas de aplicación a la construcción y suministro del transformador objeto del presente documento serán las indicadas en las normas de la Propiedad.

Los equipos auxiliares y accesorios del transformador cumplirán las normas UNE que les sean de aplicación.

7.5. Documentación

7.5.1. Documentación a presentar una vez formalizado el contrato.

El suministro del transformador incluirá la presentación a La distribuidora, por sextuplicado, en castellano e indicando la referencia del número de pedido y Subestación de destino del transformador, de la documentación que se indica a continuación, incluyendo todas las placas de características una vez completados los ensayos de rutina. La documentación referente a planos, placas de características y esquemas de control se enviará además en soporte informático, en archivos de AUTOCAD y PDF. Adicionalmente se entregará un fichero con la placa de características del transformador escaneada. El resto de la información entregada en papel, se entregará igualmente en formato PDF.

Asimismo, esta documentación deberá contener información suficiente para que el propietario prevea los requerimientos de la obra civil y los trabajos de diseño relacionados con el mismo.

La documentación se facilitará en la forma y en los plazos siguientes:

- A los 15 días, como máximo, de la recepción del pedido, Programa de Fabricación y Programa de Puntos de Inspección definitivos, para aprobación y/o comentarios por parte de la distribuidora.
- Copia controlada del Manual de Calidad en la versión vigente y que deberá recoger aquellos comentarios que la distribuidora haya realizado. (Solo se entregará una copia de este documento).
- Procedimientos de prueba y ensayo, incluyendo transporte, descarga, montaje, llenado a pleno vacío en todos los componentes y puesta en servicio, así como de los ensayos de tipo, rutina y especiales a realizar sobre el transformador.
- Una vez al mes, actualización del Programa de Fabricación.
- A los dos meses, como máximo, de recibido el pedido, se entregará para aprobación por La distribuidora, la siguiente documentación:
 - Plano de dimensiones de transformador y lista de material asociada, en sus diferentes configuraciones de acometida para primario.
 - Plano de dimensiones y pesos en orden del transporte del transformador.
 - Plano de detalle de cada borne tipo convencional, donde aparezca el tipo de terminal de conexión a línea o neutro.
 - Planos de las diferentes placas de características solicitadas.
 - Cálculos definitivos justificativos de cortocircuito, tanto dinámico como térmico para cada arrollamiento. Con objeto de validar los citados cálculos de diseño ante cortocircuito del transformador, y siguiendo la recomendación de la norma UNE-EN 60076-5, el suministrador, sobre la lista de referencias de transformadores ensayados a cortocircuito, confirmará si por diseño se pueden considerar máquinas similares a las ofertadas para la distribuidora, según los requisitos establecidos en el Anexo A de la citada norma.
 - Informe justificativo donde el fabricante, teniendo en cuenta las intensidades nominales y de cortocircuito definitivas, confirmará la aptitud térmica y dinámica de los terminales ofertados y del cambiador de tomas en carga.
 - El fabricante indicará la intensidad permanente admisible en devanado terciario a frecuencia industrial y ante armónicos de secuencia homopolar en primario y secundario, cuando los neutros del transformador estén conectados rígidamente a tierra. Para corrientes superiores a estos valores, se indicará la duración admisible.
 - Informe justificativo de las dimensiones y necesidad de todas las aberturas practicadas en la envolvente para garantizar las operaciones de montaje y posterior mantenimiento.
 - Informe donde el fabricante indicará los puntos de anclaje del transformador una vez posicionado el transformador en su nicho, así como los requisitos de obra civil necesarios para su implantación, junto con la previsión de cargas al suelo.
 - Informe justificativo de las formas de onda estimadas durante el transitorio de energización en arrollamiento primario y terciario (energización desde A.T.) y arrollamientos secundario y terciario (energización desde B.T.).
 - Curvas de sobreexcitación temporal del núcleo magnético.
 - Curva característica que relacione aceleraciones máximas y tiempo admisible de las mismas, junto con las inspecciones y pruebas a realizar en caso de superarse los citados valores durante el transporte.
 - Medidas tomadas para el control del flujo de dispersión.
- Quince días antes de realizar los ensayos, carpetas con toda la documentación definitiva del transformador, donde aparezca la ficha técnica del Anexo 2 cumplimentada.



- Al terminar los ensayos de recepción, copia del protocolo de ensayos del transformador.
- Asimismo, el fabricante realizará fotos en color (aproximadamente unas 15 fotos en cada colección), en tamaño aproximado DIN A-4, del transformador en las diversas fases de fabricación y el transformador totalmente terminado.
- Si durante los ensayos de recepción alguno de los elementos o esquemas del transformador sufriesen modificación, deberá actualizarse para su inclusión en la documentación definitiva.
- La documentación definitiva comprenderá los siguientes apartados, tanto en formato papel, como en formato electrónico (AUTOCAD, PDF):
- Planos definitivos para construcción con la información sobre disposición general, dimensiones, pesos, ruedas, centro de gravedad, situación y disposición de regletas de bornes, desglose de piezas, lista de materiales, etc.
- Planos definitivos de los esquemas eléctricos en edición "As-Built", incluyendo numeración de bornes y lista de aparatos y descripción detallada de todos los aparatos de protección, interruptores, contactores, etc.
- Lista de despiece, con la numeración de código de fabrica de las partes divisibles de las máquinas que pueden ser sustituidas, "in situ", por mantenimiento o reparación.
- Planos definitivos de los bornes pasatapas primarias, secundarias y terciarias, indicando dimensiones, pesos, líneas de fuga, etc.
- Instrucciones de montaje, operación y mantenimiento.
- Placas de características con todos sus datos
- Protocolos de ensayos de tipo, así como los protocolos del conjunto de ensayos individuales a los que se haya sometido al transformador.
- Lista de Embarque con los datos de todos los bultos que componen el transformador. Los bultos deberán estar rotulados.

7.6. Documentación de transporte

Esta documentación, a facilitar por el suministrador a la distribuidora en todo caso y al transportista, si éste ha sido elegido por aquel, tendrá el siguiente alcance:

- A los dos meses de recibido el pedido, se deberán entregar los planos de dimensiones, así como la lista de materiales y un código de fabricación de las partes divisibles de las máquinas con las dimensiones y pesos nuevamente estimados.
- "Planning" de fabricación, que deberá ser confirmado, una vez transcurrido un tercio y dos tercios del plazo inicialmente estimado.
- Un mes antes de la fecha prevista de entrega, se deberá presentar una lista detallada de todos los accesorios en forma de bultos, que deberán estar debidamente rotulados para su fácil identificación.
- Un mes antes de la fecha prevista de entrega, se presentará la especificación de almacenamiento, embalaje y transporte, que deberá ser aprobada por La distribuidora.
- Además, y en caso de que el suministrador gestione el transporte del transformador, deberá facilitar los siguientes datos:
- Características del vehículo o vehículos, así como los materiales (instrumentos, herramientas, etc.) a emplear en el transporte.
- Itinerarios previstos (origen – destino), que deberán disponer las correspondientes autorizaciones administrativas.
- Un mes antes de la fecha de entrega, el transportista deberá entregar un programa de las operaciones a realizar y del tiempo empleado en cada una de ellas.
- Documentos que acrediten que el transportista posee la experiencia necesaria para

realizar el trabajo encomendado, cumpliendo y exigiendo las Normas de Seguridad e Higiene al personal de su dependencia.

8. Condiciones generales de las celdas GIS de AT y MT

8.1. Características técnicas constructivas

El diseño de las celdas garantiza en todo momento que las operaciones normales de explotación, de control y de mantenimiento puedan efectuarse sin riesgo para el personal.

El equipo blindado en SF6 está compartimentado adecuadamente para evitar que un arco interno en uno de los compartimentos pueda extenderse a los demás. El mismo razonamiento se aplica para una eventual fuga de gas, que solo afectará al compartimento en cuestión y no a los demás.

Cada compartimento dispone de elementos de llenado y vaciado que serán accesibles y fácilmente practicables, así como de un cierre de vigilancia de presión del gas.

Todos los materiales de construcción y características idénticas, susceptibles de sustitución, deberán ser intercambiables.

Por tanto, el fabricante será responsable de suministrar los soportes estructurales, así como la totalidad del cableado entre celdas y entre éstas y el armario de centralización. El fabricante deberá proponer a la aprobación de la Propiedad su solución para la ejecución de dicho cableado, que en cualquier caso cumplirá:

- Las especificaciones técnicas de la Propiedad sobre conexionado de cables, señalización, etc.
- Disposición física y tendido mediante los elementos necesarios, bandejas, etc. que permitan disposiciones ordenadas de cables sin que se dificulten los procesos de mantenimiento de las celdas, sustitución de compartimentos y módulos incluyendo la envolvente, y la accesibilidad del personal a los elementos que la requieran.

El tendido del cableado de interconexión entre el cuadro de control de la celda y el bastidor de control y protecciones se efectuará de la forma más independiente posible entre celdas. Esto es, la opción preferente es que el tendido entre celda y bastidor se realice por bandejas o canales dedicados por posición y con las longitudes mínimas de tendido. Si este criterio entra en conflicto con la movilidad de las celdas o parte de éstas, en los procesos de montaje o en mantenimiento (procesos de sustitución), el suministrador deberá informar a la Propiedad de sus requerimientos.

Cuando exista un cruce del tubo GIS (fluoducto) por una pared del edificio, el fabricante informará de las dimensiones de la apertura requerida y suministrará los elementos necesarios que garanticen su cierre y estanqueidad, tanto para las salidas existentes a la puesta en servicio de las celdas como para salidas futuras de reserva.

8.2. Características constructivas de los módulos

El plazo garantizado suministro de módulos, sub-módulos y cualquier otro repuesto, compatibles en dimensiones y resto de características y con los ahora ofertados será de 20 años.

El conexionado de señalización, medidas y control se realizará por conectores.

9. Transformadores de tensión e intensidad

Según las normas de la Propiedad, se requerirá, para previsión de su posible uso en casos excepcionales, una verificación y marcado en origen de los transformadores de tensión que garantice la corrección de las medidas tomadas, para cumplimiento de la legislación vigente respecto de la medida oficial en los puntos frontera con la red de transporte, y la consiguiente aprobación del modelo por el organismo administrativo competente en cada caso.

10. Calentamiento

El calentamiento de los elementos o materiales que forman parte de la aparamenta bajo envolvente metálica aislada en SF6 no deberá exceder los límites prescritos en las normas UNE EN 60694, 62271-203 .

El calentamiento de puntos de la envolvente, accesibles al operario en el curso normal de sus trabajos no superará los 30°C.

11. Envolvente

La envolvente será metálica (aleación ligera de aluminio), amagnética, y deberá presentar una rigidez mecánica tal que asegure el perfecto funcionamiento de todas las partes móviles situadas en su interior. La envolvente deberá soportar el vacío en el proceso de llenado de gas.

Todas las superficies exteriores de la envolvente deberán estar protegidas contra los agentes externos de forma que se garantice una eficaz protección anticorrosiva.

Toda la tornillería, los resortes y elementos auxiliares serán de materiales no oxidables, de acuerdo con lo indicado en las normas UNE 37507 y UNE-EN ISO 1461.

Los elementos metálicos en contacto entre sí deberán ser de tal naturaleza que no se produzca corrosión debida al par galvánico que pueda aparecer en presencia de humedad.

Los diferentes compartimentos de alta tensión que tengan que soportar la presión de gas estarán acordes con lo indicado en las normas UNE EN 60694, 62271-203.

12. Defectos internos

Ante la posibilidad de que se produzca un cortocircuito en el interior de la envolvente del gas, que conduzca a la destrucción del compartimento de la celda, se adoptarán las condiciones constructivas necesarias para garantizar la seguridad de las personas que puedan encontrarse en su proximidad. Se deberá cumplir lo indicado en la norma UNE EN 60517, 62271-203.

La oferta deberá describir las disposiciones y medidas adoptadas para prevenir los arcos debidos a los defectos internos y para limitar su duración y consecuencias.

Los efectos del arco interno deben quedar limitados al compartimento en cuestión. Una vez separado y aislado el compartimento, deberá ser posible restablecer el servicio del resto de la instalación.

13. Compartimentación

Cada una de las celdas de la subestación estará dividida en módulos con encapsulado monofásico para los diferentes elementos de maniobra o medida de la subestación (interruptor, seccionadores, transformadores de medida, etc.), admitiéndose el encapsulado trifásico para los conductos. A su vez, cada celda estará dividida en compartimentos estancos, conformados por uno o varios de estos módulos.

Cada compartimento dispondrá de válvulas para el vaciado y carga del gas.

La compartimentación no deberá restringir las posibilidades de mantenimiento.

No se admitirá que exista una interconexión a través de tubos que conecten los compartimentos unipolares entre sí; se requerirá un manodensostato por compartimento, uno por fase. La estanqueidad de los compartimentos estará garantizada. En cualquier caso, la fuga anual admisible de la aparamenta bajo envolvente metálica, de forma conjunta y por compartimento, será inferior al 0.5%. La denominación de cada uno de los compartimentos de la celda deberá ser la que se indica en el anexo 2 de la especificación ET082 de la Propiedad.



La compartimentación indicada en estos diagramas es de carácter general, otras soluciones se podrán considerar igualmente válidas. Además, se tendrán en cuenta los siguientes criterios de obligado cumplimiento:

- La compartimentación deberá permitir las actividades de mantenimiento y sustitución;
- En caso de celda de salida con fluoducto, se requerirá que los compartimentos del seccionador de salida y el fluoducto sean diferentes.

13.1. Control de densidad

El control de densidad del gas en cada compartimento será realizado mediante densímetros compensados por temperatura, con contactos eléctricos para dos niveles de baja presión: alarma y disparo, que serán accesibles para realizar la lógica de alarmas y disparos de los elementos que corresponda en bastidores de suministro de la propiedad

Los elementos de control de densidad de gas estarán dotados de indicación visual y numérica.

En el caso de compartimento del interruptor de potencia, deberá garantizarse la posibilidad de apertura del interruptor con su poder de corte nominal para el nivel de disparo.

Se instalarán además, en cada compartimento estanco, dispositivos de descarga (discos de ruptura) para limitar el aumento de presión en caso de defecto interno, de forma que se asegure la protección del personal ante esta situación, según la norma UNE-EN 60517, 62271-203.

Los dispositivos de descarga estarán situados, diseñados y orientados de tal forma que la proyección de los citados gases no pueda incidir sobre el personal ni dañar los cables de alta tensión u otra instalación.

13.2. Dilatación

El equipo blindado de SF6 en su conjunto dispondrá de los elementos necesarios para absorber las dilataciones que puedan producirse en el mismo.

13.3. Puesta a tierra

Todos los elementos constitutivos de la envolvente deberán estar conectados a tierra mediante pletinas o cable de cobre o aluminio previstos para la corriente admisible asignada de corta duración.



13.3.1. Cableado e interconexión de armarios

El cableado interno de los armarios de control de las celdas deberá cumplir con la normativa de la Propiedad ET-066 “Procedimiento para el conexionado de cuadros y paneles”, por lo que, alternativamente, y en el caso de suministro de armarios con especificación propia del suministrador, ésta deberá ser sometida a aprobación específica previa de la Propiedad.

Preferentemente se centralizará en la posición de acoplamiento el control de la propia posición, de medida de barras y de los seccionadores de puesta a tierra de barras.

13.4. Accesibilidad

El diseño y construcción de la subestación GIS permite el acceso para tareas de mantenimiento los siguientes elementos:

- Todos los elementos susceptibles de bloqueo mecánico
- Manodensostatos
- Mandos de los seccionadores
- Mandos del interruptor
- Tierras seccionables
- Caja de bornes de secundarios del transformador de intensidad
- Caja de bornes de secundarios del transformador de tensión
- Válvula de llenado y vaciado de gas SF6 de todos los compartimentos
- Cuadros de control local de la celda
- Dispositivos o ventanas de visualización de comprobación de estado de los seccionadores.

Será suministro del fabricante todos los elementos que proceda necesarios para garantizar la accesibilidad: pasarelas, plataformas, escaleras, o cualesquiera otros que proceda para cada solución.

En caso de instalación de pasarelas, estas deberán ser:

- Desmontables parcialmente por tramos, manejables por un máximo de dos personas.
- Seguras a niveles físico y eléctrico.
- Basadas en un suministro industrial.
- Compatibles con los requerimientos de mantenimiento exigidos.

Todas las subestaciones, cualesquiera que sean sus características (sismicidad, celdas con conexionada bornes por lado contrario en directo, etc.) deberán estar diseñadas bajo los requerimientos de accesibilidad.

13.5. Marcas

Cada celda llevará, en lugar bien visible y fijo (no desmontable para evitar errores en la instalación), una placa de características en la que sindicarán, con letra indeleble y fácilmente legible, el nombre o marca del fabricante, el año de fabricación, y el número de serie o designación que le sea aplicable.

Deberá llevar en lugar bien visible, y con el tamaño adecuado, el esquema eléctrico de las funciones que contiene el módulo, realizado en disposición física orientativa de su emplazamiento y con su identificación en esquemas y documentación identificación acorde con normalización de identificación la Propiedad).

Todas las placas estarán realizadas en materiales existentes y las inscripciones serán indelebles estarán redactadas, al menos, en idioma español.

13.6. Montaje y puesta en servicio

Los requisitos relativos el montaje, incluidos en el alcance de los suministros que se requieran comprenderán los aspectos siguientes:

- Descripción de los elementos separados a montar por posición.
- El suministrador presentará un programa de actividades, plazos y recursos para la ejecución del montaje que ser aprobado por la Propiedad previamente al inicio del montaje.
- El suministrador se compromete a presentar a aprobación de la Propiedad un programa de pruebas, protocolos y procedimientos completos incluyendo orden de actuaciones, equipos utilizar, lista de operaciones y entornos de valores admisibles sin los que no será aceptado el inicio de las pruebas, que en todo caso efectuará bajo su responsabilidad y con presencia de personal de la Propiedad.
- Asimismo, el suministrador será responsable del montaje completo de las celdas con todos sus accesorios hasta el cuadro de control de suministro. Como alternativa, y en un futuro, se prevé que el suministrador tan sólo lleve a cabo las labores de supervisión de montaje, puesta en servicio y pruebas en campo.
- El suministrador supervisará el montaje completo de los interfaces con las salidas en cable y aprobará, junto con los suministradores dicho cable y terminal, la conexión realizada.
- La Propiedad designará a un coordinador para los trabajos de montaje en campo.
- Asimismo, el suministrador designará un coordinador como interlocutor válido en campo.
- El suministrador presentará relación de medios materiales y humanos que se van a emplear. En caso de contratación del montaje, la Propiedad facilitará gratuitamente agua y energía eléctrica para uso del suministrador.
- El suministrador supervisará los trabajos de acondicionamiento de la instalación para el montaje de las celdas. El suministro incluirá los elementos necesarios para el montaje, fijación y su colocación.
- El suministrador proveerá de los tipos de alta tensión que sean necesarios para la prueba en campo de las celdas suministradas. En su oferta valorará asimismo el coste del transporte hasta y desde la instalación.
- El suministrador deberá realizar las interconexiones de los sistemas de mando, medida, protección, control local y telecontrol que se precisen entre celdas.



