

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de Tecnologías Industriales

Diseño de una instalación eléctrica desde la subestación hasta un consumidor industrial en baja tensión

Autor: Antonio González Pradas

Tutor: Juan Manuel Roldán Fernández

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

Diseño de una instalación eléctrica desde la subestación hasta un consumidor industrial en baja tensión

Autor:

Antonio González Pradas

Tutor:

Juan Manuel Roldán Fernández

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Grado: Diseño de una instalación eléctrica desde la subestación hasta un consumidor industrial en baja tensión

Autor: Antonio González Pradas

Tutor: Juan Manuel Roldán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis compañeros de estudio

A mis amigos

Resumen

Para satisfacer la demanda eléctrica del nuevo espacio industrial que se construirá en el puerto de Cádiz, se ha diseñado la nueva subestación eléctrica "Las Cortes", con niveles de tensión de 66/20 kV y todos sus componentes. Además, se ha planificado la instalación de la línea de evacuación de energía eléctrica desde la subestación hasta el puerto, incluyendo la posterior transformación a baja tensión para su uso adecuado. Esta nueva infraestructura garantizará el suministro suficiente de energía desde la red nacional al espacio industrial.

El objetivo de este trabajo fin de estudios es la descripción y redacción detallada de todas las actuaciones necesarias para el diseño de la subestación origen de 66/20 kV, la construcción de la línea de evacuación entre la SET "Las Cortes" (20 kV) y el puerto de Cádiz, y su transformación a un nivel de tensión adecuado para su uso en una estructura destinada al ámbito industrial mediante un centro de transformación situado en las inmediaciones de esta.

Las actuaciones recogidas en el proyecto se llevarán a cabo en el municipio de Cádiz, específicamente entre la subestación de Las Cortes y el muelle Alfonso XIII del Puerto de Cádiz, atravesando terrenos públicos del Ayuntamiento de Cádiz y otras instituciones gaditanas como la Autoridad Portuaria de Cádiz y NAVANTIA.

Mediante un exhaustivo análisis, diseño, dimensionado, descripción técnica y justificación conforme a las normativas vigentes, así como la valoración económica y la prescripción técnica del trazado de las líneas de media y baja tensión (de 20 kV y 0.4 kV respectivamente), se alcanzará el objetivo de proporcionar un suministro eléctrico eficiente y seguro al nuevo espacio industrial.

Este Trabajo Fin de Grado busca poner en práctica los conocimientos adquiridos en el Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, con mención Eléctrica. Aplicando estos conocimientos a una instalación eléctrica parcialmente real, se pretende abarcar el mayor grado de conceptos posible, asegurando una comprensión integral y práctica de los principios aprendidos durante la formación académica.

Abstract

To satisfy the electrical demand of the new industrial space to be built in the port of Cádiz, the new "Las Cortes" electrical substation has been designed, with voltage levels of 66/20 kV and all its components. In addition, the installation of the electrical energy evacuation line from the substation to the port has been planned, including the subsequent transformation to low voltage for its proper use. This new infrastructure will guarantee sufficient energy supply from the national grid to the industrial space.

The objective of this final project is the detailed description and writing of all the actions necessary for the design of the 66/20 kV source substation, the construction of the evacuation line between the "Las Cortes" SET (20 kV) and the port of Cádiz, and its transformation to a voltage level suitable for use in a structure intended for the industrial field through a transformation center located in its vicinity.

The actions included in the project will be carried out in the municipality of Cádiz, specifically between the Las Cortes substation and the Alfonso XIII dock of the port of Cádiz, crossing public land of the Cádiz City Council and other Cádiz institutions such as the Port Authority of Cádiz and NAVANTIA.

Through an exhaustive analysis, design, dimensioning, technical description and justification in accordance with current regulations, as well as the economic assessment and technical prescription of the layout of the medium and low voltage lines (20 kV and 0.4 kV respectively), it will be achieved the objective of providing an efficient and safe electrical supply to the new industrial space.

This Final Degree Project seeks to put into practice the knowledge acquired in the Degree in Industrial Technology Engineering, with a mention in Electrical. By applying this knowledge to a partially real electrical installation, the aim is to cover the greatest degree of concepts possible, ensuring a comprehensive and practical understanding of the principles learned during academic training.

Índice

Resumen	8
Abstract	10
Índice	11
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras	16
Notación	18
1 Introducción	19
1.1 Objeto y Emplazamiento	19
1.2 Alcance y Descripción General de la Instalación	20
1.3 Previsión de Carga	22
2 Normativas	24
3 Diseño de la Subestación 66/20 kV	28
3.1 Descripción	28
3.2 Parámetros Básicos de Diseño	29
3.3 Obra Civil, Edificios y Estructuras	30
3.3.1 Obra Civil Parque Intemperie	31
3.3.2 Edificio	32
3.3.3 Estructura Metálica	33
3.4 Parques 66 y 20 kV	34
3.4.1 Parque 66 kV	34
3.4.2 Parque 20 kV	37
3.5 Conductores y Transformación	41
3.6 Sistemas presentes en la Subestación	43
3.6.1 Sistema de Control	43
3.6.2 Sistema de Protecciones	44

3.6.3 Sistemas de Medida para Facturación	45
3.6.4 Sistema de Servicios Auxiliares y Telecomunicaciones	46
3.6.5 Sistema de Puesta a Tierra	48
3.6.6 Sistema de Alumbrado	50
3.6.7 Sistema de Seguridad	51
3.7 Cálculos Justificativos	52
3.7.1 Cálculos de Embarrado	52
3.7.2 Cálculos de Red de Tierras	62
4 Línea de Media Tensión	72
4.1 Introducción	72
4.2 Trabajos Previos	72
4.3 Canalización Subterránea	73
4.4 Línea Eléctrica de Media Tensión	78
4.4.1 Descripción	78
4.4.2 Cálculos Justificativos	79
4.4.2.1 Introducción	79
4.4.2.2 Cálculos	79
5 Servicios Afectados	89
5.1 Introducción	89
5.2 Líneas Eléctricas de Media y Baja Tensión	89
5.2.1 Cruzamientos	90
5.2.2 Proximidades y Paralelismos	91
5.2.3 Acometida	92
6 Centro de Transformación	94
6.1 Características y Potencia	94
6.2 Descripción de la Instalación	97
6.2.1 Obra Civil	97
6.2.2 Instalación Eléctrica	98
6.2.3 Cálculos	114
7 Red de Baja Tensión	127
7.1 Introducción	127
7.2 Canalización Subterránea	127
7.3 Red de Baja Tensión	128
7.3.1 Descripción	128
7.3.2 Cálculos Justificativos	129
7.3.2.1 Introducción	129
7.3.2.2 Cálculos	129
7.3.3 Instalación de Fuerza	135
7.3.3.1 Introducción	135
7.3.3.2 Canalización	136
7.3.4 Cajas Generales de Protección	136

7.3.5 Protecciones	137
7.3.5.1 Introducción	137
7.3.5.2 Cálculo de Intensidades	137
7.3.5.3 Selección de Dispositivos de Protección	138
7.3.6 Derivaciones, Empalmes y Terminales	141
7.3.7 Continuidad y Puesta a Tierra del Neutro	142
8 Alumbrado Interior	144
8.1 Introducción	144
8.2 Red de Alumbrado	144
8.3 Luminarias	144
9 Gestión de Residuos	148
9.1 Normativa	148
9.2 Clasificación y Descripción de los Residuos	148
9.3 Cantidad de Residuos Generados	152
9.4 Medidas para la Prevención de Residuos en la Obra	153
10 Seguridad y Salud	156
10.1 Introducción	156
10.2 Identificación de Riesgos	156
10.3 Riesgos Evitables y Medidas Preventivas	156
10.3.1 Medidas y Normas Preventivas a Realizar para Anular los Riesgos de Caídas de las personas a Distinto Nivel	157
10.3.2 Medidas y Normas Preventivas a Realizar para Anular los Riesgos de Cortes y Golpes	157
10.3.3 Medidas y Normas Preventivas a Realizar para Anular los Riesgos de Sobreesfuerzos	158
10.3.4 Medidas y Normas Preventivas a Realizar para Evitar Riesgos por Contactos Eléctricos Directos	158
10.3.5 Medidas y Normas Preventivas a Realizar para Anular los Riesgos de Contactos Eléctricos Indirectos	159
10.3.6 Medidas y Normas Preventivas a Realizar para Anular los Riesgos de Incendios	159
10.4 Riesgos No Evitables y Medidas para Atenuarlos	160
10.5 Medidas Preventivas Mínimas	161
10.5.1 Aplicación a las Actividad de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales	161
10.5.2 Aplicación de la Actividad de las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en el Centro de Trabajo. R.D. 486/97.	162
11 Presupuesto	166
12 Conclusión	169
ANEXO A: PLANOS	171
ANEXO B: CATÁLOGOS	196
Referencias	197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Previsión de Potencia	22
Tabla 2. Parámetros básicos de diseño	29
Tabla 3. Características asignadas comunes 66 kV	34
Tabla 4. Características asignadas de los interruptores automáticos 66 kV	35
Tabla 5. Características asignadas de los transformadores de tensión 66 kV	35
Tabla 6. Características asignadas de los transformadores de intensidad 66 kV	36
Tabla 7. Características asignadas de los seccionadores 66 kV	36
Tabla 8. Características asignadas de los pararrayos 66 kV	37
Tabla 9. Características asignadas comunes 20 kV	39
Tabla 10. Características asignadas de los interruptores automáticos 20 kV	39
Tabla 11. Características asignadas de los transformadores de tensión 20 kV	40
Tabla 12. Características asignadas de los transformadores de intensidad de celda 20 kV	40
Tabla 13. Características asignadas de los transformadores de intensidad de línea 20 kV	41
Tabla 14. Características asignadas de los transformadores de intensidad de celda contaje 20 kV	41
Tabla 15. Características asignadas transformador de potencia 40 MVA	42
Tabla 16. Características asignadas de los transformadores de intensidad neutros 66 kV	43
Tabla 17. Características Transformador de Servicios Auxiliares	47
Tabla 18. Características del Equipo Cargador-Batería	48
Tabla 19. Criterios de diseño de tierras inferior	49
Tabla 20. Datos de diseño de embarrado	53
Tabla 21. Datos de diseño de red de tierras	62
Tabla 22. Verificación de tensiones	67
Tabla 23. Resistencia de los conductores	85
Tabla 24. Reactancia de los conductores	85
Tabla 25. Factores de corrección por temperatura del terreno	86
Tabla 26. Factores de corrección por resistividad térmica del terreno	86
Tabla 27. Factores de corrección por resistividad térmica del terreno	87

Tabla 28. Factores de corrección por profundidad del soterramiento	87
Tabla 29. Factores de corrección para agrupación de cables	88
Tabla 30. Intensidades máximas admisibles del cable de media tensión	89
Tabla 31. Factores de corrección por temperatura del terreno	128
Tabla 32. Factores de corrección por resistividad térmica del terreno	129
Tabla 33. Factores de corrección por profundidad del soterramiento	130
Tabla 34. Factores de corrección para agrupación de cables	130
Tabla 35. Intensidad máxima admisible del cable de baja tensión	132
Tabla 36. Listado de Luminarias	142
Tabla 37. RCDs Tipo I	146
Tabla 38. RCDs Tipo II de Naturaleza No Pétrea	146
Tabla 39. RCDs Tipo II de Naturaleza Pétrea	147
Tabla 40. RCDs Tipo II Potencialmente peligrosos y otros	147
Tabla 41. Cantidad RCDs Tipo I	149
Tabla 42. Cantidad RCDs Tipo II de Naturaleza No Pétrea	149
Tabla 43. Cantidad RCDs Tipo II de Naturaleza Pétrea	150
Tabla 44. Cantidad RCDs Tipo II Potencialmente peligrosos y otros	150
Tabla 45. Posibles Riesgos	153
Tabla 46. Distribución de personal preventivo según nº de empleados	158
Tabla 47. Presupuesto de ejecución material	164
Tabla 48. Presupuesto total necesario para la ejecución del proyecto	164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Emplazamiento de las obras	19
Figura 2. Esquema de las Principales Actuaciones	21
Figura 3. Esquema básico de evacuación	21
Figura 4. Esquema básico SET	30
Figura 5. UCS subestación	44
Figura 6. Relés de sobreintensidad y disparo y bloqueo	45
Figura 7. Armario de medida de subestación	46
Figura 8. Proyector con lámpara de vapor de sodio de alta presión	50
Figura 9. Luminaria con dos reflectores	50
Figura 10. Coeficientes V_r , V_f y V_y	55
Figura 11. Tabla de Vigas y Soportes	56
Figura 12. Tabla de factor de resistencia q	58
Figura 13. Densidad de corriente	60
Figura 14. Coeficientes térmicos de disipación	60
Figura 15. Tensiones de contacto aplicada admisible	64
Figura 16. Zanja en asfalto, aparcamiento, hormigón, tierra y acerado	78
Figura 17. Arqueta A1 registrable en Alineación	80
Figura 18. Arqueta A1 registrable en Cambio de Sentido	80
Figura 19. Arqueta A2 registrable en Alineación	81
Figura 20. Diagrama de Flujo Resumen de Metodología	83
Figura 21. Conductor MT	84
Figura 22. Definición del CT 1	95
Figura 23. Definición del CT 2	96
Figura 24. Celdas cgmcosmos	96
Figura 25. Celda Modular Entrada/Salida 1	100
Figura 26. Celda Modular Entrada/Salida 2	101
Figura 27. Celda Modular de Seccionamiento	102
Figura 28. Celda Modular de Remonte	103
Figura 29. Celda Modular de Protección General	104
Figura 30. Celda Modular de Medida	105
Figura 31. Celda Modular de Protección de Transformador	107