- la Propiedad exigirá el cumplimiento de las normas de seguridad vigentes, en concreto, será de obligado cumplimiento el plan de seguridad para trabajos elaborado específicamente para la instalación de referencia, conforme a lo dispuesto en la legislación vigente aplicable y del que será una copia del montaje. El suministrador será responsable de la seguridad de las personas y de la instalación
- El montaje se considerará finalizado cuando, a juicio del suministrador y de la Propiedad, se hayan cumplido todos los requisitos de montaje y se hayan ejecutado por el suministrador los ensayos correspondientes, en campo, y con los medios necesarios.
- Una vez finalizado el montaje, el suministrador deberá retirar de la instalación todas las botellas de gas SF₆.

14. Pruebas y ensayos

Los ensayos serán atestiguados por los representantes de la Propiedad y del suministrador, a menos que el primero renuncie explícitamente y por escrito, a estar presente en los mismos y sin que esta condición exima al suministrador de su responsabilidad de cumplir plenamente con esta especificación.

El suministrador deberá avisar a la Propiedad por escrito, cuatro semanas antes de la fecha de comienzo de los ensayos.

La Propiedad se reserva el derecho de efectuar por sí misma o a través de subcontratación, auditorías de calidad en las diferentes etapas de fabricación de los módulos.

15. Ensayos de tipo

Los ensayos de tipo se realizarán de acuerdo con lo indicado en la Norma UNE-EN 60517, y comprenderán, como mínimo:

- Ensayos de nivel de aislamiento, incluyendo medida de descargas parciales y ensayos a frecuencia industrial en los circuitos auxiliares;
- Ensayos de calentamiento y medida de la resistencia del circuito principal;
- Ensayo de corriente de corta duración y valor de cresta admisibles;
- Verificación de los poderes de cierre y corte;
- Ensayos de funcionamiento mecánico;
- Verificación del grado de protección;
- Verificación de la resistencia mecánica de la envolvente.

Será suficiente la presentación de un certificado acreditativo de haberse realizado en otro conjunto del mismo tipo, en el que conste una descripción de las características del equipo.

16. Ensayos en fábrica

Adicionalmente a lo expuesto en el apartado anterior para los ensayos de mantenimiento, el resto de los ensayos en fábrica se realizarán de acuerdo con lo indicado en la UNE – EN 60517:1998 y comprenderán como mínimo:

- Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial del circuito principal.
- Ensayos dieléctricos de los circuitos auxiliares del mando.
- Medida de descargas parciales.
- Ensayo de presión de las envolventes.



- Ensayo de detección de fugas de gas
- Ensayo de funcionamiento mecánico.
- Ensayo de los dispositivos auxiliares.
- Verificación de la exactitud del cableado.

17. Ensayos de mantenimiento

Una vez finalizados el resto de ensayos, el fabricante deberá efectuar en fábrica los siguientes ensayos, que se definen como ensayos de mantenimiento, y que por no encontrarse dentro de la normalización existente, deberán llevarse a cabo según procedimiento a acordar entre el suministrador y la Propiedad, que deberá ser posteriormente elaborado por el suministrador.

Se definen como ensayos de mantenimiento los realizados para los equipos suministrados y obtenidos en plataforma, en condiciones similares de montaje y con el mismo:

- número de personas;
- conjunto de herramientas y elementos de manutención;
- procedimientos;
- equipos de registro y ensayo que se podrán utilizar en campo para su repetición, una vez se encuentre el equipo en servicio en la instalación.

Estos ensayos deberán repetirse en campo una vez finalizado el montaje, con los equipos del mismo tipo a los empleados en fábrica. Los datos obtenidos se compararán con los de fábrica y servirán como referencia para el mantenimiento predictivo durante la vida de las celdas.

Los registros magnéticos de la totalidad de los ensayos de mantenimiento realizados serán suministrados a la Propiedad en soporte informático, con el correspondiente software para su tratamiento y licencia de utilización, de ser necesaria, si este fuera diferente al habitualmente empleado por la Propiedad.



18. Listado de actuaciones en la revisión anual

18.1. Mantenimiento predictivo

Se realizará con el método termo-gráfico de infrarrojos.

18.2. Mantenimiento preventivo

18.2.1. Seccionadores

- Mandos
 - Comprobación del estado de muelles y amortiguación.
 - Comprobación del estado del motor y finales de carrera.
 - Comprobación de la puesta a tierra del mando.
 - Medición del aislamiento contra tierra y entre cables.
 - Comprobación de contactos auxiliares.
 - Actuación de mandos. Revisar accionamiento manual y motorizado.
 - Comprobación de contactores y bobinas de actuación.
 - Comprobación de los equipos señalizaciones.
 - Comprobación de fugas de SF6 en juntas dinámicas.
- Transmisiones
 - Limpieza y engrasado de reenvíos.
 - Revisión de las articulaciones.

18.2.1.1. Conexiones

Comprobación del apriete conexiones de entrada y salida de A.T.

- General
 - Comprobación de las unidades atornilladas.
- Pruebas funcionales
 - Funcionamiento de apertura y cierre.
 - Comprobación de la alineación verticalidad y ajuste.
 - Comprobación del ángulo de apertura.
 - Revisión de los bloqueos mecánicos y enclavamientos eléctricos.
 - Comprobación de la presión de los contactos.
 - Medición de la resistencia de aislamiento.
 - Medición de la resistencia de contacto.
- Puesta a tierra
 - Comprobación del contacto separación.
 - Comprobación de la trenza de conexión a tierra.
 - Comprobación del elemento de compensación mecánica.
 - Comprobación de las articulaciones.
 - Comprobación del enclavamiento eléctrico.
 - Comprobación de la presión de contacto.
 - Comprobación del bloqueo y enclavamientos mecánicos.
 - Verificación de funcionamiento.



18.2.1.2. Interruptores

- Mando resorte
 - Comprobar regletas de bornas y cableado
 - Comprobar indicación mecánica de posición
 - Comprobar enclavamientos mecánico
 - Comprobar enclavamientos eléctricos
 - Comprobar relés y contactos auxiliares
 - Revisión limpieza y engrase de mecanismos
 - Comprobar bobinas de maniobra
 - Engrase de gatillos y sistema de retención
 - Comprobar deslizamiento de volante en mm.
 - Amortiguador del mando (niveles y pérdidas)
 - Nivel de aceite en caja de engranaje
 - Comprobar tornillos jaula de resorte
 - Comprobar resortes de enganche
 - Comprobar contactores y bobinas de maniobra
 - Contactos final de carrera parada de motor
 - Comprobar bloques o mecanismo de enganche y desenganche
 - Comprobar amortiguadores
 - Comprobar articulaciones
 - Comprobar fugas de SF6 en juntas dinámicas
 - Comprobar estado mecánico de las cámaras
 - Comprobar válvulas
 - Comprobar pasatapas y juntas
 - Comprobar puesta a tierra
- Conexiones
 - Comprobar uniones atornilladas
 - Comprobar par de apriete de conexiones de entrada y salida y entre las cámaras
- General
 - Pintar cabecillas y bases. Estado general de pintura
 - Corregir oxidaciones y pintar cuando proceda
 - Limpiar aisladores y revisar su estado
 - Comprobar zonas de pegado de porcelanas
 - Comprobar presión de SF6
- Pruebas funcionales
 - Medición de resistencia de los contactos
 - Medición de sincronismo entre fases. Diagrama recorrido, sincronismo, penetración
 - Medición de tiempos de maniobra. Diagrama velocidad de conexión/desconexión
 - Medición de resistencia de aislamiento
 - Presión de alarma baja presión
 - Verificar accionamiento manual y eléctrico
 - Anotar número de maniobras
 - Comprobar resistencia de caldeo y termostato



18.2.1.3. Transformadores de medida

- Conexiones
 - Comprobación del apriete conexiones de entrada y salida
 - Revisar puentes cambio relación. Anotar relación
 - Comprobación de la relación de transformación
- General
 - Comprobación de la puesta a tierra.
 - Comprobación de fijación de soporte.
 - Comprobación del pasatapas y juntas.
 - Comprobación de estanqueidad. Detección de fugas.
 - Comprobación de oxidaciones. Corregir y pintar cuando proceda.
 - Limpieza de porcelanas. Revisión de su estado.
 - Comprobación de zonas de pegado de porcelanas.
 - Comprobación de estado de bornas, juntas y anclajes.
 - Comprobación del acoplamiento de cuerpos (conexión eléctrica).
 - Comprobación de interruptores magnetotérmicos.
 - Comprobación del circuito de medida amperímetro/voltímetro.
- Cajas de bornas de secundario
 - Comprobación de conexiones secundarias.
 - Comprobación del estado de estanqueidad.
- Pruebas funcionales
 - Comprobación de polaridades.
 - Resistencia de aislamiento primario/secundario.
 - Resistencia de aislamiento primario/tierra.
 - Resistencia de aislamiento secundario/tierra.
 - Medida de valores de red en bornas de cuadro.
 - Medida de valores de red en sala de celdas.

18.2.1.4. Sistemas de protección y control

- Realizar prueba de lámparas.
- Relés de protección.
- Prueba y regulación de los relés mediante inyección de intensidades y tensiones.
- Tensión máxima.
- Tensión mínima.
- Tensión homopolar.
- Tensión diferencial.
- Diferencial de línea.
- Sobreintensidad.
- Comprobación del tarado de los relés y anotar valores.



18.2.1.5. Baterías de C.C.

- Comprobación de la bancada.
- Limpieza de cuadros y vasos.
- Comprobación del nivel de electrolito.
- Comprobación de densidad del electrolito.
- Realizar prueba de capacidad.
- Comprobación de conexiones.
- Medir consumo y respuesta a la puesta en servicio de todos los circuitos.
- Comprobación de funcionamiento del rectificador y demás componentes electrónicos.
- Comprobación de la tensión de entrada al rectificador.
- Comprobación de la tensión de salida al rectificador.
- Comprobación de la tensión de salida de baterías.
- Comprobación de las alarmas.
- Comprobación del equipo de detección de tierra.

18.2.1.6. Estructuras aisladores y embarrados

- Comprobación del estado de las estructuras metálicas.
- Comprobación de la puesta a tierra de soportes.
- Corregir oxidaciones y pintar cuando proceda.
- Estado de los aisladores.
- Comprobación de sujeciones mecánicas, apriete de tornillos.
- Situación de piezas de unión, empalmes y terminales.
- Medida del aislamiento de embarrados entre fases y tierra.
- Medida del aislamiento de embarrados entre fase y fase.

18.2.1.7. Redes de M.T.

- Comprobación del estado de los conductores y cajas terminales.
- Comprobación de oxidaciones y pintar cuando proceda.
- Comprobación del estado de conexiones a tierras de los soportes.
- Comprobación y limpieza de aisladores.
- Comprobación y apriete de conexiones.
- Comprobación del estado de la cubierta del cable.
- Comprobación y limpieza de botellas terminales.
- Comprobación de la puesta a tierra de pantallas.
- Comprobación curvatura de los cables.
- Medición de aislamientos entre fase y fase.
- Medición de aislamientos entre fases y tierra.

18.2.1.8. Seguridad frente a personas

- Sistemas de tierra.
- Medida de las resistencias de puesta a tierra de todos elementos.
- Indicación de los valores obtenidos en las tomas de tierra.
- Comprobación de la continuidad de los sistemas de tierras.
- Estado de conexiones y conductores de unión de tomas de tierra.
- Medida de tensión de paso.
- Medida de tensión de contacto.
- Elementos de seguridad y emergencia.
- Comprobación de estado de detección y extinción de incendios.
- Comprobación de estado de elementos de accionamiento y rescate.
- Estado de las señales indicativas preceptivas.
- Comprobación de alumbrado de emergencia y normal.
- Peligrosidad de la instalación y locales de ubicación.
- Comprobación de defensas protectoras, cerramientos y puertas.
- Indicación de humedades y filtraciones de agua.
- Estado de muros, paramentos y otros.

18.2.2. Normativa aplicable

Los equipos de alta tensión y sus distintos componentes, deberán ser diseñados, fabricados y ensayados de acuerdo con las normas que se indican a continuación y que les sean aplicables.

- Norma ANSI / IEE C.372.1979: números funcionales de dispositivos de sistemas eléctricos.

Además, en la medida que corresponda a las características específicas del aislamiento de gas, también serán de aplicación:

- UNE-EN 62271-203:2005: aparamenta bajo envoltiente metálica con aislamiento gaseoso para tensiones asignadas iguales o superiores a 52 kV.
- UNE- EN 60694:1998: estipulaciones comunes para las normas de aparamenta de alta tensión.
- UNE 20324: grados de protección proporcionados por las envoltientes (código IP).
- MIE – RAT ITC 18: instalaciones bajo envoltiente metálica de 72.5 kV o superiores, aisladas en hexafluoruro de azufre.
- UNE-EN 61259:1998 (CEI 1259): aparamenta bajo envoltiente metálica con aislamiento gaseoso para tensiones asignadas iguales o superiores a 72.5 kV. Requisitos para la conmutación de corrientes de juegos de barras en vacío por seccionadores.
- UNE-EN 50089:1996: particiones de resina moldeada para aparamenta de alta tensión bajo envoltiente metálica en atmósfera de gas.
- UNE 21852:1989; 2M / 1996: envoltientes de aleación de aluminio fundido para aparamenta de alta tensión bajo presión de gas.
- UNE-EN 60376: especificaciones para hexafluoruro de azufre de calidad técnica para uso en equipos eléctricos.
- UNE-EN 50102: grados de protección proporcionados por las envoltientes materiales eléctricos contra impactos mecánicos externos.
- IEC 60859: cable connection for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated



voltages of 72.5 kV and above.

- IEC 62271-209: conexiones de cables para apartamento bajo envolvente metálica con asilamiento gaseoso para tensiones asignadas iguales o superiores a 52 kV. Cables de aceite fluido y de aislamiento extruido. Terminales de cable de tipo seco.

Los diversos componentes contenidos en la envolvente en sí misma estarán sujetos a las normas UNE particulares que les afecten.

Entre las normalización de la Propiedad a considerar en el diseño de los equipos se encuentran las siguientes especificaciones:

- Procedimiento de pintura para cuadros y paneles.
- Procedimiento de conexión de cuadros y paneles.
- Bornes de paso y seccionables para conductores de cobre de B.T.
- Cables de fuerza, control y alumbrado.
- Procedimiento de embalaje, marcado y envío para equipos y materiales.

18.3. Información a entregar por el suministrador

Toda la documentación de texto vendrá en fichero informático de Office en castellano; se considerará aceptable el uso de inglés o francés solo en los protocolos de ensayo.

Todos los planos tendrán que venir en formato de AutoCAD (".dwg") cumpliendo los prototipos establecidos por la Propiedad en su normativa.

18.3.1. Documentación previa al inicio de la fabricación

El suministrador deberá entregar a la Propiedad 3 copias papel y fichero informático de la información relacionada a continuación:

- Planos certificados de dimensiones generales de las celdas, indicando cargas y esfuerzos para el cálculo de la losa del edificio (reacción máxima en cada punto de apoyo de la bancada, tanto en el cierre como en el disparo, etc.), incluyendo detalles de fijación de la bancada.
- Plano descriptivo de disposición física de las celdas, indicando las distancias mínimas a respetar.
- Frente, disposición física de aparatos y lista de materiales de todas las celdas.
- Planos de placas de características.
- Instrucciones de almacenamiento del equipo en obra o almacén.
- Copia controlada del manual de calidad en la revisión vigente.
- Programa de puntos de inspección definitivo, tanto de calidad como de seguimiento de la planificación.
- Procedimientos de prueba y ensayo.
- Protocolos de ensayo estándar individuales y de rutina, tanto de las celdas como de los equipos contenidos en ellas, gas aislante y envolvente.
- En cada armario de mando, deberá incluirse una copia de la documentación básica de la subestación (instrucciones de montaje y mantenimiento y esquema eléctrico)



18.3.2. Documentación de ensayos a presentar

Una vez efectuados los ensayos en fábrica y antes de 15 días deberá enviarse en formato reproducible:

- Guía para la recepción y puesta en servicio de la obra.
- Instrucciones de montaje, puesta en servicio y programa de mantenimiento.

La Propiedad comunicará su posible asistencia o autorización para pruebas en ausencia.

En cualquier caso, realizadas las pruebas, el fabricante siempre deberá remitir a la Propiedad los protocolos de ensayo de rutina y registros asociados en soporte informático vía correo electrónico, hojas de protocolo, textos, planos e imágenes, agrupados en un fichero por cada equipo que recogerá el nombre del fabricante, equipo, tipo y nº de aparato.

18.3.3. Documentación a presentar una vez realizado el montaje

- Informe final de calidad.
- Manuales de Operación y Puesta a Punto, así como de Mantenimiento.
- Consignas de seguridad de la instalación y para su intervención.
- Información sobre compartimentación de la instalación, disposición física, contenidos y presiones, así como tolerancias de diferencias de presiones admisibles entre compartimentos contiguos.
- Manuales de manejo, reciclado y medidas en la instalación del SF6, así como accesorios recomendados para ello, debidamente identificados.
- Características del gas admisibles, con sus límites según estado.
- Protocolos de ensayo realizados en campo y registros asociados en formato papel y soporte informático.

18.4. Condiciones de transporte, embalaje y almacenamiento

Solo se efectuará la entrega del suministro con la previa conformidad de la Propiedad.

18.4.1. Almacenamiento

En base al programa de fabricación acordado entre el suministrador y la Propiedad, esta se reserva el derecho de retener, por causas justificadas, el equipo en las instalaciones del proveedor en régimen de depósito y bajo la responsabilidad del suministrador.

18.4.2. Transporte

El fabricante deberá gestionar la realización del transporte en los términos recogidos en los posibles pedidos y/o en los documentos que los completen.

18.5. Registros de calidad

A fin de asegurar el cumplimiento por parte del suministrador de los mencionados requerimientos, éste deberá tener implantado un Sistema de Calidad de acuerdo con la correspondiente norma ISO de la serie 9000, con certificado de calidad expedido por el organismo acreditativo.

En el caso de no tener esta certificación, la concesión del pedido se supeditará a la previa evaluación y aprobación de dicho sistema por parte de la Propiedad.

18.6. Plan de calidad

El suministrado elaborará un Plan de Calidad donde se recogerán las fases de fabricación e inspecciones, desde la recepción de materiales, hasta la puesta en servicio del pedido en destino. Se secuenciará de forma correlativa.