Figura 32. Trafo en Aceite	108
Figura 33. Cuadro de Baja Tensión	108
Figura 34. Zanja es asfalto, aparcamiento, hormigón, tierra y acerado	126
Figura 35. Conductor BT	127
Figura 36. Bandeja Perforada	133
Figura 37. Caja General de Protección y Esquema (CGP-7)	134
Figura 38. Interruptor automático general	137
Figura 39. Cuadro general de baja tensión	137
Figura 40. Interruptores magnetotérmico y diferencial	138
Figura 41. Relé de protección y SPD	138
Figura 42. Empalme termoretráctil	139
Figura 43. Terminal Bimetálico	139
Figura 44. Philips - BY120P G3 1xLED105S/840 WB	141
Figura 45. Philips - TPS680 2xTL5-49W HFP C8	141
Figura 46. Ubicación de Luminarias	143

NOTACIÓN

SET	Subestación Eléctrica
kV	Kilo Voltio
kVA	Kilo Voltio Amperio
kW	Kilo Vatio
CT	Centro de Transformación
Cía	Compañía
MT	Media Tensión
cm	Centímetros
ITC	Instrucciones Técnicas Complementarias
BT	Baja Tensión
Nº	Número
mm	Milímetros
UNE	Organismo de Normalización de España
PE	Polietileno
NA	Nivel de Aislamiento
LAT	Línea Alta Tensión
LSMT	Línea Subterránea de Media Tensión
°C	Grados Centígrados
Ω	Ohmio
Km	Kilómetro
kA	Kilo Amperio
RLAT	Reglamento de Líneas de Alta Tensión
MVA	Mega Voltio Amperio
XLPE	“Cross-Linked” Polietileno
Al	Aluminio
A	Amperio
REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
RCDs	Residuos de Construcción y demolición
RD	Real Decreto
ID	Identificador
IVA	Impuesto sobre Valor Añadido

1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO Y EMPLAZAMIENTO

El objetivo de este trabajo es pues, la descripción y redacción de las actuaciones a realizar para el diseño de la subestación origen de 66/20 kV, la construcción de la línea de evacuación entre la SET a diseñar, “Las Cortes” 20 kV y el puerto de Cádiz y su paso a un nivel de tensión adecuado para su empleo en una estructura destinada al ámbito industrial por medio de un centro de transformación situado en las mediaciones de ésta.

Las actuaciones recogidas en el proyecto se realizarán en el municipio de Cádiz, entre la nueva subestación de Las Cortes y el muelle Alfonso XIII del Puerto de Cádiz, por lo que se harán por terrenos públicos del Ayuntamiento de Cádiz y otras instituciones gaditanas como la Autoridad Portuaria de Cádiz o NAVANTIA.

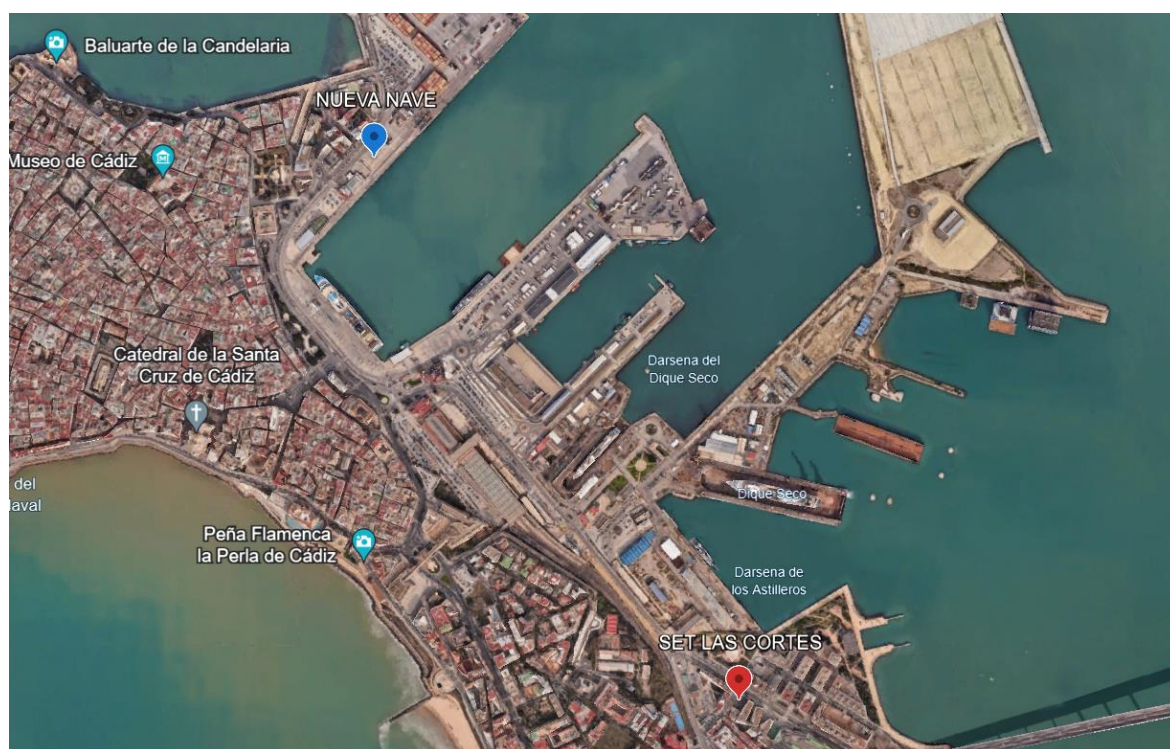


Figura 1. Emplazamiento de las obras.

1.2 ALCANCE Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

Las obras objeto del presente proyecto constructivo consistirán en la construcción de la nueva subestación próxima al puerto de Cádiz, así como la ejecución de la línea subterránea de media y red de baja tensión, proveniente de dicha subestación en alta tensión, para suministrar energía eléctrica suficiente al nuevo espacio industrial que se va a crear. Se describe, además, el centro de transformación que abastecerá de energía el lugar, así como, la iluminación interior del espacio.

Para poder realizar dicho diseño, se realiza una previsión de carga de la instalación, según los distintos sus distintos componentes. Posteriormente, se indicará la normativa más relevante que se aplica a este tipo de proyectos.

Una vez aclarada la potencia a abastecer y la normativa, se comienza a definir el procedimiento de trabajo, empezando por el diseño de la subestación, seguida de la construcción de la línea subterránea de media y los servicios a los que afectará a su paso por la ciudad.

Ya empezados los trabajos eléctricos, se describe la composición y potencia del centro de transformación que alimentará la estructura a construir. Más tarde, se define la red de media tensión, que, además de la elección del conductor, recoge con más detalle su composición, teniendo en cuenta instalación de fuerza y protecciones, entre otros.

Anexo a la red de baja tensión, se hace un pequeño estudio lumínico para el interior del espacio, en el que se aportan datos técnicos de las lámparas empleadas y su ubicación.

Finalmente, se hacen estudios de gestión de residuos y seguridad y salud en las obras, así como un breve resumen del presupuesto necesario para la ejecución de dichas actuaciones, sin incluir la construcción de la subestación, cuyo coste es estimado.

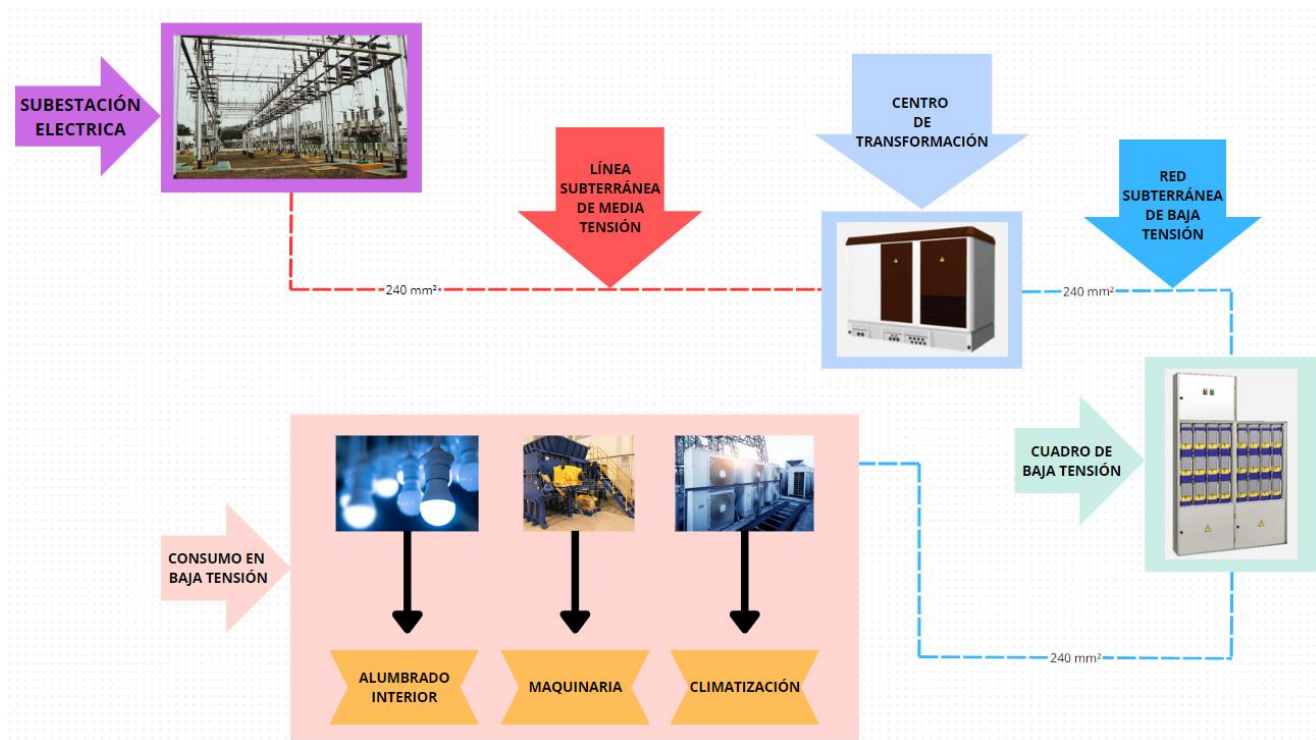


Figura 2. Esquema de las Principales Actuaciones

Se presenta, a continuación, un esquema unifilar general de la instalación. En él podemos apreciar las diferentes etapas necesarias, mostrando el paso de alta a media tensión, así como de media a baja tensión, además de las evacuaciones.

En este trabajo, se abarcarán todas las etapas nombradas, de las cuales se presentará de manera detallada cada uno de sus componentes.

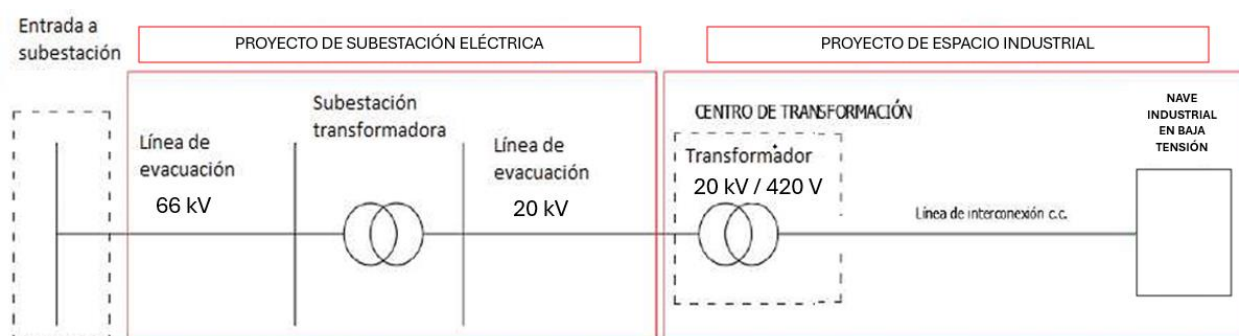


Figura 3. Esquema básico de evacuación

Con estos esquemas, se pretende dar una idea general previa de lo que consistirá la instalación de estudio.

1.3 PREVISIÓN DE CARGA

Según el REBT, la carga total correspondiente a una o varias industrias se calculará considerando un mínimo de 125 W por metro cuadrado (y planta), con un mínimo por local de 10.350 W y coeficiente de simultaneidad 1.

En la instalación objeto, de dimensiones en metros cuadrados de 3850 m² (55x70m), la carga mínima sería de 481.25 kW.

Para la construcción de la nueva nave se han tenido en cuenta tres principales fuentes de consumo de potencia:

- **Iluminación.** Se ha calculado su consumo mediante la herramienta DIALux, la cual nos da un amplio detalle de las luminarias empleadas en el lugar. Más adelante se dará más información relacionada con este factor.
- **Maquinaria.** El consumo de la maquinaria se ha estimado en base a la diversidad de máquinas que compondrán la nave. Entre esta maquinaria podemos encontrar trituradoras de plásticos procedentes del mar, filtros de impurezas, calentadores y/o enfriadoras de agua, entre otras. No es objeto de estudio.
- **Climatización.** Se estima en base a la superficie de la nave, que será de 55x70 metros. Con ello, se ayudará a conservar el buen estado la instalación en su totalidad, así como el bienestar de los empleados. No es objeto de estudio.

La instalación cumple con la normativa vigente, acorde al REBT.

Se detalla a continuación, una tabla resumen de la previsión de potencia del lugar:

USO	POTENCIA NECESARIA
ILUMINACIÓN	5,25 kW
MAQUINARIA	356 kW
CLIMATIZACIÓN	120 kW
TOTAL kW	481,25 kW
Cos Φ	0.85
TOTAL kVA	566,2 kVA

Tabla 1. Previsión de Potencia

A partir de estos datos, se desarrollará el proceso constructivo para alimentar las nombradas componentes.

2 NORMATIVAS

En esta sección se detalla la normativa fundamental que debe cumplirse en relación con los trabajos vinculados a proyectos eléctricos. Las normas incluidas cubren aspectos técnicos, de seguridad y de procedimientos, con el fin de garantizar que todas las instalaciones y actividades se ajusten a los estándares establecidos. A continuación, se clasifica la normativa utilizada para facilitar su comprensión y consulta.

Normativa Técnica y de Seguridad en Instalaciones Eléctricas

➤ Instalaciones de Alta Tensión

- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. [1]
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, aprobado por Real Decreto 337/2014 de 9 de Mayo de 2.014, B.O.E. nº 139. [2]
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. [3] [4]
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas Complementarias RD 327/82 de 12/11 BOE Nº 288 de 1/12/82 OM de 67/84 BOE de 1/8/84. [5]

➤ Instalaciones de Baja Tensión

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/02 de 2 de Agosto de 2.002 B.O.E. 224 de 18 de Septiembre de 2.002). [6]
- Guías Técnicas de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT 21. [7]
- Guías Técnicas de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT 07. [8]
- Guías Técnicas de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT 10. [9]

➤ Eficiencia Energética

- R.D. 1890/08, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07. [10]

Normativa Específica de Empresas y Normas Técnicas

➤ Normas de Empresas

- Especificaciones técnicas, normas y recomendaciones de Eléctrica de Cádiz. [11]
- Resolución de 3 de junio de 2020, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se deroga parcialmente la Resolución de 5 de mayo de 2005, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueban las normas particulares y condiciones técnicas y de seguridad de la empresa distribuidora de energía Eléctrica Endesa Distribución, S.L.U., en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía. [12]
- Norma Endesa GE DND001. Cables Aislados para Redes Subterráneas de Alta Tensión hasta 30 kV. [13]
- Norma ENDESA>NNL010 cajas generales de protección hasta 630A con bases sin dispositivo extintor de arco. [14]
- Norma ENDESA BDZ004 guía de utilización de conectores, manguitos de unión y terminales para líneas aéreas y subterráneas de baja tensión. [15]
- Norma ENDESA NNZ014 terminales rectos de aleación de aluminio para conductores de aluminio. [16]

➤ Normas Técnicas

- Recomendaciones UNESA. [17]
- Normas ONSE. Marcos y Tapas para Arquetas de Conexión Eléctrica. [18]
- Normativa UNE-EN (UNE 23-110-75, UNE 23-110-80, UNE 23-110-82, UNE 23-601-79, UNE 23-602-81...). [19]
- Normas Tecnológicas de la Edificación que sean de aplicación. [20]
- Real Decreto 2899/1976, de 16 de septiembre, por el que se establece bajo la denominación de Norma M. V. 102-1975, la revisión de la Norma M. V. 102-1964, «Acero laminado para estructuras de edificación». [21]
- Normas IEC, IEEE e ISO [22]

Normativa de Seguridad y Salud en el Trabajo

➤ Seguridad en el Trabajo

- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen Disposiciones Mínimas de Seguridad y de Salud en las Obras de Construcción. [23]
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo. [24]
- Normas relativas a la Seguridad y Salud en el Trabajo, Construcción y Protección contra incendios en las instalaciones eléctricas de Alta y Baja Tensión. [25]

Normativa sobre Gestión de Residuos

➤ Residuos de Construcción y Demolición

- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición. [26]
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las Operaciones de Valorización y Eliminación de Residuos y la Lista Europea de Residuos. [27]

Normativa de Verificación y Regulación de Suministro

➤ Verificaciones Eléctricas

- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía, aprobado por R.D. de 12 de marzo de 1954 con las correspondientes modificaciones hasta la fecha. [28]

Normativa sobre Transporte y Distribución de Energía

➤ Transporte y Distribución

- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. [29]

3 DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN

66/20 kV

3.1 DESCRIPCIÓN

Se describe ahora la instalación correspondiente a la subestación a construir de 66/20 kV, en conformidad con la Ley 54/1997, de 27 de Noviembre, del Sector Eléctrico, y el Real Decreto 1955/2000, de 1 de Diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Dicha subestación se ubicará en el término municipal de Cádiz, según planos, en terreno considerado urbanizable. La subestación planteada en este proyecto es una creación ficticia y no corresponde a ninguna subestación real que se vaya a construir. En una situación real, lo más lógico sería utilizar una subestación existente y aprovechar una cabina de media tensión (MT) para conectar nuestra línea de alimentación al parque industrial. Otra opción viable sería ampliar el embarrado de la subestación existente añadiendo una nueva celda de MT.

No obstante, para ampliar el alcance y la complejidad de este trabajo académico, se propone el diseño de una nueva subestación sin barras de 66 kV, con una única posición línea/transformador. Este enfoque no solo permite cubrir el diseño de una instalación de alta tensión, sino que también ofrece una experiencia integral en el diseño, planificación y análisis de infraestructuras eléctricas, proporcionando un valioso ejercicio práctico para los conocimientos adquiridos durante el grado.

Así, este proyecto no solo busca cumplir con los objetivos académicos, sino también proporcionar una comprensión profunda y aplicable del diseño de subestaciones eléctricas, abordando tanto los aspectos teóricos como los prácticos necesarios para su implementación efectiva.

La subestación estará constituida por:

- Parque de 66 kV
- Parque de 20 kV
- Transformación
- Sistema de Medida para la facturación
- Sistema de Servicios Auxiliares
- Sistema de Telecomunicaciones
- Sistema de puesta a tierra
- Sistema de Seguridad

Dichos componentes serán descritos a continuación, acompañados de cálculos justificativos.

3.2 PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

CARACTERÍSTICAS	UD	66 kV	20 kV
Tensión nominal	kV	66	20
Tensión más elevada para el material	kV	72,5	24
Frecuencia nominal	Hz	50	50
Tensión soportada frecuencia industrial	kV	140	95
Tensión soportada rayo	kV	325	145
Conexión del neutro		Rígido a tierra	Rígido a tierra
Línea mínima fuga aisladores	mm	1820	600
Intensidad nominal barras	A	-	1600
Intensidad nominal pos. Línea	A	630	630
Intensidad nominal pos. Transf.	A	630	1600
Int. nominal pos. Condensadores	A		630
Intensidad máxima de defecto trifásico	kA	40	31.5
Duración del defecto trifásico	seg	1	1

Tabla 2. Parámetros básicos de diseño

Teniendo en cuenta estos parámetros, se procederá al diseño de la subestación, representada de manera simple y esquemática en la siguiente figura.

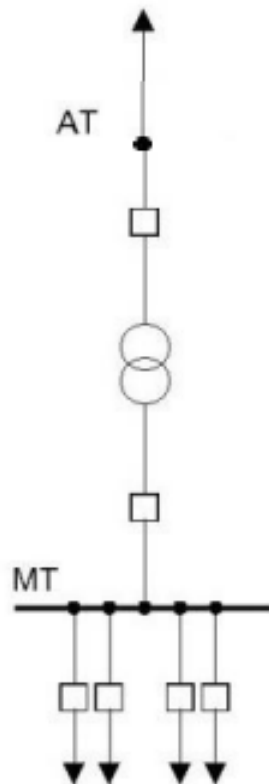


Figura 4. Esquema básico SET

Analizando dicho esquema, se tiene una línea de alta tensión que entra en la subestación.

La línea de alta tensión, que opera a un nivel de 66 kV, es transformada a un nivel de 20 kV por medio de un transformador dentro de la subestación. Este transformador desempeña un papel crucial al reducir el voltaje, permitiendo una distribución más segura y eficiente de la electricidad a través de la línea de media tensión.

La línea de media tensión resultante, ahora operando a 20 kV, tiene como destino final el complejo industrial situado en el puerto. Esta infraestructura es esencial para asegurar un suministro eléctrico estable y confiable a las instalaciones del puerto, que pueden incluir una variedad de operaciones industriales y logísticas que requieren un flujo constante de energía.

A partir de los parámetros de diseño anteriores, que sirven como referencia previa a la profundización en el diseño de la subestación, se logrará alcanzar el objetivo propuesto.

3.3 OBRA CIVIL, EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS

Aunque no es el objetivo principal de este trabajo, se proporcionará una breve descripción de la obra civil necesaria para la construcción de la subestación que es objeto del proyecto. Esta descripción abarcará de manera general las actuaciones y trabajos que se deben realizar para la implementación del parque de intemperie, el edificio y la estructura metálica de la nueva subestación. Aún no siendo la obra civil el foco principal de este trabajo, su correcta planificación y ejecución son esenciales para garantizar la funcionalidad, seguridad y durabilidad de la nueva subestación.

3.3.1 OBRA CIVIL PARQUE INTEMPERIE

Cimentaciones para soportes metálicos y pórticos.

Las fundaciones de la parte correspondiente al parque, es decir, fundaciones para soportes de apartamento de intemperie y pórticos serán de tipo "zapata aislada". Serán de hormigón en masa (salvo armaduras para retracciones del hormigón) y llevarán las placas de anclaje de las estructuras sobre sus peanas (2ª fase de hormigonado).

Las fundaciones se proyectarán de acuerdo con la naturaleza del terreno. El método de cálculo empleado será el de Sulzberger que confía la estabilidad de la cimentación a las reacciones horizontales y verticales del terreno.

No se admitirá un ángulo de giro de la cimentación, cuya tangente sea superior a 0,01 para alcanzar el equilibrio de las acciones que produzcan el máximo momento de vuelco.

El coeficiente de seguridad al vuelco, relación entre el momento estabilizador y el momento de vuelco no será inferior a 1,5.

Sanemientos y drenajes.

El drenaje de la Subestación se realizará mediante una red de desagüe formada por tubos perforados colocados en el fondo de zanjas de gravas y rellenas de material filtrante adecuadamente compactado.

En la explanación del terreno se preverán unas ligeras pendientes, no inferior el 0,5%, conformando distintas cuencas hacia las zanjas de cables.

Los colectores colocados en las zanjas de gravas evacuarán las aguas hacia una arqueta general de desagües que se conectará con la red de saneamiento de la zona

El desagüe general exterior estará protegido contra la entrada de animales por medio de una malla metálica

La conexión de los bajantes de los edificios se realizará mediante arquetas a pie de bajante que conectarán con la red general antes mencionada.

Se incorporará una cuneta entre el borde del camino de acceso a la Subestación de la central generadora para canalizar el agua hacia la recogida general de la zona.

Vallado perimetral.

Se ha previsto un cierre perimetral de la subestación, mediante valla con la altura total marcada por el Reglamento de Alta Tensión (mínimo 2,20 metros).

Cables de control y potencia.

Con objeto de proteger el recorrido de los cables de control y potencia se construirá una red de canales para cables prefabricados y zanjas enterradas, respectivamente.

En los cruces con los viales se utilizarán unos pasatubos reforzados...

El conjunto de los canales de cables de control será de hormigón armado o prefabricados.

Cimentación para transformador y sistema de recuperación y recogida de aceite.

Para la cimentación y movimiento de los transformadores se realizarán unas bancadas de raíles para facilitar su desplazamiento.

Estas bancadas realizarán también el trabajo de recuperación de aceite en el caso de una eventual fuga del mismo desde la cuba del transformador, y, por lo tanto, estarán unidas al depósito general de recogida de aceite mediante tubos de fibrocemento.

La bancada de los transformadores se diseñará como una viga elástica apoyada en el terreno y con una carga uniformemente repartida igual a la presión que ejerce sobre el terreno toda la fundación con una acción 1,25 veces el peso del transformador más el peso propio.

El depósito de recogida de aceite, conectado con las bancadas de los transformadores, estará constituido por muretes de hormigón armado sobre solera del mismo material. La parte superior estará formada por un forjado unidireccional formado por viguetas de hormigón pretensado y bovedilla cerámica.

La capacidad del depósito de aceite corresponderá al volumen de dieléctrico del transformador, mayorada en previsión de entrada de agua.

Urbanizado de la zona y viales.

La entrada a la subestación se realizará desde el camino asfaltado principal. La intersección de este acceso con dicha carretera se realizará de acuerdo con las normas que para el caso tenga establecida el Ministerio de Fomento.