En cada una de las fases o secuencias se indicarán los puntos a controlar de acuerdo con la norma o procedimiento aprobado. El formato (Programa Puntos de Inspección, PPI), deberá permitir dejar constancia de dichas inspecciones mediante fecha y firma.

Una vez realizado el pedido, la Propiedad deberá aprobar el programa Puntos de Inspección, pudiendo, en función de las características del suministro, fijar en él puntos de espera, que no podrán realizarse sin su presencia o autorización), y puntos de aviso, que o requieren aviso propio. la Propiedad podrá ampliar estos puntos en cualquier momento de la fabricación.

En el caso de que hayan sido indicados, el suministrador comunicará por escrito la fecha prevista de los puntos de espera en el momento de la confirmación del pedido. Adicionalmente, y con un plazo mínimo de diez días de antelación deberá comunicar la confirmación definitiva de las mismas. Hasta tres días antes del cumplimiento de los plazos, la Propiedad notificará por escrito su decisión de asistir o no, y en su caso, la autorización de su realización.

El suministrador se hará cargo de los gastos de desplazamiento derivados de una notificación defectuosa, así como de repetición de ensayos.

Dependiendo de las características del pedido, la Propiedad determinará si los Programas de Puntos de Inspección deben elaborarse por cada unidad, modelo o partida incluida en el suministro.

19. Desviaciones

La Propiedad considera desviaciones:

- Todo cambio respecto a los requerimientos recogidos en el presente proyecto que no haya sido aprobado previamente por la Propiedad.
- Cualquier resultado no conforme de los controles dimensionales, ensayos, inspecciones o pruebas que se efectúen durante el proceso de fabricación y en las finales o de funcionamiento.
- Cualquier retraso o modificación en las fechas previstas de entrega respecto a la planificación inicialmente establecida.
- Cualquier parte del suministro que no esté de acuerdo con el contrato o los documentos aprobados por la Propiedad.

Al producirse una desviación, el suministrador enviará un Informe de Desviación a la Propiedad para someterlo a su aprobación. En él se describirá suficientemente el problema y se propondrá una solución.

19.1. Acceso a instalaciones y documentación en inspecciones

La Propiedad o sus representantes tendrán libre acceso a las instalaciones, tanto del suministrador como de sus proveedores o subcontratistas, para inspeccionar o auditar todo aquello que se relacione con este pedido. Asimismo, podrá disponer de toda la documentación técnica y de calidad con el fin de verificarla y evaluarla.

19.2. Autorización de expedición

Antes de proceder a la expedición de cualquier partida del pedido, el suministrador deberá obtener de la Propiedad o de sus representantes la Autorización de Expedición. El suministrador se responsabilizará de preparar y cumplir los requisitos de su emisión.

La autorización de Expedición es un documento en el que queda reflejado:

- que todos los documentos han sido aprobados;
- que el Informe Final de Calidad está disponible y aprobado por el departamento de Calidad del suministrador;
- que los informes de Deviación, tanto del propio suministrador como los emitidos por la Propiedad, están cerrados;
- que los equipos del pedido están limpios, protegidos y embalados e identificados correctamente.

Es decir, se ha cumplido con los requisitos contractuales derivados de los requerimientos del pedido.

La Propiedad o su representante podrá emitir una Autorización de Expedición condicional en el caso de encontrarse desviaciones no cerradas o nuevas.

19.3. Recepción en el lugar de destino

La Propiedad o su representante inspeccionará el pedido en el lugar de destino, comprobando el estado del mismo, así como verificando la documentación que le acompañe.



Realizadas las pertinente comprobaciones se emitirá el correspondiente Certificado de Recepción. la Propiedad se reserva la reclamación basada en futuros fallos en servicio o en un comportamiento inadecuado del equipo, conforme a lo establecido en las especificaciones.

19.4. Documentación del informe de calidad

El suministrador mandará a la Propiedad el Informe Final de Calidad para su aceptación provisional.

Se relacionan a continuación los documentos que deben incluirse en dicho informe:

- Certificados de materiales y equipos.
- Plateado de los contactos.
- Válvulas e presión de los compartimentos estancos.
- Gas
- Aparatos auxiliares y manodensostatos.
- Pintura de elementos metálicos
- Elementos aislantes
- Envolvertes metálicas
- Filtros y elementos de protección frente a partículas de polución.
- Conectores para la interconexión entre armarios y módulos.

En general, todos aquellos materiales y elementos auxiliares que formen parte del conjunto.

- Protocolos de pruebas y ensayos.
- Programa de Puntos de Inspección, cumplimentado, si procede.
- Documentación sobre modificaciones, desviaciones y reparaciones.
- Copia de Autorización de Expedición
- Certificado de Recepción.
- Certificados de calidad del fabricante.

Deberán presentarse numerados, con índice que permita su fácil localización y con la calidad suficiente para que sea legible y reproducible.

19.5. Garantías

El periodo de garantía será de cinco años desde su puesta en servicio, condicionado a un mantenimiento preventivo realizado por la Propiedad conforme a los procedimientos y periodicidades establecidos por el fabricante.

19.6. Plazos

El plazo garantizado de suministro de módulos, sub-módulos y cualquier otro tipo de repuesto compatibles en dimensiones y resto de características con los ahora ofertados, será de veinte años.



19.7. Otros requisitos

19.7.1. Asistencia técnica postventa

El suministrador deberá confirmar en las ofertas su disponibilidad para poder cumplir con los requisitos principales que se describen a continuación, o en caso contrario, indicar y justificar las excepciones y alternativas que pueda aportar.

19.7.2. Alcance de los servicios

El proveedor asistirá a la Propiedad en los ámbitos siguientes:

- Asistencia general por teléfono, correo electrónico o fax.
- Intervenciones urgentes.
- Mantenimientos preventivos.
- Formación de la fábrica o en el lugar.
- Recomendación de modificaciones que permitan mejorar la explotación de la subestación y aumentar su disponibilidad.
- Actualización de la documentación existente y generación de procedimientos y guías de actuación necesarias para el correcto mantenimiento del parque GIS.
- Servicio de reparaciones.

19.8. Prestaciones

La Propiedad tendrá la responsabilidad de la puesta fuera de tensión de las celdas en las que se deban realizar trabajos. Las fases de los trabajos, comunicaciones de inicio y fin de trabajo y puesta en servicio de la instalación se definirán en detalle en el contrato de asistencia.

El contrato de asistencia fijará las condiciones de trabajo en la subestación, condiciones comerciales, garantías y todos aquellos puntos que se considere necesarios para la completa definición del servicio.

20. Condiciones de los materiales de la obra civil

Se indica, a continuación, la calidad, elementos y preparación de los materiales a utilizar en la obra civil.

20.1. Libro de incidencias

Se hará constar en el libro de incidencias todos aquellos hechos que considere oportunos la Dirección de Obra, y con carácter diario, los siguientes:

- Las condiciones atmosféricas y la temperatura máxima y mínima ambiente.
- Relación de los trabajos realizados.
- Realización de los ensayos realizados con los resultados obtenidos.
- Cualquier circunstancia que pueda influir en la calidad y ritmo de la obra.

Serán de aplicación para la ejecución de estas obras, además del “Pliego General de Condiciones Económicas y Legales” de la Propiedad, que forma parte de la presente documentación, las siguientes especificaciones:

Las normas relacionadas completan las prescripciones del presente Pliego en lo referente a aquellos materiales y unidades de obra no mencionados expresamente en él.

20.2. Marcas de fabricación

Todas las piezas llevarán identificación indeleble con los datos siguientes:

- Nombre del fabricante
- Tipo de pieza
- Material
- Nº de fabricación
- Fecha de fabricación

El contratista está obligado a la plena observancia de las anteriores Instrucciones, Pliegos y/o Normas, así como de las que, según criterio del Director de Obra, tengan aplicación en los trabajos a realizar o que hayan sido publicados en el boletín Oficial del Estado.

20.3. Rellenos

El material de relleno será el apropiado según las limitaciones establecidas en el Manual de Métodos de ISUB M-DS-7.1.06 y su ejecución se ajustará a las indicaciones de dicho manual.

20.4. Hormigones

La composición del hormigón será la adecuada para que la resistencia de proyecto (resistencia a compresión, expresada en N/mm^2). Tal y como se especifica en los artículos 31 y 39 de la EHE sea según su uso. Dichos valores de resistencia se muestran en la tabla adjunta.

Las dosificaciones de hormigón a emplear en las distintas estructuras, en contacto con el suelo y por debajo de la cota 0,00 de la explanación tendrán una relación agua/cemento menor o igual a 0,50.

Dadas las particulares condiciones de uso de los viales de subestaciones, no es necesaria ninguna exigencia específica para los hormigones a utilizar en esta unidad; se ejecutará con el tipo de hormigón especificado en el siguiente cuadro.

<i>Tipo</i>	<i>F(N/mm²)</i>	<i>Uso</i>
HA-35/B/20/IIb+Qc	35	Obras de hormigón armado tales como soleras, forjados, depósitos, bancadas de transformadores, etc.
HA-35/B/20/I+Qc	20	Obras de hormigón en masa tales como cimientos, viales, solados, bordillos, cunetas, arquetas, zanjas, etc.
HA-35/B/20/I+Qc	20	Hormigones de limpieza, rellenos, etc.

Tabla 18. Especificaciones de los hormigones.

20.5. Áridos para morteros y hormigones

Los áridos serán de cantera, río o bien procedentes de machaqueo, debiendo ser limpios y exentos de tierra-arcilla o materia orgánica.

El tamaño máximo del árido estará limitado por el tamiz 40 UNE y su proporción de mezcla definida por el porcentaje en peso de cada uno de los diversos tamaños utilizados.

Deberán encontrarse saturados y superficialmente secos, a fin de obtener un hormigón de la máxima compactación posible; manejable, sin segregación, bien ligado y de la resistencia exigida.

Los áridos cumplirán como mínimo las condiciones en el artículo 28 de la EHE.

20.6. Morteros

Los morteros para fábricas pueden ser ordinarios, de junta delgada o ligeros. El mortero de junta delgada se puede emplear cuando las piezas sean rectificadas o moldeadas y permitan construir el muro con tendeles de espesor entre 1 y 3 mm.

Los morteros ordinarios pueden especificarse por:

- Resistencia: se designa por la letra M seguida de la resistencia a compresión (N/mm^2).

- **Dosificación en volumen:** se designa por la proporción, en volumen, de los componentes fundamentales (por ejemplo 1:1:5 cemento, cal y arena). La elaboración incluirá las adiciones, aditivos y cantidad de agua, con los que se supone que se obtiene el valor de fm supuesto.

El mortero ordinario para fábricas convencionales no será inferior a M1. El mortero ordinario para fábrica armada o pretensada, los morteros de junta delgada y los morteros ligeros, no serán inferiores a M5. En cualquier caso, para evitar roturas frágiles de los muros, la resistencia a la compresión del mortero no debe ser superior al 0,75 de la resistencia normalizada de las piezas.

20.7. Cementos

El tipo de cemento utilizado para la ejecución de los hormigones, “cemento de la clase resistente 32,5 N/mm² o superior”, se determinará teniendo en cuenta entre otros factores la aplicación del hormigón, las condiciones ambientales a las que va a estar expuesto y las dimensiones de las piezas y cumplirá como mínimo las condiciones exigidas en la RC-03 y artículo 26 de la EHE.

La dosificación del cemento se realizará en base al tipo de hormigón a conseguir y el tipo de cemento a utilizar, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tipo de hormigón	Tipo de cemento	Dosificación
En masa	Común o para usos especiales	-
Armado	Común	Mínimo 275 kg/m ³ de cemento
Pretensado	Común del tipo CEM I y CEM II/A-D	Mínimo 300 kg/m ³ de cemento

Tabla 19. Dosificación de los hormigones.

20.8. Agua

Cumplirá como mínimo las condiciones impuestas en el artículo 27 de la EHE.

No se utilizarán aguas del mar ó aguas salinas análogas, tanto para amasar como para curar hormigones, y se rechazarán, salvo justificación especial, todas aquellas aguas que no cumplan las siguientes condiciones:

- Un PH igual o superior a 5.
- Contenido de sulfato menor o igual a 1g/l.
- Contenido de Ion Cloro menor o igual a 3g/l (para HA ó HM) o a 1g/l (para HP).
- Sustancias orgánicas solubles en éter en cantidad menor o igual a 15g/l.

20.9. Armaduras

El acero para las armaduras de piezas de hormigón será corrugado de primera calidad, fibroso, sin grietas ni pajas, flexibles en frío y en modo alguno agrio o quebradizo.

Tendrán que llevar el sello de conformidad de CIETSID. Y sus características y métodos de ensayo vendrán definidas por la norma UNE-36088. Tanto las barras y alambres como las piezas férricas, no presentarán en ningún punto de su sección estricciones superiores al 2.5%.

Aquellos que sean empleados en elementos estructurales de hormigón armado deberán cumplir las condiciones que se exigen en la Instrucción EHE.

Las armaduras estarán constituidas por:

- Barras corrugadas designadas en la tabla 32.2.a del artículo 32 de la EHE como B 400 S y B 500 S y cumplirán como mínimo las condiciones impuestas en el mencionado artículo.
- Mallas electro-soldadas designadas en la tabla 32.3 del artículo 32 de la EHE como B 500 T y cumplirán como mínimo las condiciones impuestas en el mencionado artículo.

20.10. Aceros laminados

Los perfiles laminados y todas sus piezas auxiliares de empalme o acoplamiento, se ajustarán a las prescripciones contenidas en las normas MV-102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, así como la EM-62 y UNE-14035.

Las condiciones de trabajo mínimas de los perfiles laminados serán:

- Acero tipo: A-42b.
- Límite elástico: 2600 kg/cm².
- Tensión máxima admisible de trabajo: 1730 kg/cm².

20.11. Canalizaciones

Los tubos serán nuevos, de la mejor calidad, de fabricación normalizada, con la marca, diámetro interior en milímetros, tipo y/o peso indicado en cada pieza. Serán perfectamente lisos, de sección y espesor uniformes, no presentando grietas, poros y otros desperfectos que puedan debilitar su resistencia y con la curvatura que le corresponde en los codos y piezas especiales.

El Contratista someterá a la aprobación de la Dirección de obra todos los tubos que vaya a utilizar, pudiendo ésta rechazar aquellas piezas que presenten mal aspecto y aún exigir, si lo estimase necesario las pruebas oportunas, a la vista de las cuales el Contratista deberá reemplazar los tubos defectuosos, dentro del plazo exigido.

El espesor será el nominal que figure en los catálogos del fabricante.

Los accesorios, piezas especiales y acoplamientos serán de igual resistencia, al menos, e igual calidad que la tubería a la que irán acoplados.

Los tubos, piezas especiales y demás elementos de la tubería deberán someterse, durante la fabricación, a las pruebas que se estimen convenientes para conocer su calidad, reservándose la Dirección de Obra el derecho de exigir la realización de las mismas en su presencia. Asimismo, la Dirección de Obra podrá exigir al Contratista un Certificado de garantía de que se efectuaron dichas pruebas de forma satisfactoria.



En la carga, transporte y descarga se evitarán los choques y que los tubos se golpeen entre sí; se depositarán sin brusquedades en el suelo, no dejándolos caer, se evitará rodarlos sobre piedra y, en general, se tomarán precauciones necesarias en su manejo, de manera que no sufran golpes de importancia.

Clasificando el material por lotes, según especifique la Dirección de Obra, se efectuarán las pruebas necesarias sobre muestras tomadas de cada lote, de forma que los resultados que se obtengan se asignarán al total del lote.

Serán rechazados todos aquellos tubos que no cumplan las condiciones citadas, así como las pruebas hidráulicas y resistentes, y las dimensiones y tolerancias que se definan en el Proyecto.

20.12. Materiales prefabricados

Se consideran fábricas de ladrillo los muros aparejados, de espesores comprendidos entre 1/2 pie (11.5 cm) y 1 1/2 pie (35.5 cm) de espesor, trabados en todo su espesor, ejecutados con una sola clase de ladrillo.

Los morteros de agarre serán los especificados en este Pliego, fabricados con cemento según normas UNE. Todos los morteros de fábricas en contacto con el terreno se elaborarán con cemento resistente a aguas selenitosas (elevado contenido en sulfato.)

Los ladrillos que se utilizarán serán macizos de primera clase en fábricas y vistas y de segunda clase en arquetas, canales u obras no vistas.

Los ladrillos de primera clase cumplirán una condición estricta en cuanto a uniformidad de color, no tendrán manchas, florecencias o quemaduras, carecerán de imperfecciones y desconchados aparentes en aristas y caras.

En los ladrillos de segunda clase no habrá imperfecciones que impidan su empleo en fábricas vistas, carecerán de desconchados que afecten a más del quince (15) por ciento de la superficie vista de las piezas.

El formato de los ladrillos será de 24 x 12, 5 x 5.3 cm para los de primera clase y de 29 x 12 x 6.5 cm para los de segunda clase.

Para la recepción de materiales, este Pliego se atenderá a lo especificado en la norma MV correspondiente.

Los muros de bloques de hormigón de 0.20 m de espesor garantizarán un amortiguamiento acústico de 43 dB.

20.13. Viales

Tendrá la consideración de vial el acceso definitivo a las obras, desde el exterior de la finca hasta la obra proyectada, incluso la red interior de la misma.

Las fases que comprende la ejecución de los viales serán excavación, relleno y compactación y losas de hormigón armado como capa de rodadura.

En los viales, como norma general, se colocarán pasos de tubo de un diámetro de 200 mm, separados entre sí una distancia no superior a treinta (30) metros.

20.14. Cerrajería

La cerrajería de taller incluye la ejecución de los trabajos de cerrajería que se limitan a funciones de protección, reparación y decoración. Todos estos trabajos serán realizados en acero, de la calidad A42-b.

Todos los materiales y perfiles utilizados se cortarán y ensamblarán en taller; en obra se procederá únicamente a su recibido.

20.15. Piezas de hormigón armado o pretensado

La formas y dimensiones de las piezas prefabricadas se ajustarán perfectamente a los planos aprobados así como a las indicaciones del proyecto y al cuerpo de la obra a ensamblar, siendo recibidos todos aquellos cuerpos que requieran su unión.

20.16. Materiales siderúrgicos: características y ensayos.

Los tornillos serán de la clase ordinaria y de una calidad del acero 5.6 y cumplirán, así como las tuercas y arandelas, las condiciones impuestas en la CTE.

20.17. Laminados de acero para estructuras

Los aceros laminados para estructuras serán de calidad S275JR de acuerdo con la norma UNE- EN 10025.

En aquellos casos en los que se suministren perfiles ya elaborados, incluirán 2 manos de pintura protectora antioxidante y su medición se realizará por su peso directo.

21. Condiciones generales de ejecución de las obras

21.1. General

Para todo suministro en el proyecto y con carácter general, se actuará para conseguir lo siguiente:

- Montaje según los últimos progresos técnicos.
- Materiales de calidad apropiada.
- Facilidades para las tareas de desmontaje, limpieza, ajuste y puesta a punto de los equipos.
- Intercambiabilidad de los equipos instalados con los repuestos correspondientes.