Los viales interiores serán de firme rígido de 15 cm de hormigón HA-200 sobre una base de zahorra compactada. El ancho de los mismos será de 5 metros. Los materiales a utilizar cumplirán las Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales.

Para el abastecimiento de agua corriente se utilizarán entronques con la red de abastecimiento de la Central de generación.

Las aguas fecales pasarán desde el aseo a una fosa séptica y de ésta al sistema de evacuación de la zona.

3.3.2 EDIFICIO

Aunque el enfoque principal del proyecto no es el diseño del edificio de la subestación, una descripción concisa de su estructura y funcionalidades es esencial para entender el contexto completo de la infraestructura. El edificio no solo proporcionará un entorno seguro y eficiente para los equipos eléctricos, sino que también garantizará la operatividad y el mantenimiento continuo de la subestación, contribuyendo significativamente a la fiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico en su conjunto.

El edificio será del tipo prefabricado de hormigón compuesto por un cerramiento exterior formado por paneles de hormigón armado con malla doble de acero electrosoldada.

La cubierta estará formada de placas de hormigón armado armadas con mallas electrosoldadas, rematadas en su parte superior mediante impermeabilización y en su interior el aislante a base de poliuretano.

Los espesores y armados están considerados para soportar una sobrecarga de 120 kg/m^2 y la acción debida al empuje del viento de 120 km/h ($192,2 \text{ kg/m}^2$)

Habrà una dependencia donde se ubicará la sala de control, cubículos de los transformadores de servicios auxiliares, aseos, armarios de control-protecciones y celdas de 20 kV .

El edificio estará dotado de un sistema de climatización por bomba de calor con termostato situado en la zona de control del edificio que permitirá conservar unas condiciones uniformes de temperatura en el interior del edificio.

Además, contará con un sistema de detección de incendios que incluye detectores termovelocimétricos y ópticos, además de alarmas activadas mediante pulsadores manuales ubicados en puntos estratégicos para permitir al personal alertar rápidamente en caso de incendio. También estará equipado con un sistema de alarma anti-intrusión.

Se instalará una central de alarmas y señalización que cubrirá todas las zonas de detección tanto para incendios como para intrusiones. Esta central tendrá capacidad suficiente para ambos sistemas y enviará señales tanto para la señalización local como para el sistema de comunicaciones.

El sistema de extinción consistirá en un sistema de extintores móviles de 5 kg de capacidad de CO_2 en el interior del edificio.

Se ha previsto dotar al edificio de los sistemas de alumbrado adecuados con los niveles luminosos reglamentarios. El alumbrado normal consistirá en armaduras semiestancas con fluorescencia de alto factor, distribuidas uniformemente y empotradas en el falso techo de la zona de control, evitando sombras y áreas de baja luminosidad para facilitar las labores de control y operación.

En los puntos que así se requiera se dispondrá de un alumbrado localizado que refuerce al general de la instalación.

Los circuitos de alumbrado se alimentarán desde el cuadro de Servicios Auxiliares donde se dispondrán los interruptores magnetotérmicos de protección de los diferentes circuitos, así como los dispositivos de protección diferencial de los mismos.

El edificio contará con sistemas de alumbrado de emergencia de arranque instantáneo en caso de falta de tensión principal. Estos equipos serán autónomos, cumpliendo con las normativas de potencia y rendimiento, y además de proporcionar iluminación, señalarán los puntos de salida y evacuación del personal.

3.3.3 ESTRUCTURA METÁLICA

Sin entrar en gran detalle, se describe de forma breve la estructura metálica de soporte de las líneas entrantes a la subestación ya que el trabajo se enfoca principalmente en las características eléctricas.

Tanto para el amarre de las líneas como para soportes de aparatos se utilizarán estructuras metálicas formadas por perfiles angulares de la serie de fabricación normal en este país, con acero A-42b

(s/Norma NBE-MV102 vigente) exigiéndole la calidad soldable y llevarán una protección de superficie galvanizada ejecutada de acuerdo con la norma EN/ISO 1461, siendo su peso en zinc de 5 grs por dm² de superficie galvanizada.

Los soportes de aparatos estarán diseñados para admitir:

- Peso propio
- Cargas estáticas transmitidas por los aparatos
- Cargas dinámicas transmitidas por el aparellaje de maniobra
- Acción de un viento de 120 km/h. de velocidad actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

3.4 PARQUES 66 Y 20 KV

3.4.1 PARQUE 66 KV

El parque de 66 kV será intemperie y formado por 1 posición de línea-transformador compuesta por:

- 1 Interruptor tripolar.
- 3 Transformadores de intensidad.
- 3 Transformadores de tensión inductivos.
- Seccionador con puesta a tierra.
- 3 pararrayos unipolares

• Características de los componentes y aparellaje eléctrico 66 kV

Características asignadas comunes		
Tensión nominal de la red	kV	66
Tensión más elevada para el material	kV	72,5
Tensión soportada de corta duración a f.i.(valor eficaz)	kV	140
Tensión soportada con impulsos tipo rayo (valor de cresta)	kV	325
Frecuencia	Hz	50
Corriente en servicio continuo salida de línea, transformador y acoplamiento	A	630
Corriente admisible de corta duración (1 seg)	kA	31,5
Valor de cresta de la corriente admisible de corta duración	kA	80
Línea de fuga mínima	mm	1820

Tabla 3. Características asignadas comunes 66 kV

Características asignadas de los interruptores automáticos			
Tensión más elevada para el material	kV	72,5	
Tipo de fluido para aislamiento y corte		SF6	
Corriente en servicio continuo salida de línea, transformador y acoplamiento	A	1250	
Corriente admisible de corta duración (1 seg)	kA	31,5	
Valor de cresta de la corriente admisible de corta duración (límite dinámico)	kA	80	
Secuencia de maniobra	msec	O-0,3s-CO-1min-CO	
Tiempo de apertura	msec	< 50	
Tiempo de cierre	msec	< 150	
Tiempo de cierre-apertura	msec	< 150	
Tensión auxiliar alimentación motor	Vcc	230 +10%	
Tensión auxiliar bobinas de apertura	Vcc	125 +15% -30%	
Tensión auxiliar bobinas de cierre	Vcc	125 +15%	

Tabla 4. Características asignadas de los interruptores automáticos 66 kV

Características asignadas de los transformadores de tensión			
Tensión más elevada para el material	kV	72,5	
Relación de transformación	V	66:√3/0,11:√3-0,11:√3-0,11:3	
Potencias y clases de precisión			
1° Arrollamiento		25 VA cl.0,5-3P	
2° Arrollamiento		50 VA cl 0,5-3P Indistintamente	
3° Arrollamiento		50 VA 6P	

Tabla 5. Características asignadas de los transformadores de tensión 66 kV

Características asignadas de los transformadores de intensidad			
Tensión más elevada para el material	kV	72,5	
Tipo		toroidal	
Relación de transformación	A	300-600/5-5-5-5 A	
Potencias y clases de precisión			
1° Arrollamiento		10 VA cl.0,2S Fs<5	
2° Arrollamiento		20 VA cl.5P20	
3° Arrollamiento		30 VA cl.5P20	
4° Arrollamiento		30 VA cl.5P20	

Tabla 6. Características asignadas de los transformadores de intensidad 66 kV

Características asignadas de los seccionadores			
Tensión más elevada para el material	kV	72,5	
Corriente asignada	A	1250	
Tensión soportada frecuencia industrial	kV	140/160	
Tensión soportada rayo	kV	325/375	
Accionamiento cuchillas principales		Motorizado	
Accionamiento cuchillas p.a.t.		Motorizado	
Poder de cierre secc. p.a.t. cierre brusco	kA	80	
Tensión aux. alimentación motor y accionamiento	Vcc	125 +10% -15%	

Tabla 7. Características asignadas de los seccionadores 66 kV

Características asignadas pararrayos 66 kV			
Tensión más elevada para el material	kV	72,5	
Tensión asignada servicio continuo	kV	48	
Tensión asignada	kV	60	
Corriente nominal de descarga onda 8/MTμseg	kA	10	
Clase de descarga		3	
Aislamiento externo		goma-silicona	
Contador de descarga		Incluido	

Tabla 8. Características asignadas de los pararrayos 66 kV

3.4.2 PARQUE 20 KV

El parque de 20 kV será interior de simple barra.

- 1 cabina de transformador.
- 3 cabinas de línea.
- 1 cabina de servicios auxiliares.
- 2 cabina de condensadores
- 2 Módulos de medida en barras.

La composición de los diferentes tipos de cabinas que constituyen el conjunto de la instalación blindada de simple barra con aislamiento de hexafluoruro de azufre (SF₆) es la siguiente:

Cabinas de transformador

- 1 Tramo tripolar de barras.
- 1 Seccionador tripolar de tres posiciones para seccionamiento de barras y para puesta a tierra.
- 1 Interruptor tripolar automático.
- 9 Conectores enchufables para la conexión de cable subterráneo de 3x500 mm² por fase.
- 3 Transformadores de tensión.
- 6 Detectores de control de presencia de tensión.
- 1 Compartimento para elementos de control.

Cabinas de línea y condensadores

- 1 Tramo tripolar de barras.
- 1 Seccionador tripolar de tres posiciones para seccionamiento de barras y para puesta a tierra.
- 1 Interruptor tripolar automático.
- 6 conectores enchufables para conexión de cable subterráneo de hasta 2x240 mm² Al por fase.
- 6 Transformadores de intensidad toroidales, relación apropiada, para protección.
- 1 Transformador de intensidad toroidales relación apropiada para medida de corriente homopolar.
- 6 Detectores de control de presencia de tensión.
- 1 Compartimento para elementos de control.

Celda de servicios auxiliares

- 1 Tramo tripolar de barras.
- 1 Seccionador tripolar de tres posiciones para seccionamiento de barras y para puesta a tierra.
- 3 Fusibles.
- 3 Conectores enchufables para la conexión de cable subterráneo de hasta 1x95 mm² Al por fase.
- 6 Detectores de control de presencia de tensión.

Barras colectoras

Las barras blindadas de 1600 A de intensidad nominal tendrán aislamiento en hexafluoruro de azufre (SF₆) monofásico o trifásico, e irán equipadas con los equipos siguientes:

- 3 Transformadores de tensión en cada tramo de barras.

- **Características de los componentes posición 20 kV**

Características asignadas		
Tensión nominal de la red	kV	20
Tensión más elevada para el material	kV	24
Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial (valor eficaz)	kV	50
Tensión soportada con impulsos tipo rayo (valor de cresta)	kV	125
Frecuencia	Hz	50
Corriente en servicio continuo salida de línea	A	630
Corriente en servicio continuo transformador	A	1250
Corriente en servicio continuo barras	A	2000
Corriente admisible de corta duración (1 seg)	kA	25
Valor de cresta de la corriente admisible de corta duración	kA	50

Tabla 9. Características asignadas comunes 20 kV

Características asignadas de los interruptores automáticos		
Tensión más elevada para el material	kV	24
Tipo de fluido para aislamiento y corte		SF ₆
Corriente asignada en servicio continuo transformadores	A	1250
Corriente asignada en servicio continuo líneas	A	630
Corriente admisible de corta duración (1 seg)	kA	25
Valor de cresta de la corriente admisible de corta duración (límite dinámico)	kA	50
Secuencia de maniobra	msec	O-0,3s-CO-15 seg-CO
Tiempo de apertura	msec	< 65
Tiempo de cierre	msec	< 150
Tiempo de cierre-apertura	msec	< 65

Tabla 10. Características asignadas de los interruptores automáticos 20 kV

Características asignadas de los transformadores de tensión		
Tensión más elevada para el material	kV	24
Relación de transformación	V	$33:\sqrt{3}/0,11:\sqrt{3}-0,11:\sqrt{3}-0,11:\sqrt{3}$
Potencias y clases de precisión		
1º Arrollamiento		10 VA cl.0,2
2º Arrollamiento		20 VA cl 0,5-3P Indistintamente
3º Arrollamiento		25 VA cl 3P
Factor de tensión		1,2 continuo – 1,5 30 seg

Tabla 11. Características asignadas de los transformadores de tensión 20 kV

Características asignadas de los transformadores de intensidad celda de transformador		
Tensión más elevada para el material	kV	24
Tipo		toroidal
Relación de transformación	A	600-1200/5-5-5 A
Potencias y clases de precisión		
1º Arrollamiento		15 VA cl.0,5
2º Arrollamiento		15 VA cl.5P20
3º Arrollamiento		15 VA cl.5P20

Tabla 12. Características asignadas de los transformadores de intensidad de celda 20 kV

Características asignadas de los transformadores de intensidad celda de línea		
Tensión más elevada para el material	kV	24
Tipo		toroidal
Relación de transformación	A	300-600/5-5-5
Potencias y clases de precisión		
1° Arrollamiento		15 VA cl.0,5
2° Arrollamiento		15 VA cl.5P20
3° Arrollamiento		15 VA cl.5P20

Tabla 13. Características asignadas de los transformadores de intensidad de línea 20 kV

Características asignadas de los transformadores de intensidad celda de línea para contaje		
Tensión más elevada para el material	kV	24
Tipo		toroidal
Relación de transformación	A	1000/5
Potencias y clases de precisión		10 VA cl.0,2S gama extendida

Tabla 14. Características asignadas de los transformadores de intensidad de celda contaje 20 kV

Características funcionales de los seccionadores de puesta a tierra

La maniobra de puesta a tierra de los cables se realizará siempre a través del interruptor automático.