El desarrollo de la construcción de las diversas unidades, por las que este proyecto está formado se ajustará a las especificaciones de la Normativa vigente.

Por parte del Suministrador deberá ponerse especial cuidado en la vigilancia y control de la correcta ejecución de las distintas unidades del Proyecto, con el fin de que la calidad se atenga a las especificaciones que sobre ellas se prevenga en las distintas

La normativa es una mera guía de apoyo al proceso Constructivo. La aceptación o no de las partes ejecutadas será independiente de que estas hayan sido o no certificadas, puesto que en todo caso las certificaciones deben ser consideradas como “a buena cuenta”.

21.2. Ingeniería

Toda la realización de la ingeniería de este proyecto se llevará a cabo, por parte de la persona, firmante del mismo, llevando no solo la realización de dicho proyecto sino la supervisión en obra y la puesta en marcha.

21.3. Replanteo

La empresa suministradora nombrará a un técnico que actúe a modo de representación de la misma, frente a la ingeniería de dicho proyecto.

La actuación del técnico se llevará a cabo en presencia de la ingeniería de dicho proyecto, efectuará los replanteos generales y parciales necesarios previos al inicio de los trabajos o los que puedan surgir durante la ejecución de los mismos.

Toda posible variación o diferencia con respecto al proyecto se recogerá en la correspondiente acta.

Los replanteos, trazados, nivelaciones y demás obras previas, se efectuarán por el Suministrador de acuerdo con los datos del proyecto, planos, medidas, datos u órdenes que se faciliten, realizando el mismo, con el máximo cuidado, de forma que no se admitirán errores mayores de 1/500 de las dimensiones genéricas, así como de los márgenes de error indicados en las condiciones generales de ejecución del resto de las unidades de obra.

La Dirección Facultativa controlará todos estos trabajos a través de Director de obra o persona indicada al efecto, si bien, en cualquier caso, el Suministrador será totalmente responsable de la exacta ejecución del replanteo, nivelación, etc.

La empresa suministradora será la encargada de proporcionar personal y medios auxiliares necesarios para estos operarios, siendo responsable por las modificaciones o errores que resulten por la desaparición de estacas, señales o elementos esenciales establecidos.

Todas las medidas que sean necesarias para realizar la obra están consignadas en los planos. En ningún caso podrán tomarse medidas a escala sobre los planos constructivos.

Las indefiniciones o contradicciones, si las hubiere, serán resueltas por la Dirección de Obra.

A la recepción de los planos constructivos y antes de iniciar cualquier trabajo de construcción, el Suministrador deberá realizar comprobaciones dimensionales de las partes detalladas en los planos del proyecto, y si encontrase algún error o contradicción en la información recibida, comunicarlo inmediatamente a la Dirección de Obra. En caso de no hacerlo así, el Suministrador será responsable de los errores que hubieran podido evitarse.



22. Movimientos de tierras

22.1. Desbroce y limpieza del terreno

En función del tipo de terreno existente, la dirección de la obra determinará la cantidad de tierra vegetal, arbolado, tocones y maleza a retirar así como las oportunas extracciones a realizar. Del mismo modo, decidirá si es necesario depositar la extracción en lugares predeterminados para su posterior aprovechamiento o por el contrario retirarla a escombreras autorizadas.

22.1.1. Demoliciones

Comprende el derribo o demolición, total o parcialmente, de todas las construcciones que obstaculicen la obra a realizar y la retirada de la obra del material que no se tenga que reutilizar.

22.1.2. Escarificación y compactación

Pueden presentarse dos tipos diferentes de terrenos a escarificar:

- Terrenos sin firme existente.
- Terrenos con firme existente.

En ambos casos la operación consistirá en disgregar el terreno superficial con los medios mecánicos adecuados, habiendo compactado el terrero previamente.

La compactación se realizará hasta conseguir una densidad de al menos, un 95% de la máxima obtenida en el ensayo “Proctor” modificado, según norma UNE 103.501/94.

22.1.3. Excavaciones, rellenos, terraplenes, pedraplenes, y redes de drenaje

La medición de la excavación y su posterior relleno con el propio material, se realizará por diferencia teórica entre perfiles transversales del terreno tomados antes del inicio de las excavaciones y después de realizada la compactación. En el caso de utilizarse en el relleno material de préstamo, su medición se realizará por el mismo procedimiento.

Para la realización de las excavaciones se seguirán las normas establecidas, en función de las características particulares de la cimentación del terreno, y sus dimensiones se ajustarán a las indicadas en los planos del proyecto.

No se procederá a ningún tipo de relleno sin previo reconocimiento de las zonas de vertido y aprobación por parte de la Compañía Distribuidora, en este caso Endesa Distribución.

Los materiales de relleno se ajustarán a las indicaciones del Manual de Métodos de ISUB M-DS-7.1.06.

Los materiales de la capa granular, empleados entre la base del firme y la explanada, se ajustará a lo indicado en el artículos 510 del PG-3.

Las redes de drenaje definidas en los planos del proyecto, se realizarán habitualmente mediante tubo de hormigón poroso, policloruro de vinilo, polietileno de alta densidad o cualquier otro material sancionado por la experiencia, siendo cubierto con material filtrante una vez colocados en la zanja, ajustándose al artículo 420 del PG-3.

23. Hormigones

Antes de verter hormigón fresco sobre hormigón endurecido se limpiará la superficie de contacto mediante chorro de agua y aire a presión, eliminando seguidamente el agua que se haya depositado. Adicionalmente, se realizará el tratamiento adecuado con productos especiales de unión entre fraguados y frescos.

El hormigón se compactará por vibraciones hasta asegurar que se hayan llenado todos los huecos, se haya eliminado el aire de la masa y la lechada refluya en la superficie.

Durante el primer período de endurecimiento, no se someterá al hormigón a cargas estáticas o dinámicas que puedan provocar fisuras. La superficie se mantendrá húmeda durante 7 días, como mínimo, protegiéndola de la radiación directa de los rayos solares.

No se podrá colocar hormigón cuando la temperatura sea inferior a 2º C, ni en el caso en que sea superior pero se prevea que pueda bajar de 0º C durante las 48 horas siguientes, ni cuando la temperatura ambiente alcance los 40ºC. Se suspenderá el hormigonado cuando el agua de lluvia pueda producir el deslavado del hormigón.

Se garantizarán las condiciones de ejecución de las obras de hormigón exigidas en el Capítulo XIII de la EHE.

No se iniciará el hormigonado en ningún tramo o parte, sin la inspección previa de La Compañía, que comprobará la terminación de encofrados, el estado de las superficies de apoyo,

la cuantía y la correcta colocación de las armaduras, de las juntas, así como de cualquier extremo que estime oportuno.

24. Pavimentos de hormigón

Cuando se realice la pavimentación mediante hormigonado en fresco, se podrán insertar directamente las juntas de dilatación de material plástico conforme a lo indicado en el plano de proyecto, o bien, una vez endurecido el hormigón mediante serrado con disco, siendo la profundidad mayor de seis centímetros.

25. Armaduras

La disposición de las armaduras una vez hormigonadas, será tal y como figura en los planos e instrucciones del proyecto, debiendo estar perfectamente sujetas para soportar el vertido, peso y vibrado del hormigón, respetándose especialmente los recubrimientos mínimos indicados en la EHE en vigor.

26. Laminados

La disposición de los laminados y su medición se realizarán conforme a los valores teóricos de acuerdo con los planos e instrucciones del Proyecto, no considerándose los despuntes, solapes, ganchos o platillas que pudieran introducirse.

26.1. Encofrados

Los encofrados de madera o metálicos, serán estancos y estarán de acuerdo con las dimensiones previstas en el proyecto, serán indeformables bajo la carga para la que están previstos y no presentarán irregularidades brutas superiores a 2 mm ni suaves superiores a 6 mm medidos sobre la regla patrón de 1 m de longitud. Su desplazamiento final, respecto a las líneas teóricas de replanteo, no podrá exceder de los 6 mm.

26.2. Piezas prefabricadas de hormigón armado o pretensado

Durante el proceso de carga, transporte y montaje o colocación, los elementos prefabricados deberán suspenderse y apoyarse en los puntos previstos, a fin de que no se produzcan solicitaciones desfavorables.

26.3. Estructura metálica

La presentación de los anclajes se efectuará con las plantillas previstas para este fin.

Una vez clasificada la estructura y comprobado que las dimensiones (incluyendo taladros) corresponden a las medidas indicadas en el Proyecto, se procederá al izado de la misma mediante:

- Estrobo y elevación de las estructuras.
- Fijación de las mismas en sus anclajes mediante pernos u hormigón.
- Aplomado, nivelación y alineación de las mismas.

26.4. Ensayos y puesta en servicio

Ha de cumplir lo dispuesto en el apartado de control de calidad, el cuál posteriormente será citado.

26.5. Cableado de MT

Se evitará ejecutar las botellas terminales cuando exista humedad en el ambiente o tiempo lluvioso.

Se conectarán a tierra las pantallas metálicas de los cables aislados de MT en los dos extremos.

Se respetarán con un margen de seguridad los radios de curvatura recomendados por el fabricante del conductor.

26.5.1. Interconexión de los cuadros de control

En el cableado de control mediante conductores multipolares se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Los cables entrarán al cuadro de control por la parte inferior.
- Se evitarán recorridos de cables que impidan la apertura de regletas, la extracción de equipos o labores de mantenimiento del cuadro.

26.5.2. Conexión de los cuadros de control

Todos los componentes de los cuadros de control han de ser de primeras marcas.

Los bornes a instalar serán de dos tipos:

- Borne seccionable para los circuitos de intensidad, tensión- mando, señalización, medida y alarmas.
- Borne seccionable de cuchilla para los circuitos de telemando.

En el cuadro de control correspondiente, se dispondrán regletas terminales para llegada de todos los cables multipolares provenientes del exterior del cuadro.

En el lado de la salida de la regleta al exterior únicamente se permite un conductor por borne.



No se conectarán más de dos conductores a un mismo borne o a un terminal de aparato.

Para los cuadros de medida para facturación, se dispondrá de regletas precintables, seccionables y cortocircuitables para intensidades y seccionables para tensiones.

Cada punta del cable dispondrá del terminal correspondiente adecuado a su sección.

En cada punta de cada cable se instalará un identificador con el número de borne del equipo o regleta al que va conectado.

La disposición de las regletas de bornes será vertical, y las llegadas de los conductores de campo se efectúa por la derecha de la regleta, mientras que el cableado hacia el interior del cuadro de control se realizará por la izquierda.

26.5.3. Rotulaciones

Se identificarán mediante rótulos indelebles todos los instrumentos y aparatos integrantes de los cuadros.

27. Plan de control de calidad

El plan de control, tanto de la ejecución como de los materiales utilizados, se preparará en base a los criterios de buena práctica y conforme a las instrucciones, normas y pliegos de aplicación en cada caso, debiéndose cumplir como mínimo los requisitos expuestos en los siguientes apartados.

El contratista, de acuerdo con lo indicado en las Especificaciones Técnicas, o en su defecto en las Normas e Instrucciones de Organismos Oficiales, encargará la realización de ensayos y pruebas a laboratorios homologados.

Mensualmente el contratista entregará los certificados de calidad de todos los materiales utilizados, indicando las unidades de obra a que afecta, al término de la obra civil se cumplimentará el anexo A del Manual de Métodos de Construcción Obra Civil de Subestaciones (M-DS.7.1.01).

28. Control de materiales

El control de los materiales correrá a cargo de cada uno de los proveedores, empleando para ello un Laboratorio de Control de Calidad con homologación reconocida y aceptado por la ingeniería o la Dirección de Obra, se efectuarán los ensayos correspondientes al control de calidad de la ampliación, consistentes como mínimo en lo siguiente:

- 12 Ensayos de control de compactación del terreno.
- Bancada del transformador (en cada una) o Hormigón: 4 Probetas consistentes en un cilindro de 15x30 cm los días 7 y 28. o Acero: 1 ensayo.
- Cimentaciones edificio de Hormigón: 4 Probetas consistentes en un cilindro de 15x30 cm los días 7 y 28. o Acero: 1 ensayo.
- Cubierta edificio o Hormigón: 2 Probetas consistentes en un cilindro de 15x30 cm los días 7 y 28. o Acero: 1 ensayo.
- Tensiones de paso y contacto.

El encargado de suministrar, al Laboratorio de Control designado las muestras de los distintos materiales necesarios para la realización de los ensayos que se relacionan, así como aquellos otros que estimase oportuno ordenar la Dirección Facultativa será la empresa suministradora.

Las distintas muestras de materiales se entregarán con antelación suficiente, y que como mínimo será de 15 días más el propio tiempo de realización del ensayo, con el fin de que la realización de los ensayos no suponga obstáculo alguno en la buena marcha de la obra,

Por lo que respecta a los controles de ejecución sobre unidades de obra, bien en periodo constructivo, bien terminadas, el Suministrador facilitará al Laboratorio de Control todos los medios auxiliares y mano de obra no cualificada, que precise para la realización de los distintos ensayos y pruebas.

El incumplimiento de cualquiera de las condiciones fijadas para los controles de calidad que se establezcan conducirá al rechazo del material en la situación en que se encuentra, ya sea en almacén, bien acopiado en la obra, o colocado, siendo por cuenta del Suministrador los gastos que ocasionase su sustitución. En este caso, el Suministrador tendrá derecho a realizar a su cargo un contra-ensayo, que designará el Director de Obra, y de acuerdo con las instrucciones que al efecto se dicten por el mismo. En base a los resultados de este contra-ensayo, la Dirección Facultativa podrá autorizar el empleo del material en cuestión, no pudiendo el Suministrador plantear reclamación alguna como consecuencia de los resultados obtenidos del ensayo origen.

Ante un supuesto caso de incumplimiento de las especificaciones, y en el que por circunstancias de diversa índole, no fuese recomendable la sustitución del material, y se juzgase como de posible utilización por parte de la Dirección Facultativa, previo consentimiento de la ingeniería, el Director de Obra podrá actuar sobre la devaluación del precio del material, a su criterio, debiendo el Suministrador aceptar dicha devaluación si la considera más aceptable que proceder a su sustitución. La Dirección Facultativa decidirá si es viable la sustitución del material, en función de los condicionamientos de plazo marcados por la ingeniería.



Todos los cargos derivados del control de calidad correrán por cuenta del suministrador.

29. Inspecciones y ensayos de fabricación y montaje

En general se realizarán de acuerdo a la normativa vigente, correspondiente al equipo en cuestión y adicionalmente los siguientes:

- Ensayos dieléctricos.
- Verificación de la continuidad de los circuitos.
- Inspección general del cuadro.
- Ensayo funcional.
- Comprobación del cableado.

30. Pruebas de suministro

Una vez completada la fase de montaje, se efectuarán las siguientes pruebas:

- Rigidez dieléctrica.
- Medida de tensiones de paso y contacto.
- Comprobación del cableado.
- Aplicación de tensión auxiliar.
- Inyección de tensiones e intensidades secundarias en el cuadro y en la caja de formación de tensiones e intensidades.
- Presencia en el ensayo de protecciones a realizar por la Dirección de Obra.
- Pruebas funcionales, verificando contactos auxiliares, finales de carrera, alarmas, etc., de la aparamenta.

30.1. Replanteos

Los errores máximos permitidos serán:

- | | |
|--|-------|
| • Entre ejes de replanteo y ejes de cimentaciones | 2 mm |
| • Entre ejes de cimentaciones y testas de los pernos | 1 mm |
| • En nivelación de bases de cimentaciones | 1 mm |
| • En nivelación de carreteras y viales | 5 mm |
| • En nivelación de explanada | 20 mm |

30.2. Movimientos de tierras

Cuando se efectúen movimientos de tierras para explanación de carreteras, viales, etc. se deberán cumplir los siguientes valores, según especifica en cada caso las correspondientes normas NLT ó UNE:

- Límite de Atteberg.
- Análisis granulométrico.
- Límite equivalente de arena.
- Proctor normal o modificado.
- CBR de laboratorio.
- Límite de materia orgánica y densidad “in situ”.

El control de ejecución de los terraplenes se hará conforme a las disposiciones de la Guía de ISUB M-DS-7.1.06.

30.3. Hormigón

Para garantizar las condiciones de ejecución de las obras de hormigón exigidas en el Capítulo XIII de la EHE, se realizará un control de ejecución a nivel normal conforme al Manual de Métodos de ISUB M-DS-7.1.06.

De acuerdo a la mencionada Guía se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- La comprobación de la resistencia del hormigón se realizará en el laboratorio, mediante la rotura a compresión de probetas sacadas a pie de obra, a la edad de 7 y 28 días, según normas UNE-EN 12350-1, UNE-EN 12390-1, UNE-EN 12390-3.
- La comprobación de su consistencia se realizará a pie de obra, mediante el cono de Abrams, según norma UNE-EN 12350-2.

Por otra parte el Contratista especificará al responsable de la planta de hormigonado, las características del hormigón a utilizar, principalmente en lo que respecta a resistencia y consistencia.

30.4. Piezas prefabricadas de hormigón armado o pretensado

El fabricante presentará un expediente en el que se recojan las características tales como:

- Calidad del Hormigón.
- Calidad del acero.
- Dimensiones y tolerancias.
- Solicitaciones.
- Precauciones durante su montaje.



30.5. Armaduras

- Verificación de la sección equivalente.
- Ensayos y características según Norma UNE 36068:94.
- Comprobación de los valores característicos del material, límite elástico, rotura y alargamiento.
- Verificar que las características de las mallas electro-soldadas de acero para hormigón armado, cumplen con la norma UNE 36092:96.

30.6. Montaje de estructuras metálicas y soportes

Las tolerancias dimensionales de los conjuntos montados serán indicadas en los planos.
Las tolerancias admitidas son :

	Soportes	Estructuras	Dinteles
Aplomado	$\pm \text{altura}/1000 \leq 25 \text{ mm}$	$\pm 3\% \text{ de la altura}$	-
Nivelación	$\pm 2.5 \text{ mm /anclaje mediante hormigón}$		$\pm 3\% \text{ de la longitud}$
Alineación	Holgura que permita el taladro $\leq 2.5 \text{ mm}$ (anclaje mediante pernos)		-
Flecha	-	$\pm \text{altura}/1000 \leq 15 \text{ mm}$	$\pm \text{longitud}/1000 \leq 10 \text{ mm}$

Tabla 20. Condiciones de montaje.

30.7. Notas

- Encarado de pilares para estructuras: $\pm 3 \pm 0$ del eje de alineación.
- Longitud del dintel: ± 5 mm (En los casos que tenga junta de dilatación ± 15 mm).

Para garantizar las condiciones, el control de la ejecución del resto de la obra se ajustará a las Normas, Pliegos e Instrucciones que les sean de aplicación en cada caso.