Los seccionadores de puesta a tierra tendrán un poder de cierre combinado con el interruptor automático de 63 kA (valor de cresta).

3.5 CONDUCTORES Y TRANSFORMACIÓN

La conexión del transformador de potencia en 20 kV con sus correspondientes cabinas se realizará con los siguientes conductores:

- Tensión nominal de la red: 20 kV
- Tensión asignada del cable: 15/20 kV
- Sección: 500 mm²
- Naturaleza del conductor: Aluminio

- Intensidad admisible (enterrado 1m, terna de cables en contacto mutuo): 660 A
- N° de conductores por fase: 3
- Sección mínima de la pantalla: 16 mm²

Se instalará un transformador 66/20 kV de 40 MVA.

Los neutros de 66 kV se conectarán rígidos a tierra, instalándose en esta conexión transformadores de intensidad.

Los neutros 20 kV se conectarán a tierra a través de reactancia de puesta a tierra que limitarán la corriente de defecto a tierra a 500 A.

Para la protección contra el rayo se instalarán pararrayos en la parte de AT del transformador.

• Características de los componentes

Características asignadas Transformador de potencia 66/20 kV 40 MVA			
Tensiones en vacío			
AT	V	66.000±10% $\times$ 1,5(vacío)	
BT (Estrella)	V	20.000	
Potencia por arrollamiento en toma de menor tensión			
AT	MVA	40	
BT	MVA	40	
Grupo de conexión AT/BT		Yy0	
Dispositivo cambio de tensiones			
AT		Regulador en carga	
BT		Fija	
Clase de refrigeración		ONAN-ONAF	
Tensión cortocircuito 75° base 40 MVA		12.5 %	

Tabla 15. Características asignadas transformador de potencia 40 MVA

Características asignadas de los transformadores de intensidad neutros 66 kV		
Tensión más elevada para el material	kV	72,5
Relación de transformación	A	400-800/5-5 A
Potencias y clases de precisión		
1º Arrollamiento		20 VA cl.5P20
2º Arrollamiento		20 VA cl.5P20

Tabla 16. Características asignadas de los transformadores de intensidad neutros 66 kV

3.6 SISTEMAS PRESENTES EN LA SUBESTACIÓN

Aunque el objetivo principal de este trabajo es describir en detalle todos los aspectos relacionados con el sistema eléctrico, a continuación, se presentará una serie de sistemas adicionales que forman parte de la subestación. Estos sistemas complementarios no solo mejoran la seguridad y la eficiencia de la subestación, sino que también aseguran una operación más fiable y robusta, contribuyendo al buen funcionamiento del sistema eléctrico en general.

3.6.1 SISTEMA DE CONTROL

Se instalará un Sistema Integrado de Control y Protección (en adelante SICOP) con las siguientes características.

El SICOP será de tecnología numérica y configuración distribuida, formado por una unidad de control de la subestación (en adelante UCS) y varias unidades de control de posición (en adelante UCP).

Éste incorporará las funciones de control local, telecontrol, protección y medida de todas las posiciones de la subestación incluido los Servicios Auxiliares tanto de corriente continua como de corriente alterna.

Las UCS y UCP están destinados a resolver las necesidades de comunicación y tratamiento de datos de los equipos de protección, control y medida que se encuentran en una subestación eléctrica. Se describen, a continuación, sus funciones principales:

- Funciones principales de la UCS
 - Mando y Señalización de todas las posiciones de la subestación
 - Ejecución de automatismos generales a nivel de subestación.
 - Presentación y gestión de las alarmas del sistema.
 - Gestión de las comunicaciones con el sistema de Telecontrol.
 - Gestión de las comunicaciones con todas las UCP
 - Gestión de periféricos: terminal local, impresora y módem.
 - Generación de informes.
 - Sincronización horaria.

- Opcionalmente, Gestión de comunicaciones y tratamiento de la información con las Unidades de Mantenimiento a través de la Red Telefónica Conmutada o Red de Tiempo Real.
- Funciones principales de las UCP
 - Medida de valores analógicos (intensidad, tensión, potencia, etc.) directamente desde los secundarios de los TT/I y TT/T
 - Protección de la posición.
 - Mando y señalización remota de los dispositivos asociados a la posición. (interruptores, seccionadores, etc.)
 - Adquisición de las entradas digitales procedentes de campo asociadas a la posición.
 - Gestión de alarmas internas de la propia UCP.

Por otro lado, los distintos elementos integrantes del SICOP se dispondrán de la siguiente forma:

- Un armario central en el que se instalará el equipamiento general de la subestación y que se ubicará en el edificio o sala de control. Este armario contendrá la UCS y todos los módems excepto los que comunican con el Telemando (Despacho de Maniobras).
- Las diferentes UCP se instalarán en los armarios de protección de la subestación.
- La red de comunicaciones se instalará en las conducciones de cables de la subestación y será de fibra óptica de plástico protegida contra la acción de los roedores.



Figura 5. UCS subestación

3.6.2 SISTEMA DE PROTECCIONES

Se distinguirán tres sistemas de protecciones principales, de transformador, de líneas y de puntos frontera conectadas a TT en barras 20 kV. Estos sistemas estarán compuestos por:

- **Transformadores 66/20 kV**
 - Lado 66 kV:
 - Osciloperturbógrafo digital
 - Protección diferencial (87-1, 87-2)
 - Protecciones propias del transformador (imagen térmica, Buchholz, válvulas de alivio, temperatura, Buchholz del regulador, ...)
 - Relés disparo y bloqueo (2 x 86)
 - Sobreintensidad (51-51N)
 - Sobreintensidad en neutro (95A)
 - Fallo de interruptor (50S-62)
 - Discordancia de polos (2 x 2 por interruptor)

- Vigilancia de circuitos de disparo (2 x 3 por interruptor)
 - Comprobación de sincronismo (25)
- Lado 20 kV:
- Sobreintensidad (51-51N)
 - Sobreintensidad en neutro (95B)



Figura 6. Relés de sobreintensidad y disparo y bloqueo

- **Lineas 20 kV**
 - Sobreintensidad (50-51/50N-51N/50-51Ns)
 - Mínima tensión (27)
 - Máxima tensión (59)
 - Máxima y mínima frecuencia (81Mm)
 - Sobretensoión homopolar (64)
- **Protecciones punto frontera conectadas a TT barras 20 kV**
 - Mínima tensión (27)
 - Máxima tensión (59)
 - Máxima y mínima frecuencia (81Mm)
 - Sobretensoión homopolar (59N)

3.6.3 SISTEMA DE MEDIDA PARA FACTURACIÓN

El sistema de medida para facturación estará conectado a transformadores de intensidad y tensión instalados en barras de 20 kV y estará compuesto por dos contadores (principal y redundante) electrónicos combinados de Activa y Reactiva siendo la medida realizada en los cuatro cuadrantes.

Estos contadores tienen las siguientes características:

- Clase de precisión del contador de activa: 0,2 S.
- Clase de precisión del contador de reactiva: 0,5.
- N° de hilos: 4
- Máxímetro configurable para cada una de las tarifas.
- Montaje saliente.
- 2 Registradores de medida.
- 2 Cajas de bornas de ensayo.

- 2 Convertidores.
- 1 Modem de comunicaciones



Figura 7. Armario de medida de subestación

3.6.4 SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES Y TELECOMUNICACIONES

Habr  dos sistemas de servicios auxiliares, uno para corriente alterna y otro para corriente continua.

Se describen a continuación:

- **Servicio Auxiliares de Corriente Alterna**

La función del sistema de servicios auxiliares de corriente alterna será la alimentación de las siguientes cargas:

- Rectificadores
- Calefacción aparamenta
- Alumbrado
- Contraincendios
- Extracción de humos
- Ventiladores y motobombas del autotransformador
- Pequeña fuerza

La alimentación estará formada por 1 de apoyo en 400 V procedente del cuadro de SS.AA. de los Promotores.

La distribución se realizará mediante el Cuadro de Servicios Auxiliares y las características de los componentes serán:

Características Transformador de Servicios Auxiliares			
Tensiones en vacío			
AT	V	$20.000 \pm 2,5\% \pm 5\%$	
BT	V	420-242	
Potencia por arrollamiento en toma de menor tensión	kVA	100	
Grupo de conexión AT/BT		Yy0	
Clase de refrigeración		Natural	
Tensión cortocircuito 75° base 100 kVA		4 %	

Tabla 17. Características Transformador de Servicios Auxiliares

- **Servicios Auxiliares de Corriente Continua**

La función del sistema de servicios auxiliares de corriente continua será la alimentación de las siguientes cargas:

- Circuitos de mando, indicación de posición y alarmas.
- Circuitos de protección de Primer Nivel.
- Circuitos de protección de Segundo Nivel.
- Circuitos de energía para los motores de los accionamientos eléctricos de la aparamenta.
- Circuitos de comunicaciones y Telecontrol.

La distribución se realizará mediante dos Cuadros de Servicios Auxiliares, uno para corriente continua y otro para corriente alterna.

Se instalarán, adicionalmente, 2 equipos cargador-batería de 100 Ah. 125 V. c.c. con las siguientes características:

Características del Equipo Cargador-Batería de 125 V.		
Características generales		
Tensión nominal	V	125 + 10% - 15 %
Consumo en permanencia	A	10
Características de la batería	kVA	250
Tipo		Estacionaria Ni-Cd
Nº de elementos		92
Tensión de flotación	V	1,4 por elemento
Capacidad nominal	Ah	100
Régimen de descarga		Medio (5h)
Características del cargador		
Tensión de salida estabilizada		1 %
Factor de rizado		2 %
Intensidad de salida	A	15



Tabla 18. Características del Equipo Cargador-Batería

Para el sistema de telecomunicaciones, las vías de comunicación para el telecontrol de la Subestación y el teledisparo se realizará mediante fibra óptica.

3.6.5 SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Las red de tierras estará compuesta por sistema de puesta a tierra inferior y red de tierra aérea, presentando sus características a continuación. Se aportarán los cálculos justificativos correspondientes a la red de tierras posteriormente.

La instalación general de puesta a tierra inferior cumplirá las siguientes funciones:

- Proteger al personal y equipo contra potenciales peligrosos.

- Proporcionar un camino a tierra para las intensidades originadas por descargas atmosféricas, por acumulación de descargas estáticas o por defectos eléctricos.
- Referenciar el potencial del circuito respecto a tierra.
- Facilitar a los elementos de protección el despeje de falta a tierra.

Criterios de diseño del sistema de tierras inferior	
Resistividad del terreno	50 Ω /m
Intensidad de defecto	14,4 kA
Tiempo de despeje de la falta	0,5 s
Resistencia del cuerpo humano	1000 Ω

Tabla 19. Criterios de diseño de tierras inferior

Este sistema de puesta a tierra estará formado por:

- Electrodo de puesta a tierra. Será una malla enterrada de cable de cobre. Los conductores en el terreno se tenderán formando una retícula, estando dimensionado de manera que al dispersar la máxima corriente de fallo las tensiones de paso y de contacto estén dentro de los límites admisibles por el presente reglamento (Instrucción MIE-RAT-13).
- Líneas de tierra. Serán conductores de cobre desnudo o pletina de cobre de 40x4 que conectarán los elementos que deban ponerse a tierra al electrodo de acuerdo con las instrucciones generales y particulares de puesta a tierra.

Y estos componentes compondrán:

- **Puesta a tierra de protección**

Se pondrán a tierra las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Se conectarán a las tierras de protección, salvo las excepciones señaladas en los apartados que se citan, entre otros, los siguientes elementos:

- Los chasis y bastidores de aparatos de maniobra.
- Los envolventes de los conjuntos de armarios metálicos.
- Las puertas metálicas de los locales.
- Las vallas y las cercas metálicas.
- Los soportes, etc.
- Las estructuras y armaduras metálicas del edificio que contendrá la instalación de alta tensión.
- Los blindajes metálicos de los cables.
- Las tuberías y conductos metálicos.

- Las carcasas de los transformadores.

- **Puesta a tierra de servicio**

Se conectarán a las tierras de servicio los elementos de la instalación, y entre ellos:

- Los neutros de los transformadores de potencia y los neutros de B.T. de los transformadores de S.A.
- Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.

- **Interconexión de las instalaciones de tierra**

Las puestas a tierra de protección y de servicio de una instalación deberán conectarse entre sí, constituyendo una instalación de tierra general.

3.6.6 SISTEMA DE ALUMBRADO

- **Alumbrado exterior.** Estará formado por proyectores con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 250 W.



Figura 8. Proyector con lámpara de vapor de sodio de alta presión

- **Alumbrado Interior.** Por un lado, en la sala de celdas se instalarán proyectores con lámparas de vapor de sodio sobre proyector, y por otro lado, en las salas auxiliares se utilizarán luminarias adosadas con dos reflectores NLSD 100, equipo de arranque, 50 Hz y dos tubos fluorescentes TLD 36W.