31. Simultaneidad y coordinación entre suministradores

Dado que en la obra actuarán varios proveedores al mismo tiempo, se exige una coordinación de ciertos trabajos, a tener en cuenta, entre los cuales se encuentran:

- Suministros y montajes de los transformadores de potencia 66/20kV, 25 MVA.
- Recepción y coordinación de suministro de celdas de Alta y Media Tensión.
- Dicha coordinación se llevará a cabo desde la Dirección de Obra, siendo obligación del Suministrador adjudicatario el disponer de los medios y mano de obra necesarios para no interferir en el desarrollo de los demás suministradores de la instalación, cumpliendo la planificación estimada.
- El Suministrador deberá tener en cuenta a la hora de programar y ejecutar los trabajos las fechas de recepción en obra comprometidas para la diversa aparamenta suministrada por terceros, de forma que se realicen las tareas de descarga y montaje sin demoras, evitando el acopio de los diversos elementos en campo:
 - Contadores y Registradores
 - Celdas de 20kV
 - Celdas de 66kV
 - Transformadores de Potencia

31.1. Plan básico de tiempos

En dicho plan quedaran reflejados los tiempos desde la petición del material hasta su llegada a obra, estos tiempos contienen ciertos márgenes, la fecha limite indica material en obra ya recibido y listo para su montaje.

32. Señalización y balizamiento

32.1. Introducción

Corresponden a este apartado el conjunto de unidades de obra que deberán ser utilizadas como señalización definitiva o balizamiento para la ejecución definitiva o provisional de las obras alcance del proyecto.

Esta señalización y balizamiento podrán ser verticales u horizontales (marcas viales).

Ambas verificarán lo especificado en la "Instrucción de Carretera", NORMA 8.1-1C y 8.2-1C respectivamente.

32.2. Barrera de seguridad

Las bandas de seguridad se utilizan como elementos de conmutación en perfiles de seguridad. Están formadas por dos elementos de contacto que mantienen una determinada distancia entre ellos, dependiendo del tipo; uno dispone de un elemento metálico conductor flexible y el otro dispone de un material de goma con filamento conductor interno de cobre dotando así al perfil todavía de una mayor flexibilidad.

La banda de seguridad se remacha con unas piezas terminales en sus extremos y todo el conjunto es el que se desliza por el interior del perfil de goma conectándose a la correspondiente unidad de evaluación que dará una señal al presionar sobre el perfil de goma, resultando de este modo un sistema de banda y perfil sensible.

La barrera de seguridad será de fleje de acero al carbono, laminado en frío y galvanizado, de tres milímetros (3 mm) de espesor y su perfil estará constituido por una doble onda y que se corresponden con la banda modelo AASHO-M-180-60.

La tolerancia en espesor será de tres décimas de milímetro (0.3 mm); la longitud de cada elemento será de cuatro metros treinta y dos centímetros (4.32 cm), solapándose dos sucesivos, treinta y dos centímetros (32 cm), de modo que la distancia entre eje de postes consecutivos sea de cuatro metros (4.00 m).

El solape se hará siempre de tal modo que el vehículo que circule por la calzada correspondiente, no pueda ver el canto del elemento superpuesto.

En algunos casos especiales y entre cada dos postes de los antes definidos, se interpondrá otro, de modo que la distancia entre ejes, quede reducida a dos metros (2.00 m).

Los postes de fijación serán perfiles normales I de doce centímetros (12 cm) galvanizados, a los que previamente se habrán practicado los taladros precisos para anclaje de la barrera. Estos taladros estarán situados y tendrán los diámetros fijados en los Planos. Cumplirán lo especificado en el Art. 250 del PG-3.

Los postes se colocarán por hincia o anclados cuando estén sobre terraplén y se soldarán a las placas de anclaje provistas, cuando estén sobre obras de fábrica.

- Toda la tornillería será galvanizada.
- La recepción de todos los materiales galvanizados se efectuara de acuerdo con lo prescrito en el epígrafe 701.7 del PG-3.
- El tipo de acero galvanizado empleado en la fabricación de elementos metálicos será el F-622 de la Norma UNE-36.082.
- La situación de las barreras así como los elementos que la forman se señalan en los Planos correspondientes.
- El instalador deberá seguir estrictamente las instrucciones de montaje de los planos y en su caso las que reciba del Director de la obra, tanto en lo referente a situación de la barrera como al método de instalación.

Los terminales de barrera de seguridad serán de dos clases:

- A la terminal en "cola de pez".



- Por anclaje inicial retranqueado en planta y anclado en un macizo de hormigón. Los elementos de unión como tuercas, pernos, arandelas, etc., serán de acero y estarán galvanizados.

Otros elementos como el mortero, hormigón H-175, armaduras y pintura para la imprimación anticorrosiva, cumplirán las prescripciones impuestas en los correspondientes artículos del PG-3.

La ejecución de las obras comprende las siguientes operaciones:

- Replanteo
- Cimentaciones
- Instalación de postes
- Colocación de amortiguadores
- Fijación de las bandas terminales.

Las bandas sometidas a un ensayo de flexión entre apoyos especiales a cuatro metros (4 m) y la carga aplicada en el centro de la luz sobre una superficie de ocho centímetros cuadrados (8 cm²) cumplirán las siguientes condiciones:

	Ondulación hacia arriba	Ondulación hacia abajo
Carga en kilogramos (kg)	600-900	550-720
Flecha máxima en milímetros (mm)	70-140	70-140

Tabla 21. Características mecánicas.

En el precio de la unidad de metros lineales de barrera de seguridad se considerarán incluidos los siguientes conceptos:

- La propia barrera de seguridad.
- La parte proporcional de los perfiles de sustentación, amortiguadores galvanizados, tornillos.
- Replanteo, instalación y montaje.

33. Recepción de las obras

Al término de las obras comprendidas en este Proyecto, se hará una recepción de las mismas, levantándose la correspondiente Acta, en la que se hará constar la conformidad con los trabajos realizados, si éste es el caso, dándose la obra por terminada si se ha ejecutado correctamente de acuerdo con el presente Pliego de Condiciones.

En el caso de no hallarse la obra en estado de ser recibida, se hará constar así en el Acta, y se darán las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados, fijándose un plazo de ejecución. Expirado dicho plazo, se hará un nuevo reconocimiento.

Para la recepción y puesta en servicio de la instalación se realizarán las pruebas que se precisen para asegurar su correcto funcionamiento. Se pueden distinguir tres fases, en las cuales se exponen los ejemplos más significativos, teniendo que cumplimentar en cada fase los Planes de Puntos de Inspección correspondientes según la Guía de Construcción de ISUB G-DS-3.0.01.

33.1. Medición y comprobaciones

- Medida de resistencia de la malla de tierra y de las tensiones de paso y contacto.
- Medida del aislamiento de los bobinados. Comprobación del nivel de gas SF₆.
- Polaridad de los TI.
- Timbrado de cables de control.

33.2. Pruebas locales y PES de equipos de baja tensión

- Pruebas funcionales de seccionadores.
- Pruebas funcionales de interruptores.
- Pruebas funcionales de transformadores de potencia.
- Pruebas y puesta en servicio de rectificadores y baterías de acumuladores. Puesta en servicio de armarios de servicios Auxiliares.

A la finalización de la obra, el contratista entregará un expediente de Fin fe Obra que comprenderá:

- Los protocolos de las pruebas realizadas.
- Dos copias de planos "AS-BUILD", en rojo y amarillo.



Capítulo V

Presupuesto

En esta sección se ofrece un presupuesto detallado de todos los trabajos que hay que realizar para la construcción de la subestación así como de todos y cada uno de los elementos que formarán parte de la misma.

La separación está hecha en unidades constructivas, donde primeramente se hace una descripción de las mismas. En segundo lugar, se muestra una relación tabulada de todos los elementos, en su correspondiente magnitud y cantidad.

1. Ingeniería y dirección facultativa

1.1. Ingeniería básica

Pago del proyecto al ingeniero que ha elaborado el proyecto.

1.2. Ingeniería de detalle

Pagos por estudios y cálculos de Ingeniería Eléctrica, Mecánica, de Seguridad, de Tuberías y Canalizaciones, de Protecciones y de instrumentación.

1.3. Dirección facultativa

Sueldo del ingeniero al que se le ha encomendado la obra por parte de la constructora. Tiene la labor de controlar la ejecución de los trabajos a lo largo del desarrollo de la obra.

1.4. Estudio geotécnico

Pagos por la realización del estudio geotécnico en el solar donde se construirá la subestación.

1.5. Control de calidad

Cumplimentación de la normativa para asegurar en todo momento la seguridad y calidad de los trabajos que tendrán lugar durante el transcurso de la obra. Cubre tanto los aspectos de elementos eléctricos como los de obra civil.

2. Obra civil

2.1. Demolición de soleras

Demolición de soleras de hormigón en masa, hasta 25 cm de espesor, incluido pavimento de terrazo, con compresor, incluso limpieza y retirada de escombros, carga, y transporte a vertedero.

2.2. Excavación en desmonte

Excavación en desmonte de cualquier tipo de terreno, por cualquier procedimiento, incluso retirada de capa de tierra vegetal, con protección de vías y servicios existentes si fuera necesario, entibación y agotamiento de filtraciones de agua o de lluvia, así como carga, transporte y descarga de productos en lugar de empleo.

2.3. Excavación en cimentaciones, zanjas y pozos

Excavación en cimentaciones, zanjas y pozos en cualquier clase de terreno, excepto roca, por cualquier procedimiento, hasta 4 metros de profundidad; incluso entibación, agotamiento y achique si fuera necesario, extracción, carga, transporte y descarga de productos en lugar de acopio.

2.4. Compactación de terrenos para viales y aceras

Excavación a cielo abierto, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras fuera de la excavación y en vaciados.

2.5. Relleno y apisonado mecánico bajo transformadores

Relleno, extendido y apisonado de zahorras a cielo abierto, por medios mecánicos, en tongadas de 30 centímetros de espesor, hasta conseguir un grado de compactación del 95% del proctor normal, incluso regado de las mismas y refino de taludes.

2.6. Relleno general

Relleno compactado con material adecuado $CBR > 10$, según P.G.3, procedente de préstamos, compactado al 100% del proctor modificado en tongadas de hasta 30 centímetros, incluso extendido y refino.

2.7. Coronación

Viga de hormigón que une la parte superior de los paneles del muro pantalla, con saneamiento previo de hormigón como precaución frente a lodos bentoníticos. La viga de coronación hace que todos los paneles trabajen solidariamente.

2.8. Relleno con material seleccionado procedente de la excavación

Relleno compactado con material filtrante incluso colocación, humectación y compactación.

2.9. Gravillado en paseos y viales

Gravillado del tipo 16/25 milímetros de diámetro, en paseos y viales, incluso extendido, humectación y compactación.

2.10. Transporte a vertedero de elementos desechables

Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km, considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante cargado a máquina.

3. Cimentaciones

3.1. Hormigón armado HA-30/B/20/IIA 2 caras 0.30-0.40 m con vertido grúa o bomba muros

Hormigón armado HA-30N/mm², consistencia blanda, cumpliendo el ensayo de permeabilidad, elaborado en central, en muro de 30 cm. de espesor, incluso armadura (60 kg/m³), ferralla y encofrado.

3.2. Encofrados en madera para zapatas y vigas

Encofrado y desencofrado con madera suelta en zapatas, zanjas, vigas y encepados, considerando 4 posturas diferentes.

3.3. Solera de hormigón armado para zona de transformador

Solera de hormigón de 20 cm. de espesor, realizada con hormigón HA-30 N/mm², T_{máx} 20 mm, elaborado en obra, incluso vertido, colocación y armado con doble mallazo.

3.4. Hormigón general para macizos de cimentación y losas de solera

Hormigón en masa o ligeramente armado, HM-20/P/40/IIa, de fck=20 N/mm² con cemento CEM II/A-M/42.5, arena de río y árido natural de 40 mm de tamaño máximo, elaborado en planta de hormigón, para macizos de cimentación y losas de solera, incluso transporte, colocación, curado, vibrado y parte proporcional de encofrados.

4. Equipos eléctricos

4.1. Celdas GIS de 66 kV

4.1.1. Celda de línea

Celda aislada en SF₆ 66 kV del fabricante ABB y modelo ELK-04 C 145 kV y 40 kA. El interruptor es de 1250 A y 31,5 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

3 TI 400-800/5-5A, ABB.

3 TT inductivo 66:√3 kV / 110:√3 V / 110:√3 V / 110:√3 V, ABB.

La celda incorpora las protecciones de sobreintensidad, alojadas en el armario de control local, así como seccionadores y cuchillas de puesta a tierra.

Los terminales de las celdas (donde se efectúa la unión cable-celda a través de una botella terminal) son 3, de tensiones 38/66 kV para cable aislado de sección máxima 400 mm².

Esta celda está designada en el plano ELEC.01 como P-3.

4.1.2. Celda de transformador de potencia

Celda aislada en SF₆ 66 kV del fabricante ABB y modelo ELK-04 C 145 kV y 40 kA. El interruptor es de 1250 A y 31,5 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.



3 TI 200-400/5-5A, ABB.

La celda incorpora las protecciones de sobreintensidad, alojadas en el armario de control local, así como seccionadores y cuchillas de puesta a tierra.

Los terminales de las celdas (donde se efectúa la unión cable-celda a través de una botella terminal) son 3, de tensiones 38/66 kV para cable aislado de sección 95 mm².

Esta celda está designada en el plano ELEC.01 como P-2.

4.1.3. Celda de acoplamiento

Celda aislada en SF₆ 66 kV del fabricante ABB y modelo ELK-04 C 145 kV y 40 kA. El interruptor es de 2500 A y 31,5 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

3 TI 600-1200/5-5A, ABB.

La celda incorpora seccionadores y cuchillas de puesta a tierra, cuyos accionamientos se encuentran alojados en el armario de control local.

Esta celda está designada en el plano ELEC.01 como P-1.

4.1.4. Celda de medida de tensión en barras

Celda aislada en SF₆ 66 kV del fabricante ABB y modelo ELK-04 C 145 kV y 40 kA. El interruptor es de 2500 A y 31,5 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

6 TT inductivo 66:√3 kV / 110:√3 V / 110:√3 V / 110:√3 V, ABB. (Tres por fase).

La celda incorpora cuchillas de puesta a tierra, cuyos accionamientos se encuentran alojados en el armario de control local.

Esta celda está designada en el plano ELEC.01 como P-4.

4.2. Celdas GIS de 20 kV

4.2.1. Celda de línea

Celda aislada en SF₆ 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. El interruptor es de 1250 A y 25 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

3 TI 400-1200/5A, ABB.

1 TI toroidal 60/1 A, ABB.

La celda incorpora seccionadores y cuchillas de puesta a tierra, cuyos accionamientos se encuentran alojados en el armario de control local.

Esta celda está designada en el plano ELEC.02 como P-3.

4.2.2. Celda de transformador de potencia

Celda aislada en SF₆ 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. El interruptor es de 2000 A y 25 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

3 TI 1200/5A, ABB.

3 TT inductivo 22:√3 kV / 110:√3 V / 110:√3 V / 110:√3 V, ABB.

La celda incorpora seccionadores y cuchillas de puesta a tierra, cuyos accionamientos se encuentran alojados en el armario de control local.

Esta celda está designada en el plano ELEC.02 como P-2.

4.2.3. Celda de remonte

Celda aislada en SF₆ 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. Permite la conexión mediante cable aislado entre la primera y la segunda sección de las barras de 20 kV.

Esta celda está designada en el plano ELEC.02 como P-5.

4.2.4. Celda de transformador de servicios auxiliares

Celda aislada en SF₆ 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. El interruptor es de 2000 A y 25 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

3 TI 1200/5A, ABB.

3 TT inductivo 22:√3 kV / 110:√3 V / 110:√3 V / 110:√3 V, ABB.

La celda incorpora seccionadores y cuchillas de puesta a tierra, cuyos accionamientos se encuentran alojados en el armario de control local.

Esta celda está designada en el plano ELEC.03 como P-7.



4.2.5. Celda de medida de tensión

Celda aislada en SF6 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. El interruptor es de 2000 A y 25 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

6 TT inductivo 22:√3 kV / 110:√3 V / 110:√3 V / 110:√3 V, ABB. (Tres por fase).

La celda incorpora cuchillas de puesta a tierra, cuyos accionamientos se encuentran alojados en el armario de control local.

Esta celda está designada en el plano ELEC.02 como P-4.

4.2.6. Celda de acoplamiento transversal

Celda aislada en SF6 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. El interruptor es de 2000 A y 25 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

Dispone de cuchillas de puesta a tierra.

Esta celda está designada en el plano ELEC.02 como P-1.

4.2.7. Celda de acoplamiento longitudinal

Celda aislada en SF6 20 kV del fabricante ABB y modelo ZS8.4 20 kV y 25 kA. El interruptor es de 2000 A y 25 kA de cortocircuito (mando unipolar) del mismo fabricante.

Dispone de cuchillas de puesta a tierra.

Esta celda está designada en el plano ELEC.03 como P-6.

4.3. Transformadores

4.3.1. Transformador de potencia

Transformador de potencia principal de la subestación, y de servicio continuo, modelo Dry Type Cast-Coil y del fabricante ABB.

La relación de transformación es 69 (+4/-12)x1.25% / 24 kV (cuenta con un cambiador de tomas en carga) y su potencia aparente es de 25 MVA. Su frecuencia nominal es de 50 Hz.

El transformador es de aislamiento dieléctrico en aceite y su refrigeración es natural, a través de un cambiador de calor con aletas laterales. El grupo de conexión es Dyn11 y su tensión de cortocircuito es del 4%.

El arrollamiento de cobre se realiza sobre el núcleo de tres columnas de hierro.

4.3.2. Transformador de servicios auxiliares

Transformador de potencia de servicios auxiliares de la subestación, y de servicio continuo, modelo Transforma Organic y del fabricante Ormazábal.

La relación de transformación es 40/0,4 kV (no tiene cambiador de tomas) y su potencia aparente es de 160 kVA. Su frecuencia nominal es de 50 Hz.

La refrigeración es natural, es decir, del tipo AN. El grupo de conexión es Dyn11 y su tensión de cortocircuito es del 13%.

El arrollamiento de cobre se realiza sobre el núcleo de tres columnas de hierro.

4.4. Cables aislados

4.4.1. Cable AL Voltalene H LX HI0Z1

Cable de la marca Prysmian. Su tensión de aislamiento es de 12/20 kV. Cumple con las condiciones requeridas respecto a la no propagación de la llama y aparición de arborescencias por humedad.

Su sección es de 240 mm² y la cubierta es de aislamiento XLPE, resistente a la rotura, y cuenta con una pantalla de cinta e hilos de Cu.

4.4.2. Cable AL Voltalene H RHZ1-20L

Cable de la marca Prysmian. Su tensión de aislamiento es de 36/66 kV. Cumple con las condiciones requeridas respecto a la no propagación de la llama y aparición de arborescencias por humedad.

Su sección es de 16 mm² y la cubierta es de aislamiento XLPE, resistente a la rotura, y cuenta con una pantalla de cinta e hilos de Cu.

4.4.3. Cable AL Eprotenax H Compact

Cable de la marca Prysmian. Su tensión de aislamiento es de 12/20 kV. Cumple con las condiciones requeridas respecto a la no propagación de la llama y aparición de arborescencias por humedad.

Su sección es de 50 mm² y la cubierta es de aislamiento XLPE, resistente a la rotura, y cuenta con una pantalla de cinta e hilos de Cu.

4.5. Autoválvula

Autoválvula para protección del transformador de potencia principal, modelo Exlim R de la marca ABB. Su resistencia variable es de óxido de zinc.

Su tensión nominal es de 72 kV y su corriente nominal es de 10 kA.



4.6. Protecciones en 66 kV

4.6.1. Relé de mínima tensión

Relé de protección de mínima tensión de la marca ABB, modelo REU615 IEC.

4.6.2. Relé de sincronismo

Relé de sincronismo de la marca General Electric-Grid Solutions, modelo MLJ-DSCR

4.6.3. Relé de distancia

Relé de distancia de la marca ABB, modelo REL670 IEC.

4.6.4. Relé de sobreintensidad direccional

Relé de sobreintensidad direccional de la marca ABB, modelo REJ605 IEC.

4.7. Protecciones en 20 kV

4.7.1. Relé de sub-frecuencia

Relé de sub-frecuencia de la marca General Electric-Grid Solutions, modelo MIV II.

4.7.2. Relé de sobre-frecuencia

Relé de sub-frecuencia de la marca General Electric-Grid Solutions, modelo MIV II.

4.7.3. Relé de sobreintensidad de fase

Relé de sobreintensidad de la marca ABB, modelo REJ605 IEC.

4.7.4. Relé de sobreintensidad de neutro

Relé de sobreintensidad de la marca ABB, modelo REJ605 IEC.

4.8. Protecciones del transformador

4.8.1. Relé diferencial

Relé de diferencial de la marca ABB, modelo RED650 IEC.

4.8.2. Relé de sobreintensidad de fase

Relé de sobreintensidad de la marca ABB, modelo REJ605 IEC.

4.8.3. Relé de sobrecarga

Relé de sobrecarga de la marca ABB, modelo PML630 IEC.



4.9. Servicios auxiliares

4.9.1. Cuadro general de BT de CA

Cuadro de BT de CA modelo Prisma G IP30 de la marca Schneider Electric.

4.9.2. Cuadros de distribución

Cuadro de BT de CA modelo Prisma G IP43 de la marca Schneider Electric.

4.9.3. Cuadro general de CC

Cuadro de BT de CA modelo Prisma G IP30 de la marca Schneider.

4.9.4. Baterías

Batería con equipo rectificador de la marca Siemens para sistema de 125 Vcc.

4.10. Alumbrado

4.10.1. Alumbrado exterior de la subestación

Luminaria intemperie con tapa de metacrilato para lámpara de 70 W Hg. Incluye la u/eléctrica de encendido y la lámpara, así como su brazo mural.

4.10.2. Alumbrado de emergencia fluorescente de 12 W

Equipo autónomo de emergencia de 1x12 W fluorescente con autonomía de 1h.

4.10.3. Luminaria colgante de 60 W

Luminaria de 60 W para instalar colgando del techo .

4.10.4. Luminaria con lámpara incandescente

Luminaria con reflector de aluminio abrillantado, anodizado y soporte de fundición de aluminio inyectado color gris. Incluido lámpara incandescente de 100 W.

5. Estructuras

5.1. Acero corrugado B-500-SD en redondo de diferentes diámetros, elaborado y colocado

Acero corrugado B-500-SD en redondo de diferentes diámetros, elaborado y colocado.

5.2. Hormigón en masa HM-20/P/20/Ila vibrado, en cimientos de estructura principal y soportes

Suministro y colocación de hormigón en masa HM-20/P/20/Ila vibrado, en cimientos de estructura principal y soportes, incluido la colocación de anclajes o pernos correctamente, encofrado visto, punta de diamante y limpieza de pernos, quedando rematada la cimentación.

5.3. Hormigón para armar HA-25/B/20/Ila vibrado, en bancada del transformador

Suministro y colocación de hormigón para armar HA-25/B/20/Ila vibrado, en bancada del transformador, incluido la colocación de acero y quedando rematado el trabajo.

5.4. Hormigón armado para pilares

Hormigón armado HA-40 N/mm², consistencia blanda elaborado en central, en losas planas e inclinadas, incluso p.p. de armadura, ferralla, distanciadores y encofrado de madera vertido con bomba, vibrado y enrasado mecánico, colocado y curado con filmógeno.

5.5. Cimbra metálica para montaje de encofrados y hormigonado y andamiaje

Cimbra metálica para montaje de encofrados y hormigonado de elementos singulares de hormigón a gran altura, incluyendo montaje y desmontaje, alquiler y transportes, medios auxiliares y andamios para operaciones de encofrado.

5.6. Junta de dilatación losas

Junta de dilatación estructural entre losas, forjados o encuentros forjado-muro, mediante plancha de poliestireno expandido de 2 cm de espesor

5.7. Vías de transformadores

Carril UPN-180 de acero en vías para transformadores, incluso replanteo y uniones, tornillería, anclajes con resina epoxi en placa, nivelación de las mismas, así como soldadura de patillas en vía para anclaje de hormigón. Se incluyen en esta unidad todas las medidas de seguridad y salud.

5.8. Muro de cerramiento con panel prefabricado liso y aislante térmico

Muro de cerramiento con panel prefabricado liso, sección rectangular de 20 cm. de ancho con 3 cm de aislante térmico interior a base de EPS tipo I- M1(anti-inflamable), acabado en tipo molde, según documentación gráfica, fabricado con hormigón HA-30 N/mm², tmáx.20 mm, consistencia plástica, árido 20 mm color hormigón natural gris, hasta 6.6 m. de altura,

incluso p.p. de estructura prefabricada de hormigón, pilares, jácnas, correas, vigas porta canalón, montaje con ayuda de grúa automóvil, apeos y sellado de juntas interiores y exteriores mediante caucho de silicona neutra gris y cajeados de huecos, tratamiento superficial exterior anticarbonatación.

6. Albañilería

6.1. Piezas prefabricadas de hormigón para galería de cables simple

Construcción de galería de cables simple, cuyos laterales y solera estarán formados con piezas prefabricadas de hormigón de 20x15x26 cm. y de 40x20x10 cm. respectivamente, cogidas con mortero de cemento bastardo.

Se seguirá la siguiente dosificación: 1 parte de cemento, ½ parte de cal hidráulica y 4 y 1/2 partes de arena. La galería estará formada por un canal de 45x22 cm. de sección interior. El precio incluirá: excavación y retirada de tierras a vertedero. Formación de la galería con piezas prefabricadas así como su suministro. Tapas prefabricadas tanto normales como especiales. Todas las operaciones necesarias para dejar totalmente rematado el trabajo, incluso p.p. de angulares.

6.2. Piezas prefabricadas de hormigón para galería de cables de 20 kV

Construcción de galería de cables simple en paso de carretera, formada por laterales y solera de hormigón armado de 20 y 15 cm. de espesor respectivamente y armado con malla de acero corrugado de 8 mm diámetro y 25 cm de cuadrícula.

La sección interior de la zanja será de igual forma y dimensiones que la doble normalizada. La terminación de la moldura sujeta-tapas irá protegida con un perfil PNL de 45.45.5 galvanizado y con garras cada 0,50 m para su sujeción al hormigón. La galería estará formada por un canal de 45x22cm de sección interior. El precio incluirá: Excavación y retirada de tierras a vertedero. Ejecución de galería, hormigón, encofrado, etc. Tapa metálica normalizada para paso de carretera.- Todas las operaciones necesarias para dejar totalmente rematado el trabajo.

6.3. Bancada del transformador

Bancada para transformador de potencia formado por una losa de hormigón, incluyendo armados. Se incluye rejilla metálica y suministro de grava gruesa.

6.4. Suelo técnico elevado sobre solera

Suelo técnico elevado 500 mm sobre solera, con baldosas de 600x600 mm y 40 mm de espesor, formado por paneles aglomerados de alta densidad encapsulados entre dos chapas de acero galvanizado o de aluminio ignifugado M-1, cara superior y cantos revestidos en PVC, antiestáticos, para una sobrecarga uniforme mínima de 2000 kg/m² y puntual de 450 kg, incluso soportes con base y cabeza graduable de acero galvanizado y travesaños de chapa galvanizada conformada de 1.5 mm de espesor mínimo, totalmente terminado, montado, adherido a solera y probada su capacidad portante.

7. Cubiertas y pavimentos

7.1. Cubierta para edificio prefabricado

Cubierta para un edificio prefabricado de 25x23m, que formará el techo de la subestación, formado por: panel sándwich en perfil comercial para luz de 1.80 m y sobre-carga de 100 daN/m², compuesto de chapa interior de acero galvanizado de 0.6 mm, chapa exterior de acero prelacada, color gris RAL 7040, con núcleo de espuma de poliuretano de 40 kg/m³ con un espesor total de 40 mm, en perfil comercial tipo Delfos de Europerfil o similar aprobado, montado sobre correas de hormigón pretensado mediante fijaciones mecánicas, i/p.p. de solapes, accesorios de fijación, juntas de estanqueidad, remates laterales, medios auxiliares y elementos de seguridad, s/NTE-QTG-8, medida en verdadera magnitud, canalón oculto de chapa de acero galvanizada, perfil de remate para unión entre canalón y panel, perfil de remate de coronación de panel de fachada.

7.2. Bajante de acero galvanizado D=100 mm

Bajante de chapa de acero galvanizado para recogida de aguas pluviales, de 100 mm de diámetro, instalada con p.p. de conexiones, codos y abrazaderas.

7.3. Falso suelo en sala de servicios auxiliares

Pavimento elevado y registrable compuesto por baldosas de medidas 600x600 mm de lado y espesor 35 mm, que formarán una superficie de 15x4m.

Su composición será de partículas de alma de madera prensada con densidad 650 kg/m³. Canto perimetral de PVC será de espesor 1.5 mm Con revestimiento superior de pavimento vinílico homogéneo prensado con una resistencia eléctrica de 1MΩ. Las baldosas irán apoyadas sobre pedestales de acero zincado sin ningún punto de soldadura. Incluso ventosa para registro.

7.4. Pavimento continuo epoxi autonivelante para resto de salas

Pavimento autonivelante epoxi con un espesor de 3.0 mm, consistente en una capa de imprimación epoxi sin disolventes espatulada formación de capa base epoxi sin disolventes coloreada sobre superficies de hormigón o mortero, sin incluir la preparación del soporte.

8. Carpintería

8.1. Carpintería exterior

8.1.1. Puerta corredera

Puerta corredera exterior de 6.00x2.20 m. Servirá para el acceso y maniobra de los equipos durante la instalación y su posterior uso. Estará formada por una hoja construida con zócalo de chapa plegada de acero galvanizado, perfiles y barrote verticales de refuerzo perimetral en acero, guía inferior, topes, cubreguías, tiradores, pasadores, cerradura, equipo motriz monofásico con velocidad de apertura de 0.20 m/s., armario metálico estanco para componentes electrónicos de maniobra, accionamiento ultrasónico a distancia, pulsador interior apertura/cierre/paro, receptor, emisor bicanal, fotocélula de seguridad, y demás accesorios necesarios para su funcionamiento, elaborada en taller, ajuste y montaje en obra.

8.1.1.1. Puerta de chapa

Puerta ciega de chapa lisa para el acceso peatonal desde el exterior de la subestación. Será de tipo bastidor de tubo de acero laminado 80x40x1.5m. con elementos rigidizadores de tubo rectangular, incluso patillas para recibir en fábricas o pilastras de hormigón, y elementos de seguridad.

8.2. Carpintería interior

8.2.1. Mirilla circular

Mirilla circular de 360 mm de diámetro, con cristal, homologada, para puertas cortafuegos, vidrio 60 minutos

8.2.2. Barra antipánico con puerta de una hoja

Barra antipánico de sobreponer para puerta de una hoja con cierre alto y bajo sin acceso exterior, totalmente colocada, incluso mecanismo cierrapuertas.

8.2.3. Barra antipánico con puerta de dos hojas

Barra antipánico de sobreponer para puerta de dos hojas con cierre alto y bajo sin acceso exterior, totalmente colocada, incluso mecanismo cierrapuertas.

8.2.4. Puerta cortafuegos EI2-90-C5

Puerta metálica cortafuegos de una hoja pivotante de 1.00x2.10 m., construida con dos chapas de acero electro-cincado de 0.80 mm de espesor y cámara intermedia de material aislante ignífugo, sobre cerco abierto de chapa de acero galvanizado de 1.20 mm de espesor, con siete patillas para fijación a obra, cerradura embutida y cremón de cierre automático, elaborada en taller, ajuste y fijación en obra, incluso acabado en pintura epoxi polimerizada al horno.

8.2.5. Puerta cortafuegos EI2-90-C5

Puerta metálica cortafuegos de hoja pivotante homologada, construida con dos chapas de acero electro-cincado y cámara intermedia de material aislante ignífugo, sobre cerco abierto de chapa de acero galvanizado con siete patillas para fijación a obra, cerradura embutida y cremón de cierre automático, elaborada en taller, ajuste y fijación en obra, incluso acabado en pintura epoxi polimerizada al horno (sin incluir recibido de albañilería).

9. Pintura

9.1. Pintura plástica lisa para exteriores

Pintura plástica lisa, blanca o color para exteriores, con una mano de fondo y dos de acabado, lavable, se procederá al lijado y emplastecido en paramentos de fachada.

9.2. Tratamiento superficial anti-pintadas para exteriores

Tratamiento superficial anti-pintadas para las superficies exteriores de la subestación, a base de emulsión acrílica incolora sobre paramentos verticales y horizontales de ladrillo, hormigón o piedra; formado por limpieza, mano de fondo y mano de acabado.

9.3. Pintura plástica lisa mate estándar

Esta pintura se empleará en la sala de servicios auxiliares. Será una pintura plástica lisa mate lavable estándar obra nueva en blanco o pigmentada, sobre paramentos horizontales y verticales, dos manos, con mano de imprimación y plastecido.

9.4. Pintura plásticas acrílica mate lavable para resto de estancias

Esta pintura se empleará en la estancia de equipos GIS. Será una pintura plástica acrílica lisa mate lavable profesional, en blanco o pigmentada, sobre paramentos horizontales y verticales. Dos manos, con imprimación y plastecido.

10. Fontanería

10.1. Tanque

Depósito de sistema de agua contra incendios para espumógeno con forma cilíndrica horizontal y con membrana. Soportes-patas colocado en superficie, construido en acero de alta resistencia, y elementos de instalación de espumógeno completo a con p/ p de depósitos auxiliares, tubería, bombas de interconexión y sistema de presurización. Medida de la unidad instalada.

10.2. Tubería

Tubería de PVC de 110 mm. diámetro y 3,2 mm. de espesor, para canalizaciones secundarias, incluido excavación, recibido de tubos en galería, codos, tapado zanja y compactado de terreno.

11. Red de tierras

11.1. Conductores

El conductor empleado para la puesta a tierra de la subestación será cable desnudo de cobre de 70 mm².

11.2. Picas

Las picas empleadas para la puesta a tierra serán de 2 metros de longitud y 14,2 mm de diámetro, de la marca Sofamel.

11.3. Soldadura

Soldadura aluminotérmica en cruces o derivaciones de la malla de tierra.

12. Sistemas PCI y anti-intrusismo

12.1. Central de detección de PCI con detectores algorítmicos

Instalación de detección automática de incendios para el conjunto de la subestación. Central de detección hasta para 4 bucles de detección con fuente de alimentación y baterías de emergencia, red de detectores del tipo algorítmico para incorporar a bucle, termo-velocimétricos, o detectores de llama por infrarrojos, según locales, red de detectores óptico analógico para conductos de aire en sistemas de aerorefrigeradores, salas de celdas y control, cableado con manguera libre de halógenos y resistente al fuego ejecutado bajo tubo de acero grapado a paredes o techo con parte proporcional de cajas de registro del mismo material.

12.2. Sistema de detección por conducto aspiración completo para sala principal

Sistema de detección de conducto por aspiración homologado, formado por una caja de soporte a conducto, conteniendo elemento sensible, detector de humos con cámara de detección laser, para cubrir completamente el techo y paredes a distintos niveles. Incluye puntos de muestreo y cable detector. Incluso cableado, accesorios y pequeño material para su instalación y mano de obra para su montaje, conexionado, programación, prueba y puesta en marcha.

12.3. Caja alarma exterior

Caja de alarma recubierta de plástico para activar el sistema de alarma de forma manual en caso de emergencia.

12.4. Pulsadores detección incendio

Pulsadores de seta para su instalación en pared, mano de obra para su instalación, cableado, prueba y puesta en marcha.

12.5. Extintor portátil 5 kg CO₂

Extintor portátil con carga de 5 kg de co₂. Incluso accesorios para instalación sobre pared, transporte y mano de obra para su colocación y montaje.

12.6. Extintor portátil 5 kg polvo polivalente ABC

Extintor portátil, tipo LPG o similar aprobado, con carga de 5 kg de polvo polivalente ABC incluso accesorios para instalación sobre pared, transporte y mano de obra para su colocación y montaje.

12.7. Carro extintor 25 kg CO₂

Carro extintor de 25 kg de carga de polvo polivalente. Incluso mano de obra para su colocación, transporte y montaje.

12.8. Carro extintor 25 kg polvo polivalente ABC

Carro extintor de 25 kg de carga de polvo polivalente. Incluso mano de obra para su colocación, transporte y montaje.

12.9. Cartel indicador normalizado

Cartel indicador normalizado fotosensible, para indicador , extintor, medidor de alarmas, vía de evacuación, acceso prohibido, etc. Incluso accesorios para su instalación, transporte y mano de obra para montaje.

12.10. Sellados verticales y horizontales con RF

Sellados horizontales y verticales en huecos como losa para mantener una resistencia al fuego según situación y necesidades.

12.11. Grupo bombeo del sistema de agua nebulizada y difusores

Grupo de bombeo de espumógeno, formado por bombas de alta presión y caudal apropiado con bomba . Incluso herrajes, pequeño material, colector, presostatos, bastidor, cableado, conexionado hidráulico y mano de obra para su instalación y puesta en servicio. Incluye botellas espumógeno.