Figura 9. Luminaria con dos reflectores

- **Alumbrado de emergencia.** Para el alumbrado de emergencia se instalan lámparas con fuentes propias de energía con una iluminación mínima de 10 lux, en régimen de emergencia y de 1 lux en régimen de señalización. Estas lámparas estarán previstas para entrar en funcionamiento al producirse el fallo del alumbrado general o cuando la tensión de éste baje a menos del 70 % de su valor nominal.

3.6.7 SISTEMA DE SEGURIDAD

- **Protección contra incendios.** La instalación de protección contra incendios proyectada es la correspondiente a lo exigido por la norma básica NBE-CPI-96, siendo necesarias las siguientes instalaciones:
 - Extintores: Se han previsto extintores en todas las plantas, a razón de uno por cada 15 m. de recorrido desde los orígenes de evacuación. Los extintores serán de CO₂ de 3,5 y 5 kg de capacidad y se ajustarán a las normas UNE 23-110-75, UNE 23-110-80, UNE 23-110-82, UNE 23-601-79, UNE 23-602-81.
 - Instalación de detección: Se ha previsto una instalación de detección automática en todo el edificio, formada por detectores iónicos de humos. Estos detectores se conectarán a una central automática de detección y alarma situada junto a la entrada al edificio. Esta instalación se completa con pilotos indicadores, sirenas de alarmas interiores y sirenas exteriores.
 - Pulsadores de alarma: Se disponen pulsadores de alarma en el edificio, a una distancia máxima de 50 m., no debiendo estar ningún punto a una distancia mayor de 25 m. de un pulsador. Esta instalación estará conectada a la central descrita anteriormente.
 - Alumbrado de emergencia: Se ha proyectado este alumbrado mediante la utilización de equipos autónomos con batería para una hora de autonomía.

La centralita contra incendios estará provista de señales ópticas y acústicas, estará dotada de un sistema de supervisión permanente, y deberá proporcionar como mínimo la siguiente información:

- Servicio de red
- Servicio de baterías
- Carga de baterías
- Alarma de fuego en general
- Avería de zonas de cortocircuito
- Avería de zonas de circuito abierto
- Dispositivo de extinción activado
- Fallo de dispositivo de extinción
- Avería en línea de alarmas

- Temporización de mecanismo de disparo
 - Dispositivo de rearme de sistema
 - Prueba de información de sistemas distintos circuitos
- **Protección contra intrusismo.** Se adoptarán:
 - Medidas pasivas entre las que se incluyen vallado perimetral completo, ventanas exteriores del edificio con enrejado según UN-EN 108-1042 y puertas de acceso a edificio con nivel de resistencia 4 según UNE-ENV 1627 (1999).
 - Medidas activas con emisores-células receptoras, cuyas señales se conectarán a la remota de la subestación.

3.7 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Se proporciona a continuación, los cálculos justificativos correspondientes al embarrado de la subestación, así como de su red de tierras.

3.7.1 CÁLCULOS DE EMBARRADO

A continuación, se procederá a justificar los tipos de embarrados que se utilizarán en el diseño de la futura subestación. El estudio justificativo que sustentará este proyecto para la selección de un embarrado específico estará basado en el análisis de la capacidad de carga de los conductores y en diversas comprobaciones que se irán detallando a lo largo del apartado.

La normativa tomada como referencia para el diseño de dicho embarrado es la siguiente:

- IEC 60865-1 (Norma UNE-EN 60865-1): Corrientes de cortocircuito. Cálculos de efectos. Parte 1: definiciones y métodos de cálculo.
- IEEE 738-2012: Norma para el cálculo de la relación intensidad-temperatura en conductores aéreos.

Se exponen ahora, las especificaciones que definen los embarrados, en este apartado el de 66 kV. El correspondiente a 20 kV se encuentra especificado en el apartado 6.2.3 perteneciente a la parte de media tensión del centro de transformación.

Cuando a subestaciones respecta, el término embarrado, también hace referencia a la interconexión entre apartamentas, así como entre apartamentas y embarrado. Sabiendo esto, se muestran las características del embarrado de 66 kV a diseñar.

Dato de Diseño	Ud	
Tensión de Trabajo (U)	kV	66
Intensidad de Cortocircuito (I _{cc})	kA	31,5
Separación entre Conductores (A)	m	1,5
Distancia entre Apoyos (L)	m	0,7
Denominación	Tubo de Cobre	
Diámetro Exterior (D _e)	mm	50
Diámetro Interior (D _i)	mm	40
Espesor (e)	mm	5
Sección (S)	mm ²	706,5
Peso del Material (m)	kg/m	3,94
Momento de Inercia (J)	cm ⁴	18,1
Momento Resistente (W)	cm ³	7,24
Módulo de Young (E)	N/mm ²	110.000
Límite de Fluencia Mínimo (R _{min})	kg/cm ²	1.500
Límite de Fluencia Máximo (R _{max})	kg/cm ²	1.500
Conductividad	m/Ω·mm ²	56
Coefficiente de Dilatación (α)	mm/m·°C	0.0017
Esfuerzo de Viento 120 km/h (F _v)	kg/m ²	70

Tabla 20. Datos de diseño de embarrado

- Esfuerzos de cortocircuito

Los esfuerzos de cortocircuito se refieren a las fuerzas mecánicas y térmicas que actúan sobre los conductores y soportes del embarrado durante un evento de cortocircuito. Estos esfuerzos son causados por las corrientes extremadamente altas que fluyen durante un cortocircuito, generando fuerzas electromagnéticas que pueden deformar o dañar el embarrado. La evaluación de estos esfuerzos es crucial para garantizar la integridad estructural y operativa del sistema bajo condiciones de fallo.

La expresión por la que se rigen estos esfuerzos es la siguiente:

$$F_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_p^2 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

Siendo μ_0 : Permeabilidad magnética del vacío ($4\pi \cdot 10^{-7}$)

a: Distancia entre fases

l: Longitud

I_p : Valor de cresta máximo de intensidad de cortocircuito

$$\text{con } I_p = \aleph \cdot \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

$$\text{siendo } \aleph = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3R/X}$$

Obteniendo como resultado de esfuerzo de cortocircuito:

$$\checkmark \quad F_s = 61,2 \text{ kg (esfuerzo de cortocircuito)}$$

- Fuerza electrodinámica para reacción en los apoyos

La fuerza electrodinámica para reacción en los apoyos se refiere a la fuerza generada por las corrientes eléctricas que fluyen a través de los conductores durante un cortocircuito. Estas corrientes producen campos magnéticos que interactúan, generando fuerzas que actúan sobre los apoyos y estructuras que sostienen los conductores. Estas fuerzas pueden ser significativas, provocando esfuerzos mecánicos que deben ser considerados en el diseño para asegurar que los apoyos sean lo suficientemente robustos para soportarlas sin sufrir daños o deformaciones.

Estas fuerzas siguen la siguiente expresión:

$$F_{da} = V_r \cdot V_f \cdot F_s \cdot \alpha$$

Siendo: V_r y V_f : Coeficientes recogidos en la norma

F_s : Esfuerzo de cortocircuito

α : Factor dependiente del nº y tipo de soporte (figura 11, es 0,4)

Dando como resultado:

✓ $F_{da} = 54,3 \text{ kg}$ (fuerza electrodinámica en apoyos)

Además, el esfuerzo máximo sobre los conductores será:

$$\sigma_m = V_r \cdot V_\gamma \cdot \beta \cdot \frac{F_s \cdot l}{8 \cdot W}$$

Siendo: V_r y V_γ : Coeficientes recogidos en la norma

β : Factor dependiente del n° y tipo de soporte (figura 11, es 1,1)

F_s : Esfuerzo de cortocircuito

l : Longitud

W : Momento resistente

Obteniendo:

✓ $\sigma_m = 38,33 \text{ daN/cm}^2$ (esfuerzo máximo sobre conductores)

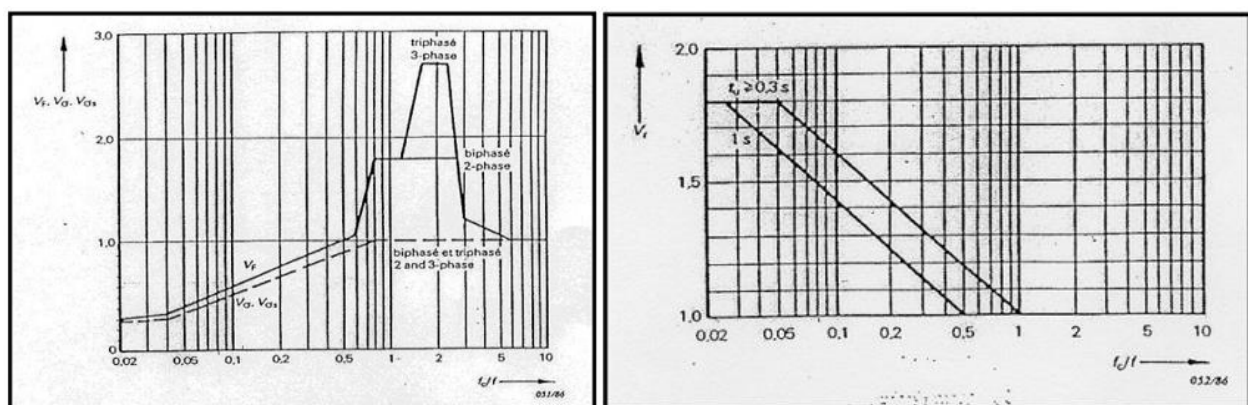


Figura 10. Coeficientes V_r , V_γ y $V_{\gamma s}$

Y, por tanto, la frecuencia de resonancia de un vano, que es la frecuencia natural a la cual el vano oscila con la máxima amplitud debido a la excitación de fuerzas periódicas, como las fuerzas electromagnéticas durante un cortocircuito, quedaría:

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

Siendo: γ : Constante que depende de los apoyos (figura 11, es 3,56)

l : Longitud

E : Módulo de Young

J : Momento de Inercia

m : Peso del material

Dando como resultado:

✓ $f_c = 516,52 \text{ Hz}$ (frecuencia de resonancia)

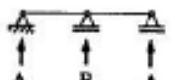
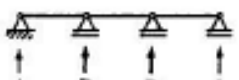
Tipo de viga y de soporte		Factor α	Factor β^*	Factor γ
Vigas de un solo vano	A y B: soportes simples 	A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: soporte empotrado B: soporte simple 	A: 0,625 B: 0,375	0,73	2,45
	A y B: soportes empotrados 	A: 0,5 B: 0,5	0,5	3,56
Vigas continuas con soportes equidistantes	Dos vanos 	A: 0,375 B: 1,25	0,73	2,45
	Tres o más vanos 	A: 0,4 B: 1,1	0,73	3,56

Figura 11. Tabla de Vigas y Soportes

- Tensiones en el embarrado

Las tensiones se calcularán para cada acción, teniendo en cuenta el peso propio más el peso del hielo, fuerzas electrodinámicas y acción del viento.

- Tensión por esfuerzos dinámicos

La expresión usada para la tensión por esfuerzos dinámicos es la siguiente:

$$\sigma_c = \frac{F \cdot l^2}{8 \cdot W}$$

Y debiendo verificarse que:

$$\sigma_c \leq q \cdot R_{p02}$$

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p02}$$

Siendo: F: esfuerzo soportado por conductor

l: Longitud del vano

W: Momento resistente

q: factor de resistencia o carga por metro producido por el esfuerzo (figura 12, es 1,37)

R_{p02}: Límite elástico (1.950)

Dándose:

$$\checkmark \quad \sigma_c = 5,2 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tensión por esfuerzo dinámico)}$$

Y verificándose:

$$\checkmark \quad 1,37 \leq 288,5$$

$$\checkmark \quad 38,33 \leq 2671,5$$

Cross-sections	q
	2.00
	1.70
	$(\frac{S}{D} - 0.05), 1.34$ $(-0.075), 1.37$ $(-0.100), 1.40$ $(-0.125), 1.44$ $(-0.160), 1.48$ $(-0.200), 1.51$
	1.83
	1.50
	1.19
	1.13

Figura 12. Tabla de factor de resistencia q

- Esfuerzos sobre los aisladores del apoyo

Calculamos ahora, los esfuerzos sobre los aisladores del apoyo que son las fuerzas y tensiones que actúan sobre los aisladores que sostienen y separan los conductores eléctricos de las estructuras de soporte pudiendo ser de tipo mecánico (por el viento), electrodinámico (por corrientes de cortocircuito) o térmico (por variaciones de temperatura).

Se calculará de la siguiente forma:

$$Fm = \sqrt{Ptubo^2 + (Fv + Fcorto)^2}$$

Siendo: P_{tubo} : Esfuerzo sobre tubo

F_v : Fuerza del viento

F_{corto} : Esfuerzo cortocircuito

Siendo el resultado:

✓ **$F_m = 63,7 \text{ kg}$** (esfuerzos sobre aisladores de los apoyos)

- Comprobación del aislador

La carga de rotura del aislador debe superar en todo momento la fuerza generada por los esfuerzos dinámicos y estáticos. Además, para garantizar la seguridad, estos valores deben multiplicarse por un factor de seguridad de 1,25:

$$F_{da_corr} = V_r \cdot V_f \cdot F_s \cdot \alpha \cdot 1,25$$

Siendo: V_r y V_f : Coeficientes recogidos en la norma

F_s : Esfuerzo de cortocircuito

α : Factor dependiente del nº y tipo de soporte (figura 11, es 0,4)

Dando:

✓ **$F_{da_corr} = 67,9 \text{ kg}$** (esfuerzo dinámico corregido)

En estos casos, el aislador trabajará en las peores condiciones, soportando la mayor fuerza que se produzca.