12.12. Sistema extinción por agua nebulizada y difusores

Sistemas de extinción por agua nebulizada aprobado en cada una de las salas de recintos de transformadores, formado por sistemas centralizados con batería de botellas autónomas de alta presión de capacidad adecuada a cada sala, instaladas con elementos de fijación, bastidores, latiguillos etc., red de tubería de extinción automática con tubería galvanizada apropiada para cada sala de transformador, difusores orientables, panel de mando y control, regleta de bornes, cableado, pequeño material y medios auxiliares y mano de obra para instalación, montaje y puesta en servicio.

12.13. Sistema anti-intrusismo

Sistemas anti-intrusismo formado por detectores volumétricos, contactos magnéticos en puertas, central de detección general comunicada vía fibra óptica con el exterior. Incluye instalación de tarjetas de accesos, lector biométricos y cámaras de vigilancia.

13. Ventilación

13.1. Equipos de ventilación y conductos de chapa galvanizada para sala de AT

Equipos para la sala de equipos GIS. Están formados por un cajón de ventilación y son de chapa galvanizada. Están rellenos de lana de roca de alta densidad y cuentan con un silenciador acústico en aspiración en chapa galvanizada de espesor adecuado con pasos de aire aptos para las insonorizaciones adecuadas. Tienen 2 ventiladores axiales de caudal 3500 m³/h cada uno, acceso individual para cada ventilador con puerta independiente, silenciador acústico en descarga construido en chapa galvanizada.

Incluye armario control con protecciones magnetotérmicas Incluye cableado interno y compuertas anti-fuego. Incluye los conductos en chapa galvanizada y la instalación hasta los patinillos de descarga y toma de aire exterior.

13.2. Aero-refrigerantes y conductos de chapa galvanizada

Sistema de ventilación forzada del aceite de la cuba del transformador de potencia. El sistema incluye dos baterías de aero-refrigerantes con sus respectivas bombas de aceite y válvulas. Cada batería está conformada por 3 ventiladores axiales de 9.000m³/h para conseguir una ventilación total de 27.000m³/h. Cada batería dispondrá de un armario propio con cada uno de sus protecciones magnetotérmicas por ventilador.

13.3. Aire acondicionado

Sistema de aire acondicionado de tipo “Inverter” con control variable de velocidad. Esta tecnología adapta la velocidad del compresor a las necesidades de cada momento, permitiendo consumir únicamente la energía necesaria. De esta manera se reducen drásticamente las oscilaciones de temperatura, consiguiendo mantenerla en un margen comprendido entre +1°C y -1°C y gozar de mayor estabilidad ambiental y confort.

Gracias a un dispositivo electrónico de alimentación sensible a los cambios de temperatura, los equipos Inverter varían las revoluciones del motor del compresor para proporcionar la potencia demandada. Y así, cuando están a punto de alcanzar la temperatura deseada, los equipos disminuyen la potencia para evitar los picos de arranque del compresor. De esta manera se reduce el ruido y el consumo es siempre proporcional.

14. Seguridad y salud

14.1. Instalaciones de bienestar

14.1.1. Mobiliario de oficina y aseo

Mobiliario de oficina y material para construcción de un aseo. Se situará en una sala separada de la principal.

14.1.2. Acometida provisional fontanería

Acometida provisional de fontanería para obra de la red general municipal de agua potable, realizada con tubo de polietileno de 25 mm de diámetro, de alta densidad y para 10 atmósferas de presión máxima con collarín de toma de fundición, p.p. de piezas especiales de polietileno y tapón roscado, incluso derechos y permisos para la conexión, terminada y funcionando, y sin incluir la rotura del pavimento.

14.1.3. Acometida provisional de saneamiento

Acometida provisional de saneamiento de caseta de obra a la red general municipal, formada por: rotura del pavimento con compresor, excavación manual de zanjas de saneamiento en terrenos de consistencia dura, colocación de tubería de hormigón en masa, con junta de goma de 20 cm. de diámetro interior, tapado posterior de la acometida y reposición del pavimento con hormigón Con p.p. de medios auxiliares.

14.1.4. Portarrollos industrial con cerradura

Portarrollos industrial con cerradura de seguridad, colocado.

14.1.5. Jabonera industrial 1 litro

Dosificador de jabón de uso industrial de 1 l. de capacidad, con dosificador de jabón colocada.

14.1.6. Seca-manos eléctrico

Seca-manos eléctrico por aire, colocado.

14.1.7. Depósito-cubo de basuras

Cubo de plástico para recogida de basuras.

14.1.8. Botiquín de urgencia

Botiquín de urgencia para obra fabricado en chapa de acero, pintado al horno con tratamiento anticorrosivo y serigrafía de cruz. Color blanco, con contenidos mínimos obligatorios, colocado.



14.1.9. Reposición botiquín

Materiales de reposición para el botiquín. Almacenados en lugar seco, prevenido de humedades.

14.2. Señalización

14.2.1. Cinta balizamiento bicolor 8 cm

Cinta de balizamiento bicolor rojo/blanco de material plástico, incluso colocación y desmontaje.

14.2.2. Cono de balizamiento reflectante d=70 mm

Cono de balizamiento reflectante irrompible de 70 cm. de diámetro.

14.2.3. Cartel PVC 220x300 mm para indicaciones

Cartel serigrafiado sobre planchas de PVC blanco de 0.6 mm de espesor nominal. Tamaño 220x300 mm. Válidas para señales de obligación, prohibición y advertencia, colocación y desmontaje.

14.2.4. Cartel PVC para señalización extintor, boca de incendio

Cartel serigrafiado sobre planchas de PVC blanco de 0,6 mm de espesor nominal. Para señales de lucha contra incendios: extintor, boca de incendio colocación y desmontaje.

14.2.5. Panel completo PVC 700x1000 mm

Panel completo serigrafiado sobre planchas de PVC blanco de 0,6 mm de espesor nominal. Tamaño 700x1000 mm Válido para incluir hasta 15 símbolos de señales.

14.2.6. Señal triangular l=70 cm con soporte

Señal de seguridad triangular de L=70 cm., normalizada, con trípode tubular colocación y desmontaje.

14.2.7. Señal circular d=60 cm con soporte

Señal de seguridad circular de D=60 cm., normalizada, con soporte metálico de acero galvanizado de 80x40x2 mm y 2 m. de altura, hormigonado, colocación y desmontaje.

14.2.8. Señal stop d=60 cm con soporte

Señal de stop, tipo octogonal de D=60 cm., normalizada, con soporte de acero galvanizado de 80x40x2 mm y 2 m. de altura, amortizable en cinco usos.

14.2.9. Paleta manual 2 caras stop- obligación

Señal de seguridad manual a dos caras: Stop-Dirección obligatoria, tipo paleta.

14.3. Equipos de protección colectiva

14.3.1. Malla galvanizada simple torsión

Cercado con entelado metálico galvanizado de malla simple torsión y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión de 48 mm de diámetro y tornapuntas tubo acero galvanizado de 32 mm de diámetro, montada, incluso replanteo y recibido con hormigón tensores, y demás accesorios necesarios.

14.3.2. Pasarela metálica hormigonado muros

Pasarela para hormigonar muros de 60 cm de ancho, formada por consolas metálicas sujetas al encofrado con pasadores de seguridad, plataformas metálicas de 3 m. de longitud y barandilla de madera de 15x5 incluso colocación y desmontaje.

14.3.3. Barandilla guarda cuerpos y tubos

Barandilla de protección de perímetros de forjados, compuesta por guarda-cuerpos metálico cada 2.5 m. (amortizable en 8 usos), fijado por apriete al forjado o piquete embutido, pasamanos y travesaño intermedio formado por tubo 50 mm pintado en amarillo y negro.

14.3.4. Protecciones horizontales con cuajado de tablones

Protección horizontal de huecos con cuajado de tablones de madera de pino de 20x7 cm. unidos a clavazón, incluso instalación y desmontaje.

14.3.5. Pasarela madera sobre zanjas

Pasarela para paso sobre zanjas formada por tres tablones de 20x7 cm. cosidos a clavazón y doble barandilla formada por pasamanos de madera de 20x5, rodapié y travesaño intermedio de 15x5 cm., sujetos con pies derechos de madera cada 1 m.

14.4. Equipos de protección individual

14.4.1. Casco de seguridad ajustable con atalajes

Casco de seguridad con atalaje provisto de 6 puntos de anclaje, para uso normal y eléctrico hasta 440 V.

14.4.2. Casco de seguridad dieléctrico

Casco de seguridad dieléctrico con pantalla para protección de descargas eléctricas.

14.4.3. Pantalla de mano soldador

Pantalla de mano de seguridad para soldador, de fibra vulcanizada con cristal de 110 x 55 mm.

14.4.4. Equipo facial de seguridad para soldadura (casco especial)

Pantalla de seguridad para soldador de poliamida y cristal de 110 x 55 mm mas casco con arnés de cabeza ajustable con rueda dentada.

14.4.5. Gafas para soldadura oxiacetilénica

Gafas de seguridad para soldadura oxiacetilénica y oxicorte, montura integral con frontal abatible, oculares planos d=50 mm.

14.4.6. Gafas contra impactos

Gafas protectoras contra impactos, incoloras y de plástico.

14.4.7. Gafas anti polvo

Gafas anti-polvo y anti-empañables para situaciones de contaminación. De tipo panorámico.

14.4.8. Semi máscara anti polvo de 1 filtro

Semi-mascarilla anti-polvo de un filtro protector.

14.4.9. Semi máscara anti polvo 2 filtros

Semi-mascarilla anti-polvo de doble filtro protector.

14.4.10. Cascos protectores auditivos

Filtro de recambio de mascarilla para polvo y humos.

14.4.11. Juego tapones anti ruido silicona

Juego de tapones anti-ruido de silicona ajustables.

14.4.12. Faja de protección lumbar

Faja protección lumbar.

14.4.13. Cinturón portaherramientas

Cinturón portaherramientas.

14.4.14. Mono de trabajo poliéster- algodón

Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón, color azul y con emblema de la empresa.

14.4.15. Traje impermeable

Traje impermeable de trabajo, 2 piezas de PVC.



14.4.16. Traje agua verde ingeniero

Traje de agua color verde tipo ingeniero.

14.4.17. Mandil cuero para soldador

Mandil de cuero para soldador.

14.4.18. Peto reflectante de seguridad

Peto reflectante de seguridad personal en colores amarillo y rojo.

14.4.19. Par guantes aislantes 5000 V

Par de guantes aislantes para protección frente a contacto eléctrico en tensión hasta 5000 V.

14.4.20. Par guantes aislantes 1000V

Par de guantes aislantes para protección frente a contacto eléctrico en tensión de hasta 10000 V.

A continuación se representan por unidades constructivas todos los elementos descritos anteriormente con sus respectivos precios:

Unidad constructiva	C. Total (€)
INGENIERÍA Y DIRECCIÓN FACULTATIVA	554.629,32
INGENIERÍA BÁSICA	190.058,12
INGENIERÍA DE DETALLE	95.486,44
Ingeniería de instrumentación	47.743,22
Ingeniería mecánica	31.828,81
Ingeniería de seguridad	15.914,41
DIRECCIÓN FACULTATIVA	196.390,43
ESTUDIO GEOTÉCNICO	7.405,16
CONTROL DE CALIDAD	65.289,16

Unidad constructiva	Cantidad	C. Unit. (€)	C. Total (€)
OBRA CIVIL			171.859,04
Demolición de soleras (m2)	100	31,21	3.120,75
Excavación en desmonte (m3)	450	3,27	1.473,05
Excavación en cimentaciones (m3)	700	11,78	8.243,48
Compactación de terrenos (m3)	2.100	1,88	3.940,10
Relleno y apisonado mecánico (m3)	335	16,44	5.506,42
Relleno general (m3)	2.300	6,68	15.356,23
Coronación (m3)	400	8,11	3.245,50
Relleno (m3)	400	9,37	3.748,49
Gravillado en paseos y viales (m2)	120	16,67	1.999,99
Transporte a vertedero (m3)	25.400	4,93	125.225,05
CIMENTACIONES			287.670,31
Hormigón armado HA-30/B/20/IIA (m3)	1500	176,61	264.909,12
Encofrados en madera (m2)	400	17,23	6.890,19
Solera de hormigón armado (m2)	155	35,94	5.570,39
Hormigón general (m3)	125	82,40	10.300,61

Unidad constructiva	Cantidad	C. Unit. (€)	C. Total (€)
ESTRUCTURAS			403.680,62
Acero corrugado B-500-SD (kg)	170	2,40	407,18
Hormigón en masa HM-20/P/20/IIa (m3)	68	162,18	11.027,90
Hormigón para armar HA-25/B/20/IIa (m3)	155	173,15	26.838,72
Hormigón armado para pilares (m3)	1.005	274,45	275.822,25
Cimbra metálica encofrado	1	14.970,00	14.970,00
Junta de dilatación losas	1	698,60	698,60
Vías de transformadores	30	72,82	2.184,72
Muro de cerramiento (m2)	575	124,75	71.731,25
ALBAÑILERÍA			94.949,72
Piezas prefabricadas de hormigón galería I	60	209,58	12.574,80
Piezas prefabricadas de hormigón galería II	30	657,18	19.715,49
Bancada del transformador	2	698,60	1.397,20
Suelo técnico elevado sobre solera (m2)	500	122,52	61.262,23
CUBIERTAS Y PAVIMENTOS			75.636,70
Cubierta para edificio prefabricado (m2)	575	72,32	41.581,17
Bajante de acero galvanizado D=100 mm (m)	50	13,67	683,63
Falso suelo en sala de servicios auxiliares (m2)	48	58,19	2.793,28
Pavimento continuo epoxi (m2)	545	56,11	30.578,62
CARPINTERÍA			7.126,34
CARPINTERÍA EXTERIOR			4.234,02
Puerta corredera 8.00x2.20 m	1	3.562,86	3.562,86
Puerta ciega de chapa lisa	1	671,16	671,16
CARPINTERÍA INTERIOR			2.892,32
Mirilla circular 360 mm puerta RF	2	121,83	243,65
Barra antipánico puerta 1 hoja	2	181,60	363,19
Barra antipánico puerta 2 hojas	2	373,63	747,26
Puerta cortafuegos EI2-90-C5	1	649,25	649,25
Puerta cortafuegos EI2-120-C5	1	888,97	888,97
PINTURA			39.192,26
Pintura plástica lisa para exteriores (m2)	1.725	5,91	10.191,58
Tratamiento superficial (m2)	1.725	9,74	16.802,33
Pintura plástica lisa mate estándar (m2)	120	6,38	765,27
Pintura plástica acrílica mate (m2)	1.600	7,15	11.433,09
FONTANERÍA			7.477,91
Tanque de membrana	1	7.236,00	7.236,00
Tubería de PVC para canalizaciones secundarias	8	30,24	241,92

Unidad constructiva	Cantidad	C. Unit. (€)	C. Global (€)	C. Montaje (€)	C. Total (€)
EQUIPOS ELÉCTRICOS					4.036.237,75
CELDAS GIS (66 kV)	8				1.639.039,42
Celda de línea	3	199.448,54	598.345,62	119.669,12	718.014,74
Celda de transformador de potencia	3	171.001,32	513.003,96	102.600,79	615.604,75
Celda de medida de tensión	1	98.740,06	98.740,06	19.748,01	118.488,07
Celda de acoplamiento	1	155.776,54	155.776,54	31.155,31	186.931,85
CELDAS GIS (20 kV)	27				1.471.567,98
Celda de línea	14	42.589,65	596.255,10	119.251,02	715.506,12
Celda de transformador de potencia	3	52.617,55	157.852,66	31.570,53	189.423,19
Celda de remonte	2	37.672,50	75.345,01	15.069,00	90.414,01
Celda de transformador de SSAA	2	37.283,24	74.566,49	14.913,30	89.479,79
Celda de medida de tensión	2	38.909,43	77.818,85	15.563,77	93.382,62
Celda de acoplamiento transversal	2	41.858,35	83.716,69	16.743,34	100.460,03
Celda de acoplamiento longitudinal	2	80.375,93	160.751,85	32.150,37	192.902,22
TRANSFORMADORES	4				683.719,10
Transformador de potencia	2	257.507,82	515.015,64	103.003,13	618.018,77
Transformador de SSAA	2	27.375,14	54.750,28	10.950,06	65.700,34
CABLES AISLADOS					32.365,14
Cable AL Valtalene H LX H10Z1 (m)	120	44,91	5.389,20	1.077,84	6.467,04
Cable AL Valtalene H RHZ1-20L (m)	700	29,94	20.958,00	4.191,60	25.149,60
Cable AL Eprotenax H Compact (m)	25	24,95	623,75	124,75	748,50
AUTOVÁLVULA	2	623,75	1.247,50	249,50	1.497,00
PROTECCIONES (66 kV)	7				46.653,19
Relé de mínima tensión	1	7.076,52	7.076,52	1.415,30	8.491,82
Relé de sincronismo	2	3.965,55	7.931,11	1.586,22	9.517,33
Relé de distancia	2	8.896,67	17.793,34	3.558,67	21.352,01
Relé de sobreintensidad direccional	2	3.038,35	6.076,69	1.215,34	7.292,03
PROTECCIONES (20 kV)	30				92.872,54
Relé de sub-frecuencia	1	3.249,51	3.249,51	649,90	3.899,41
Relé de sobre-frecuencia	1	3.249,51	3.249,51	649,90	3.899,41
Relé de sobreintensidad de fase	14	2.531,96	35.447,38	7.089,48	42.536,86
Relé de sobreintensidad de neutro	14	2.531,96	35.447,38	7.089,48	42.536,86
PROTECCIONES (Transformador)	5				19.590,89
Relé diferencial	1	4.083,22	4.083,22	816,64	4.899,86
Relé de sobreintensidad de fase	2	2.531,96	5.063,91	1.012,78	6.076,69
Relé de sobrecarga	2	3.589,31	7.178,61	1.435,72	8.614,34
SERVICIOS AUXILIARES					43.892,04
Cuadro general de BT de CA	1	10.479,00	10.479,00	2.095,80	12.574,80
Cuadros de distribución	2	5.489,00	10.978,00	2.195,60	13.173,60
Cuadro general de CC	1	5.788,40	5.788,40	1.157,68	6.946,08
Baterías	1	9.331,30	9.331,30	1.866,26	11.197,56
ALUMBRADO					5.040,45
Alumbrado exterior de la subestación	1	1.617,55	1.617,55	323,51	1.941,06
Alumbrado de emergencia	10	157,68	1.576,84	315,37	1.892,21
Luminaria colgante	2	104,79	209,58	41,92	251,50
Luminaria con lámpara incandescente	6	132,73	796,40	159,28	955,68

Unidad constructiva	Cantidad	C. Unit. (€)	C. Global (€)	C. Montaje (€)	C. Total (€)
RED DE TIERRAS					182.047,89
Conductor (m)	4.031	14,97	60.344,07	12.068,81	72.412,88
Picas	20	23,95	479,04	95,81	574,85
Soldadura	3.968	22,90	90.883,47	18.176,69	109.060,16