- Resistencia térmica al cortocircuito

A continuación, se verificará que el efecto térmico del cortocircuito no influye en el diseño de los embarrados, dado que los valores admisibles son significativamente mayores que las corrientes de cortocircuito previstas.

Se considerará una temperatura inicial del conductor de 75 °C y una temperatura máxima admisible de 120 °C para el cobre durante un cortocircuito. De la figura 13, obtenida directamente de la norma IEC-60865-1, se tomará la densidad de corriente soportada para una duración de la falta de 1 segundo.

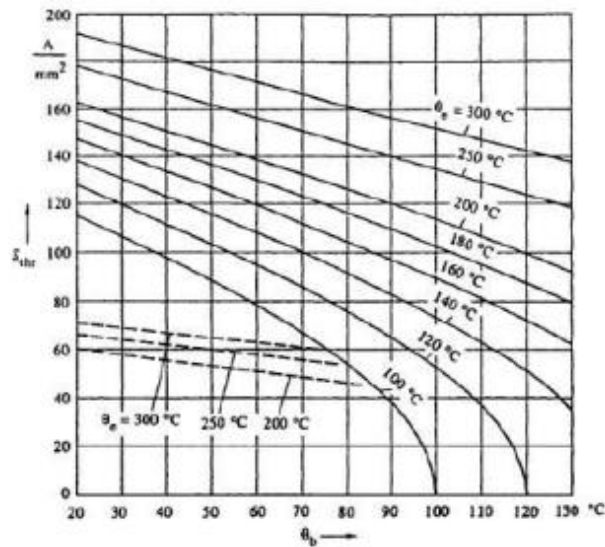


Figura 13. Densidad de corriente

El valor de I''_k para 1 segundo es de 80 A/mm².

La intensidad térmica en cortocircuito viene dada según IEC-60865-1 por la expresión:

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m + n}$$

Siendo: I''_k : Corriente de cortocircuito térmica

m y n: Coeficientes térmicos de disipación (0,1 y 0,8 respectivamente de figura 14)

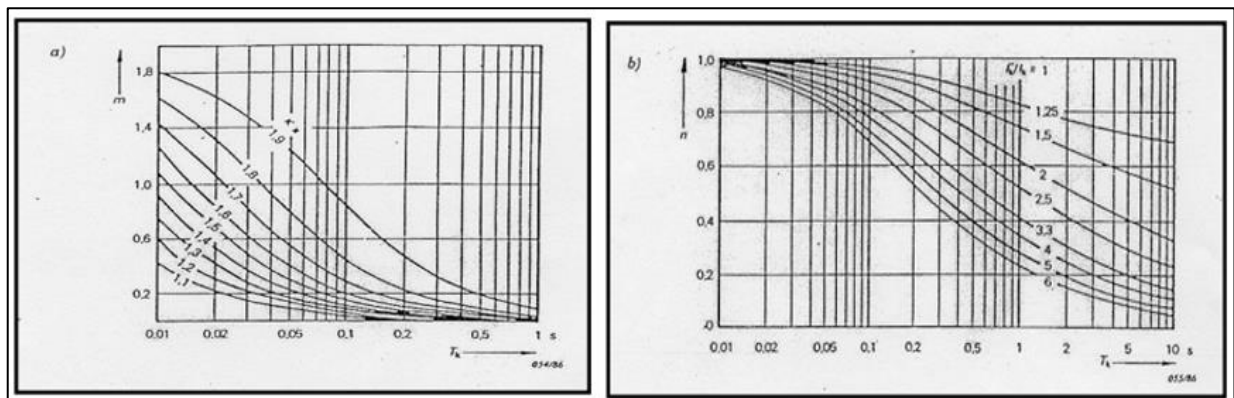


Figura 14. Coeficientes térmicos de disipación

Obteniéndose:

✓ $I_{th} = 76,1 \text{ kA}$ (intensidad térmica de cortocircuito)

- Efecto Corona

En la ITC-LAT 7 se indica que para tensiones nominales superiores a 66 kV será necesario estudiar el comportamiento de los conductores al efecto corona.

El efecto corona es un fenómeno eléctrico que se produce por la ionización del fluido (aire) que rodea a un conductor por el cual circula una corriente. Se manifiesta en forma de halo luminoso, y gana importancia conforme mayor sea la tensión del conductor. Para que no se produzca efecto corona en un conductor desnudo se debe cumplir que:

$$U_n < U_c$$

Siendo: U_c : tensión crítica disruptiva, valor de tensión por encima del cual el aire se ioniza

U_n : tensión máxima de la red

Se calculará la tensión crítica disruptiva mediante la fórmula dada por F.W Peek:

$$U_c = V_t \cdot \sqrt{3} = \frac{29,8}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{3} \cdot m_c \cdot \delta \cdot m_t \cdot r \cdot n \cdot \ln\left(\frac{D}{r'}\right)$$

Siendo: V_t : Tensión crítica disruptiva fase-neutro (21,1)

m_c : coeficiente de rugosidad, cuyo valor es 1 en hilos de superficie lisa, 0.93-0.98 en hilos oxidados o rugosos, 0.83-0.87 para cables.

m_t : coeficiente meteorológico, siendo 1 para tiempo seco, 0.8 para tiempo húmedo

r : radio del conductor (2,5 cm)

D : distancia entre fases (189 cm)

r' : radio ficticio que depende del número de conductores por fase y que, en este caso, al solo tener un conductor por fase coincide con el radio del conductor

n : número de conductores por fase

δ : factor de correlación de densidad del aire, función la altura sobre nivel del mar (0,95)

Tras los cálculos tenemos dos escenarios:

✓ **Tiempo Seco $\rightarrow 66 \text{ kV} < 205,4 \text{ kV} \rightarrow \text{CUMPLE}$**

✓ **Tiempo Húmedo $\rightarrow 66 \text{ kV} < 164,3 \text{ kV} \rightarrow \text{CUMPLE}$**

3.7.2 CÁLCULOS DE RED DE TIERRAS

El cálculo de la red de tierras es imprescindible en cualquier subestación, ya que todos los puntos accesibles para las personas o en los que puedan permanecer deben estar protegidos contra cualquier tensión peligrosa de defecto que pueda surgir en la instalación siendo crucial para garantizar la seguridad, protección, estabilidad, cumplimiento normativo y reducción de interferencias en una subestación. Para asegurarnos de que la red de tierra de la futura subestación eléctrica cumpla con las condiciones de seguridad, nos basaremos en la siguiente normativa:

- ITC-RAT 13 del "Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones de Alta Tensión".

El procedimiento a seguir será el siguiente:

- Definición de las características iniciales
- Definición de corrientes máximas a tierra y tiempo máximo de despeje de falta
- Cálculo de la resistencia equivalente
- Cálculo y comprobación de las tensiones de paso y contacto en el exterior
- Cálculo del conductor de puesta a tierra

Partimos de los siguientes datos iniciales:

Datos de Diseño	Ud	
Tensión Nominal (U_n)	kV	66
Resistividad del Terreno (ρ)	Ωm	50
Resistividad de Grava Superficial (ρ_s)	Ωm	2.000
Espesor de Grava Superficial (h_s)	m	0,1
Tiempo de Duración de Defecto (t)	s	0,5
Corriente de Defecto por Línea 1 (I_{o1})	kA	8
Corriente de Defecto a Tierra (I_d)	kA	14,4
Coefficiente de Mayoración de Corriente de Defecto	1,2	
Profundidad de Malla (h)	m	0,8
Separación entre Conductores (D)	m	5
Longitud de Conductores (Sentido Longitudinal) (L_l)	m	28,2
Longitud de Conductores (Sentido Transversal) (L_t)	m	26,5

Tabla 21. Datos de diseño de red de tierras

Una vez definidos los parámetros iniciales de diseño de la red de tierras, comenzamos con los cálculos correspondientes.

- Intensidad máxima a tierra y tiempo máximo de despeje de falta

✓ $I_f = 14,4 \text{ kA}$

✓ $t_f = 0,5 \text{ s}$

- Resistencia equivalente de puesta a tierra

Para el cálculo de este valor se emplearán las expresiones dadas por el documento IEEE Standard 80-2000 en función de su disposición, tipología y elementos (método de Sverak).

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

Siendo: ρ : Resistividad media del terreno

L: Longitud total de conductor enterrado

A: Superficie cubierta por la red de tierras

h: Profundidad de la malla de tierra

Así se llega a que la resistencia vale:

✓ $R_g = 0,4 \Omega$ (resistencia equivalente de puesta a tierra)

- Tensiones de paso y contacto

Las tensiones de paso y de contacto en una subestación son tipos de tensiones peligrosas que pueden afectar a las personas durante un fallo eléctrico.

- Tensión de paso: Es la diferencia de potencial que existe entre los pies de una persona cuando ambos están en contacto con el suelo a diferentes distancias, dentro del área afectada por una corriente de falla. Si una persona camina o corre en un área donde el suelo está energizado, puede sufrir una descarga eléctrica a través de sus pies.
- Tensión de contacto: Es la diferencia de potencial entre un punto accesible, donde una persona puede tocar una estructura metálica energizada, y el suelo en el que está parada. Si una persona toca una estructura metálica que se ha energizado debido a una corriente de falla, puede sufrir una descarga eléctrica a través de su cuerpo.

Para calcular cada una de estas tensiones de referencia se usarán las siguientes formulaciones:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{\frac{Ra1}{2} + 1.5 \cdot \rho_s}{1000}\right)$$

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot Ra1 + 6 \cdot \rho_s}{1000}\right)$$

Siendo: U_{ca} : Tensión de contacto aplicada admisible entre mano y pies en función tiempo falta

R_{a1} : Resistencia de calzado (2000Ω)

ρ_s : Resistividad superficial

Se han supuesto los valores más comunes de resistencia del cuerpo humano, 1000Ω , y se ha asimilado cada pie a un electrodo con forma de placa de 200 cm^2 y que ejerce una fuerza mínima de 250 N .

A partir de la siguiente tabla de la ITC-RAT 13, conoceremos la tensión U_{ca} en función del tiempo de despeje de la falta.

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

Figura 15. Tensiones de contacto aplicada admisible

En este caso será:

✓ $U_{ca} = 204 \text{ V}$ (tensión de contacto aplicada admisible)

Y, a partir de este valor, se calculan las tensiones de contacto y paso de referencia con grava:

✓ $U_c = 1.029,2 \text{ V}$ (tensión de contacto de referencia)

✓ $U_p = 35.048,1 \text{ V}$ (tensión de paso de referencia)

Para calcular la resistividad superficial aparente del terreno, en los casos en los que el terreno se recubre de una capa adicional de elevada resistividad, se multiplicará por un factor adicional reductor. Este coeficiente se obtendrá haciendo uso de la siguiente fórmula:

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

Siendo: h_s : Espesor de la capa de terreno superficial

ρ : Resistividad del terreno natural

ρ_s : Resistividad de la capa superficial

Dando lugar a:

✓ $C_s = 0,67$ (coeficiente adicional reductor)

Se procede ahora a calcular las tensiones de paso y contacto reales. Para ello, seguiremos las siguientes expresiones:

$$U_p = \frac{\rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot I_g}{L_s}$$

$$U_{c'} = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot I_g}{L_m}$$

Siendo: ρ : Resistividad media del terreno

I_g : Intensidad que circula por la red de tierras

K_m : Factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de contacto

K_i : Factor corrector por efecto de mayor densidad de corriente en extremos de la malla

K_s : Factor geométrico de espaciado de conductores para tensión de paso

L_m : Longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de contacto

L_s : Longitud efectiva de la red de conductores enterrados para tensión de paso

Se sabe también que las expresiones para calcular los factores geométricos y las longitudes efectivas son las siguientes:

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

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

$$L_m = L_c + \left[1,55 + 1,22 \cdot \frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right]$$

$$L_s = 0,75 \cdot L_c + 0,85 \cdot L_r$$

Siendo: D: Separación media entre conductores (5 m)

d: Diámetro de los conductores (0,012 m)

h: Profundidad de enterramiento de los conductores de red horizontal (0,8 m)

n: n° equivalente de conductores en paralelo que forman la malla (15,13)

L_c : Longitud total de conductores enterrados que forman malla (2004,8 m)

L_r : Longitud de picas enterradas (16 m)

L_r : Longitud de cada pica (2 m)

L_x : Longitud de malla de tierra en dirección longitudinal (79,7 m)

L_y : Longitud de malla de tierra en dirección transversal (54,2 m)

L_p : Longitud perimetral de malla de tierra (267,7 m)

A: Área de malla de tierra (4316,81 m²)

D_m : Máxima distancia entre dos puntos de malla de tierra

h_0 : Profundidad de referencia de mallas de tierra (1 m)

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

Siendo su valor: $K_h = 1,34$

$K_{ii} = 1$ para mallas con picas en el perímetro o en las esquinas

$K_{ii} = 1/(2 \cdot n)^{2/n}$ para mallas sin picas o si estas no están en el perímetro o en las esquinas

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left(\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right)^{\frac{0,7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Siendo sus valores: $n_a = 14,98$, $n_b = 1,01$, $n_c = n_d = 1$ y $n = 15,13$

Con esto, se procede a la verificación y comprobación de las tensiones de paso y contacto admisibles. Recordar que estas tensiones se han calculado para un escenario exterior y en una zona con grava. Se debe cumplir que:

$$E_c < E_{ca} \text{ y } E_p < E_{pa}$$

Teniendo:

- ✓ $U_c = 1029,2 \text{ V}$ y $U_c' = 731,7 \text{ V}$ (tensión de contacto calculada vs referencia)
- ✓ $U_p = 35.048,1 \text{ V}$ y $U_p' = 524,8 \text{ V}$ (tensión de paso calculada vs referencia)

En este caso, el resultado final sería:

CRITERIO		RESULTADO	
$E_{\text{contacto}} \text{ (V)}$	$U_c' < U_c$	$731,7 < 1029,2$	CUMPLE REGLAMENTO
$E_{\text{paso}} \text{ (V)}$	$U_p' < U_p$	$524,8 < 35.048,1$	CUMPLE REGLAMENTO

Tabla 22. Verificación de tensiones

- Conductor de puesta a tierra

Como se mencionó anteriormente, la red de tierras se compone de las líneas de tierra y del electrodo de puesta a tierra, que se definen como:

- Líneas de tierra: Conductor o conjunto de conductores que une el electrodo de tierra con la parte de la instalación que se ha de poner a tierra, siempre y cuando los conductores estén fuera del terreno o colocados en él, pero aislados del mismo.
- Electrodo de tierra: Conductor, o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión a tierra. En este caso el electrodo de tierra es la malla de tierra y las líneas de tierra son los conductores que van desde ella a los equipos y elementos que han de ponerse a tierra.