Unidad constructiva	Cantidad	C. Unit. (€)	C. Global (€)	C. Montaje (€)	C. Total (€)
SISTEMAS PCI Y ANTI-INTRUSISMO					249.508,19
Central de detección de incendios	1	13.385,18	13.385,18	2.677,04	16.062,21
Sistema de captación de humo	1	435,88	435,88	87,18	523,05
Tubo toma muestra aspiración (m)	340	3,80	1.292,81	258,56	1.551,37
Caja alarma exterior	1	227,19	227,19	45,44	272,63
Pulsadores detección incendio	10	9,73	97,31	19,46	116,77
Extintor portátil 5 kg CO2	5	32,73	163,67	32,73	196,41
Extintor portátil 5 kg polvo	5	22,75	113,77	22,75	136,53
Carro extintor 25 kg CO2	2	174,90	349,80	69,96	419,76
Carro extintor 25 kg polvo	1	133,98	133,98	26,80	160,78
Cartel indicador normalizado	22	5,40	118,78	23,76	142,54
Sellados ignífugos	1	8.982,00	8.982,00	1.796,40	10.778,40
Grupo bombeo	1	14.221,50	14.221,50	2.844,30	17.065,80
Sistema extinción por agua	1	3.568,53	3.568,53	713,71	4.282,23
Sistema anti-intrusismo	1	139.280,88	139.280,88	27.856,18	167.137,06
VENTILACIÓN					30.662,66
Equipos de ventilación	1	12.340,90	12.340,90	2.468,18	14.809,08
Aero-refrigerantes	1	12.462,53	12.462,53	2.492,51	14.955,03
Aire acondicionado	1	748,79	748,79	149,76	898,55

Unidad constructiva	Cantidad	C. Unit. (€)	C. Global (€)	C. Montaje (€)	C. Total (€)
SEGURIDAD Y SALUD					15.180,33
INSTALACIONES DE BIENESTAR					4.024,17
Mobiliario de oficina y aseo	1	1.900,69	1.900,69	380,14	2.280,83
Acometida provisional fontanería	1	379,49	379,49	75,90	455,39
Acometida provisional de saneamiento	1	497,20	497,20	99,44	596,64
Portarrollos industrial con cerradura	3	6,64	19,91	-	19,91
Jabonera industrial 1 litro	2	4,74	9,48	-	9,48
Seca manos eléctrico	2	29,56	59,12	-	59,12
Depósito-cubo de basuras	2	10,98	21,96	-	21,96
Botiquín de urgencia	3	64,87	194,61	-	194,61
Reposición botiquín	9	42,91	386,23	-	386,23
SEÑALIZACIÓN					827,97
Cinta balizamiento bicolor 8 cm (m)	550	0,73	400,70	-	400,70
Cono de balizamiento reflectante	15	7,49	112,28	-	112,28
Cartel PVC para indicaciones	15	0,59	8,83	-	8,83
Cartel PVC para señalización extintor	4	0,67	2,67	-	2,67
Panel completo PVC 700x1000 mm	8	2,61	20,92	-	20,92
Señal triangular l=70 cm con soporte	2	27,37	54,73	-	54,73
Señal circular d=60 cm con soporte	2	32,73	65,47	-	65,47
Señal stop d=60 cm con soporte	2	71,89	143,77	-	143,77
Paleta manual 2 caras stop- obligación	2	9,30	18,60	-	18,60
EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA					7.457,46
Malla galvanizada simple torsión	250	8,99	2.248,00	449,60	2.697,59
Pasarela metálica hormigonado muros	280	7,60	2.129,33	425,87	2.555,20
Barandilla guarda cuerpos y tubos	135	6,75	910,77	182,15	1.092,93
Protecciones horizontales	80	10,19	815,17	163,03	978,20
Pasarela madera sobre zanjas	10	11,13	111,28	22,26	133,53
EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL					2.870,74
Casco de seguridad ajustable	15	6,31	94,61	-	94,61
Casco de seguridad dieléctrico	15	17,34	260,03	-	260,03
Pantalla de mano soldador	5	7,92	39,62	-	39,62
Máscara de soldadura	4	12,41	49,62	-	49,62
Gafas para soldadura	4	5,91	23,63	-	23,63
Gafas contra impactos	6	3,55	21,32	-	21,32
Gafas anti polvo	6	2,32	13,89	-	13,89
Semi máscara anti polvo 1 filtro	3	21,41	64,22	-	64,22
Semi máscara anti polvo 2 filtros	3	45,47	136,41	-	136,41
Cascos protectores auditivos	12	14,42	173,05	-	173,05
Juego tapones anti ruido sílice.	15	0,38	5,69	-	5,69
Faja de protección lumbar	10	29,43	294,31	-	294,31
Cinturón portaherramientas	8	5,02	40,16	-	40,16
Mono de trabajo poliéster- algodón	20	28,84	576,84	-	576,84
Traje impermeable	4	9,21	36,85	-	36,85
Traje agua verde ingeniero	2	15,28	30,56	-	30,56
Mandil cuero para soldador	4	10,48	41,92	-	41,92
Peto reflectante de seguridad	25	13,37	334,33	-	334,33
Par guantes aislantes 5000 V	5	34,90	174,50	-	174,50
Par guantes aislantes 1000V	5	11,48	57,39	-	57,39
Par de botas de agua de seguridad	12	27,25	326,94	-	326,94
Par de botas de agua forradas	6	12,48	74,85	-	74,85

Se presenta, finalmente, una tabla resumen de todos los elementos del presupuesto.

Elemento	C. Total (€)	% del Total
Ingeniería y dirección facultativa	554.629,32	9,01
Obra civil	171.859,04	2,79
Cimentaciones	287.670,31	4,67
Equipos eléctricos	4.036.237,75	65,57
Estructuras	403.680,62	6,56
Albañilería	94.949,72	1,54
Cubiertas y pavimentos	75.636,70	1,23
Carpintería	7.126,34	0,12
Pintura	39.192,26	0,64
Fontanería	7.477,91	0,12
Red de tierras	182.047,89	2,96
Sistemas PCI Y anti-intrusismo	249.508,19	4,05
Ventilación	30.662,66	0,50
Seguridad y salud	15.180,33	0,25
Total bruto	6.155.859,04	
Beneficio industrial (15%)	923.378,86	
Total (sin impuestos)	7.079.237,90	

El presupuesto total (sin impuestos) asciende a la cantidad de SIETE MILLONES SETENTA Y NUEVE MIL DOSCIENTOS TREINTA Y SIETE EUROS CON NOVENTA CÉNTIMOS.

Madrid, Mayo de 2016

El Ingeniero Industrial

Diego Machetti Meneses





Capítulo VI

Planos



La relación de planos es la siguiente:

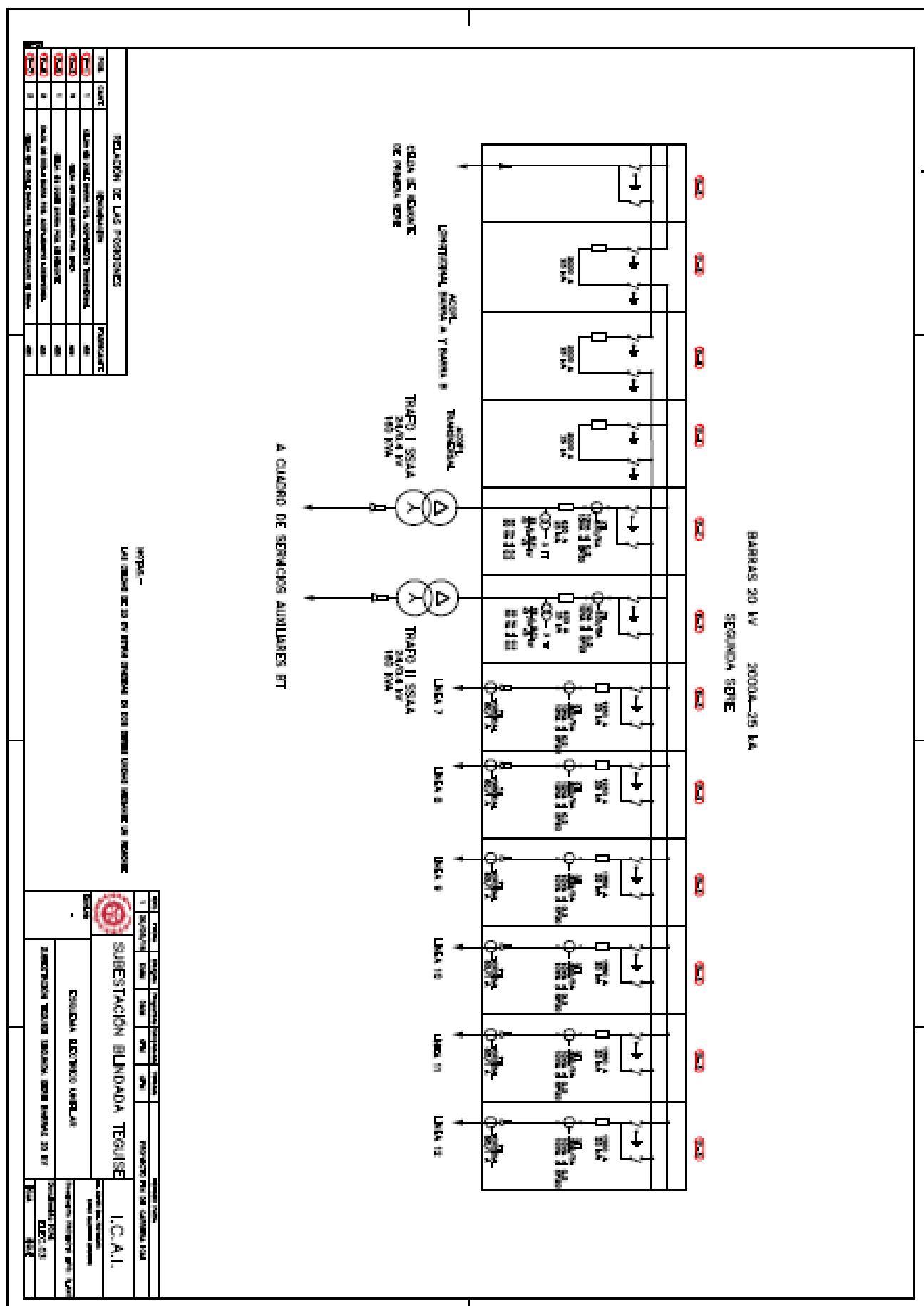
• Plano de emplazamiento y de situación	SIT.01
• Unifilar barras 66 kV	ELEC.01
• Unifilar barras 20 kV primera serie	ELEC.02
• Unifilar barras 20 kV segunda serie	ELEC.03
• Plano de planta de la subestación	PLA.01
• Plano de secciones de equipos	SEC.01
• Plano de vistas del transformador (1 de 2)	TRA.01
• Plano de vistas del transformador (2 de 2)	TRA.02
• Plano de la red de tierras	TIE.01

An aerial photograph of a residential area. A red rectangle highlights a specific building located near a road intersection. The surrounding area includes various houses, fields, and a road with a roundabout in the lower right.

EDIC.	PROYECTO	Estado de la obra	Propiedad	Compartimentación	Validez
1	24/02/19	DAM	DAM	GPU	GPU
EDICIÓN	I.C.A.I.				
1-5000	PLAN DE EMPLAZAMIENTO				
EDICIÓN	PLAN DE SITUACIÓN				
1-2500	DOCUMENTO Nº 1 SITIO HALLA NÚMERO				

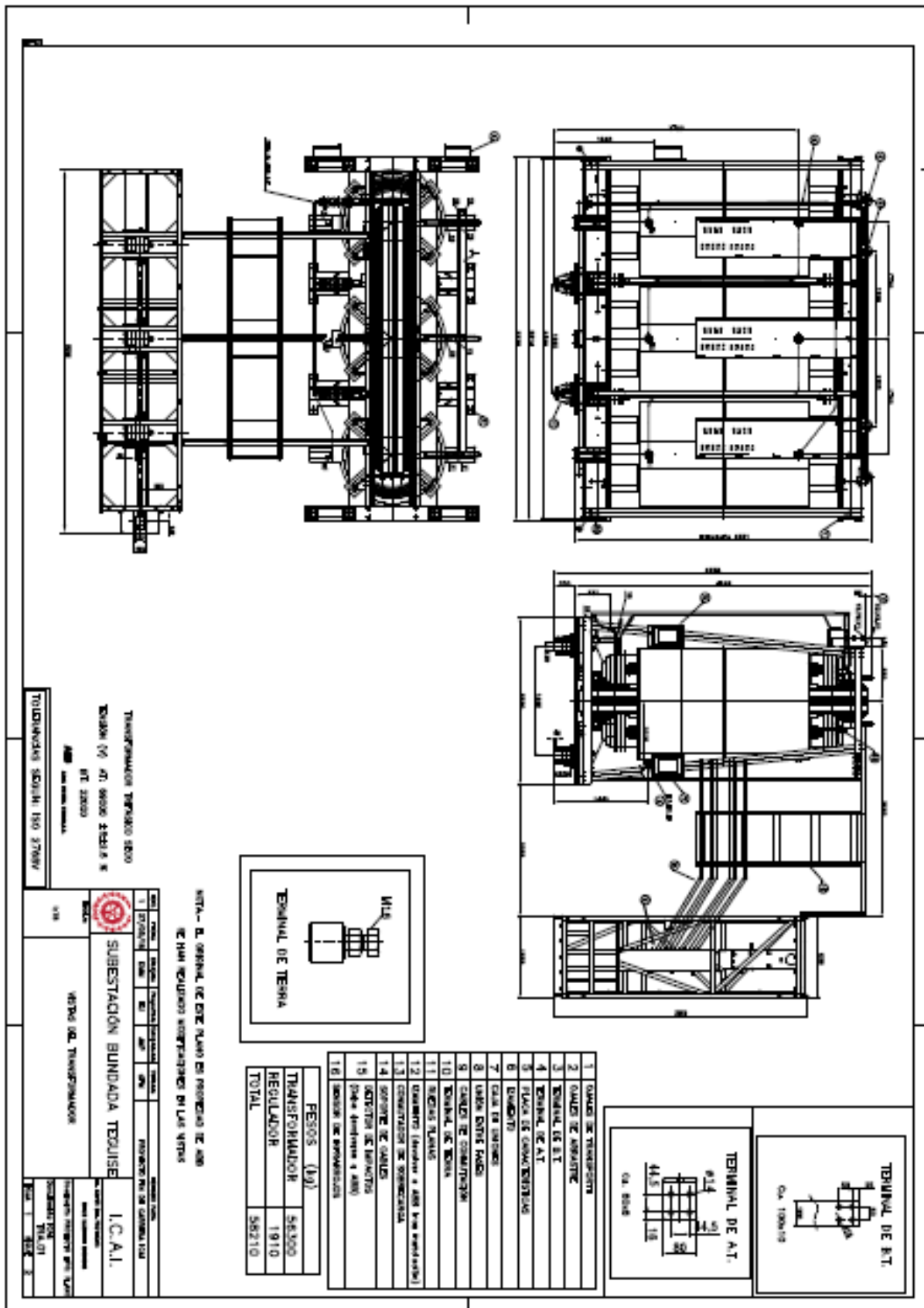




















Capítulo VII

Bibliografía

- [FERN15] Fernández Magester, G., “Apuntes de la asignatura de subestaciones eléctricas”, primer cuatrimestre 2015-2016
- [ROUC15] Rouco Rodríguez, L., “Apuntes de la asignatura de protecciones eléctricas”, primer cuatrimestre 2015-2016
- [RODR15] Rodríguez Herrerías, P., “Apuntes de la asignatura de líneas eléctricas”, primer cuatrimestre 2015-2016
- [DIAZ15] Díaz Pampín, J., “Apuntes de la asignatura de centrales eléctricas”, primer cuatrimestre 2015-2016
- [JIME08] Jiménez, J. R., Lomoschitz, A., Herman, J., “Pruebas de resistividad eléctrica con telurómetro en terrenos volcánicos. Aplicación a subestaciones eléctricas”, 2008
- [ROUC14] Rouco Rodríguez, L., Sigrist, L., Gago, H., Palanzuelos, E., Bernal, J., Jimeno, M.A., “Protection of Power Transformers connected to GIS against lightning overvoltages”, CIGRE 2014
- [OLOV07] Olovsson, H., Lejdeby, S., “Evolución de las subestaciones. El diseño de subestaciones a principios del siglo XX y en la actualidad”, ABB 2007
- [SOSA02] Sosa, J., “Subestaciones eléctricas de alta tensión aisladas en gas”, 2002
- [REE_10] REE, “Características estructurales de los sistemas insulares de Canarias”, 2010
- [LOPE15] López Díaz, M., “Diseño de una subestación transformadora 220/20 kV”, ICAI 2015
- [MIET_14] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión”, BOE 9 de junio de 2014.
- [HERN08] Hernández Guerreiro, F., “Diseño y ajustes de protecciones en una subestación de alta tensión”, ICAI 2008
- [MITC_08] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, “Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión”, BOE 19 de marzo de 2008.
- [PRYS_15] Prysmian, “Cables y Accesorios para Media Tensión”, 2015
- [SCHN_12] Schneider Electric, “Distribución en instalaciones de Baja Tensión”, 2012
- [ABB_15] ABB, “Gas-insulated switchgear ELK-04 C, 145 kV” 2015
- [ABB_14] ABB, “High-voltage gas-insulated switchgear (GIS). Pilot technology with new eco-efficient gas mixture” 2014
- [ABB_11] ABB, “ABB Review. Innovation” 2011



- [ABB_12] ABB, “ZS8.4 Air-insulated medium voltage switchgear” 2012
- [SCHN_14] Schneider Electric, “Prisma Plus: Manual de usuario y sistemas de instalación” 2014
- [SCHN_14] Schneider Electric, “Armarios y Cofrets Prisma hasta 630^a. Ancho 850 mm” 2014
- [SCHN_16] Schneider Electric, “Prisma. Envolventes y sistemas de instalación. Lista de precios” 2016
- [SOFA_14] Sofamel, “Picas y accesorios de puesta a tierra” 2014
- [ABB_11] ABB, “HiDry72: transformadores secos para líneas de distribución”, 2011
- [ABB_16] ABB, “Technical Data Sheet. HiDry72. 69/25 kV” 2016
- [ORMA_15] Ormazábal, “Transformadores de distribución. Transforma” 2015
- [VAZQ16] Vázquez, O., “La actividad de la ingeniería” ICAI 2016
- [PAMP16] Díaz Pampín, J., “Tramitación de un proyecto de ingeniería” ICAI 2016
- [CHLO_09] Chloride Cener, “Cálculo de sistemas DC & AC”, 2009
- [RECT_16] Recticur-Electrónica Industrial, “Rectificadores de alta frecuencia”