Se procede a calcular la sección mínima de los conductores de cobre a usar, para lo cual se empleará la siguiente expresión que permite calcular la sección del conductor en función de la corriente que por él circula, el tiempo y las temperaturas ambiente y máxima permitida para el conductor:

$$S = I_{def} \cdot \sqrt{\frac{tc \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{TCAP \cdot \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Siendo: I_{DEF} : Intensidad máxima hacia la red de tierras en valor eficaz ($= I_g = I_d \cdot 1,2 = 17.28 \text{ kA}$)

t_c : Tiempo de duración de la falta (ITC-RAT 13 indica 1s)

α_r : Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia (20 °C) (para el cobre, 0.00393 1/°C a 20°C)

ρ_r : Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia (20°C) (para el cobre 1,72 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$)

TCAP: Factor de capacidad térmica (para el cobre, 3.42 J/ (cm³ · °C))

$K_0 = 1/ \alpha_0$ (para el cobre, 234 °C) con $\alpha_0 = 0.0042735 \text{ 1/°C}$ (coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia para el cobre, 20°C)

T_m : Temperatura máxima permisible (200°C)

T_a : Temperatura ambiente (35 °C)

Se obtendrá en este caso:

✓ **S = 111,1 mm²** (sección mínima de los conductores)

Escogiéndose el conductor normalizado inmediatamente superior, en este caso sería 120 mm².

Por otro lado, la ITC-RAT 13 establece que, para conductores de cobre, la densidad de corriente en el conductor no debe superar los 160 A/mm². Para la sección elegida se tiene que:

$$Densidad_{corr} = \frac{Intensidad}{Sección_{cond}}$$

Quedaría finalmente:

$$✓ \quad Densidad_{corr} = 144 \text{ A/mm}^2 < 160 \text{ A/mm}^2 \text{ (densidad de corriente del conductor)}$$

Se calculan, adicionalmente, la impedancia equivalente de cables de tierra y, a raíz de ésta, la resistencia total de puesta a tierra.

$$Z_s = \frac{1}{2} \cdot Z_h + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot Z_h^4 + Z_h \cdot R_a}$$

$$R_e = \frac{n}{Z_s} + \frac{1}{R_g}$$

Siendo: Z_h : Impedancia homopolar del conductor de tierra (0,66 Ω/km)

R_a : Resistencia de puesta a tierra en cada apoyo (15 Ω/km)

R_g : Resistencia equivalente de puesta a tierra (0,4 Ω)

n : nº de cables de tierra (1)

Obteniéndose:

$$✓ \quad Z_s = 3,5 \text{ } \Omega \text{ (impedancia equivalente de los cables de tierra)}$$

Y, por lo tanto:

$$✓ \quad R_e = 2,8 \text{ } \Omega \text{ (resistencia total de puesta a tierra)}$$

La verificación realizada en este último apartado permite concluir que la malla de puesta a tierra propuesta cumple con los criterios establecidos en el RAT.

Una vez instalada, se deberá realizar una medición de tensiones de paso y de contacto para asegurar que los valores reales se encuentren por debajo de los máximos admisibles.

El sistema de puesta a tierra está representado en el [ANEXO A: PLANOS](#).

4 LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

Ya realizado el diseño de la subestación encargada de transformar la tensión de 66 a 20 kV, se procede al dimensionamiento de la línea subterránea de media tensión. Esta línea subterránea, que operará a 20 kV, recorrerá la ciudad y tendrá como destino un centro de transformación ubicado cerca del espacio industrial.

Se llevará a cabo un análisis detallado de los trabajos preparatorios y de la canalización de la línea subterránea de media tensión, seguido del cálculo y optimización de la sección del conductor. Este enfoque meticuloso asegurará una instalación eficiente, segura y conforme a las normativas, garantizando un suministro eléctrico fiable al complejo industrial situado en el puerto.

4.2 TRABAJOS PREVIOS

Previo a cualquier trabajo a realizar de la obra se deberá de delimitar correctamente la zona de actuación de los trabajos mediante vallados y señalización, desviando el tráfico en los casos que sean necesarios.

Se efectuará el replanteo de la obra asegurándose de la inexistencia de obstáculos al emplazamiento previsto y se estudiará la ausencia de impedimentos en el subsuelo mediante calas de reconocimiento y georradar.

Se abrirán calas de reconocimiento en los sitios en los que se presume que pueda haber servicios afectados, atendiendo a lo indicado en el Apartado de Planos, para confirmar o rectificar el trazado previsto y establecer la profundidad de dichos servicios.

Las calas tendrán una anchura mínima de 70 cm y una profundidad mínima de 10 cm superior a la excavación necesaria para la obra en el punto considerado.

Cada cala deberá registrarse y cada uno de los registros formará parte del informe sobre el trazado, cada registro de cala contendrá, como mínimo, el nombre del proyecto, tramo, arqueta n° ubicación, punto kilométrico, situación respecto al eje de la línea, dimensiones, fecha de inspección, nombre del personal encargado para la inspección, descripción del suelo y servicios localizados.

Una vez identificada o localizada la red correspondiente, esta será señalizada, marcando su dirección, trazado, y profundidad, indicándose, además, el área de seguridad. En este sentido, se deberían colocar carteles visibles que adviertan del peligro, así como las protecciones correspondientes.

4.3 CANALIZACIÓN SUBTERRÁNEA

Las canalizaciones subterráneas objeto del presente proyecto tendrán las siguientes secciones tipo:

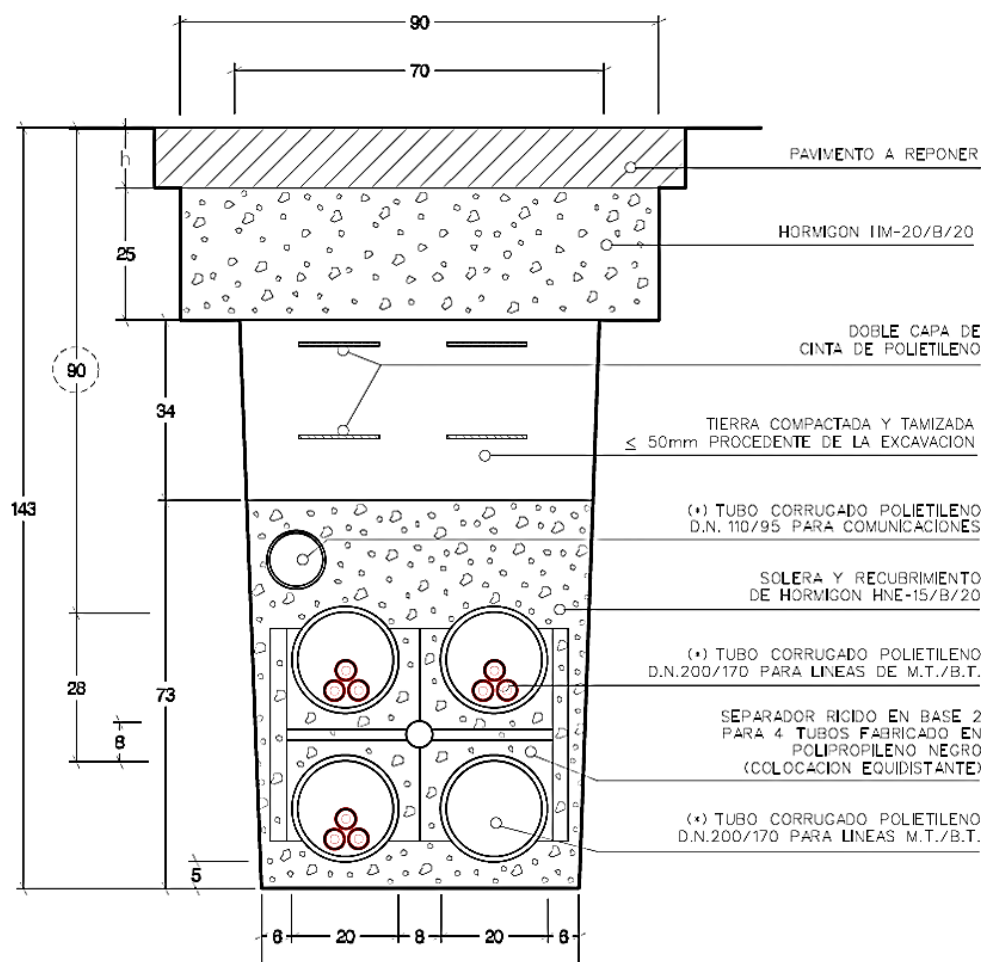


Figura 16. Zanja en asfalto, aparcamiento, hormigón, tierra y acerado.

Para llevar a cabo la instalación de las canalizaciones, se llevará a cabo la demolición de todo tipo de pavimento exterior donde se planifica el trazado, incluyendo las capas de base y subbase, con un espesor máximo de 30 cm. Esta demolición se realizará utilizando maquinaria como retroexcavadoras equipadas con martillo rompedor. El material resultante de la demolición se cargará en camiones o contenedores y se transportará dentro del sitio de trabajo para su almacenamiento.

Tras la demolición, se procederá a la excavación de las zanjas utilizando equipo mecánico, y el material excavado se acumulará en los bordes de las zanjas. Los tubos utilizados para la canalización subterránea serán de polietileno corrugado de doble capa, con una superficie interna lisa y una externa corrugada, con diámetros nominales de 110 mm o 200 mm. Estos tubos serán aislantes, resistentes al impacto, con una resistencia a la compresión de 450 N y un grado de

protección IP 549 según la normativa UNE 20324. Cumplirán con las normativas UNE-EN 61386-1, UNE-EN 61386-22 y UNE-EN 50086-2-4 para su instalación como canalización enterrada, e incluirán abrazaderas, elementos de sujeción y accesorios necesarios.

Una vez colocados los tubos en las zanjas, se verterá hormigón de acuerdo con las indicaciones de altura proporcionadas en los planos, utilizando concreto del tipo HM-20/P/20/X0. Después de que el hormigón haya fraguado, se rellenará la zanja con la tierra extraída y se compactará en capas sucesivas de un espesor máximo de 25 cm utilizando maquinaria adecuada, hasta lograr una densidad no menor al 90% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado según la norma UNE 103501.

En el terreno compactado se instalarán bandas plásticas identificativas de riesgo eléctrico, de color blanco y rojo con la leyenda "RIESGO ELÉCTRICO", colocadas verticalmente a una distancia de 30 cm. En el tramo del dique de NAVANTIA Cádiz, se ejecutará una canalización reforzada con un refuerzo mecánico de hormigón del tipo HM-20/P/20/X0 con un espesor de 25 cm bajo las capas de aglomerado, y se duplicarán las bandas señalizadoras de riesgo eléctrico.

Las arquetas prefabricadas de hormigón homologadas tienen las siguientes características:

- Arqueta prefabricada de hormigón tipo A1 para conexión eléctrica, sin fondo, registrable, con forma troncopiramidal, con medidas interiores de 90,5x81,5 cm y boca de 62,5x53,5 cm, y una altura de 105 cm. Diseñada con paredes rebajadas para permitir la entrada de hasta 4 tubos por cada lado con un diámetro exterior máximo de 205 mm. Cumple con la normativa ONSE 01.01-16B y es capaz de soportar una carga de 400 kN. Incluye marco de acero y tapa de fundición dúctil DN-400 de 73,7x63,7 cm, también capaz de soportar una carga de 400 kN según la norma ONSE 01.01-14C.

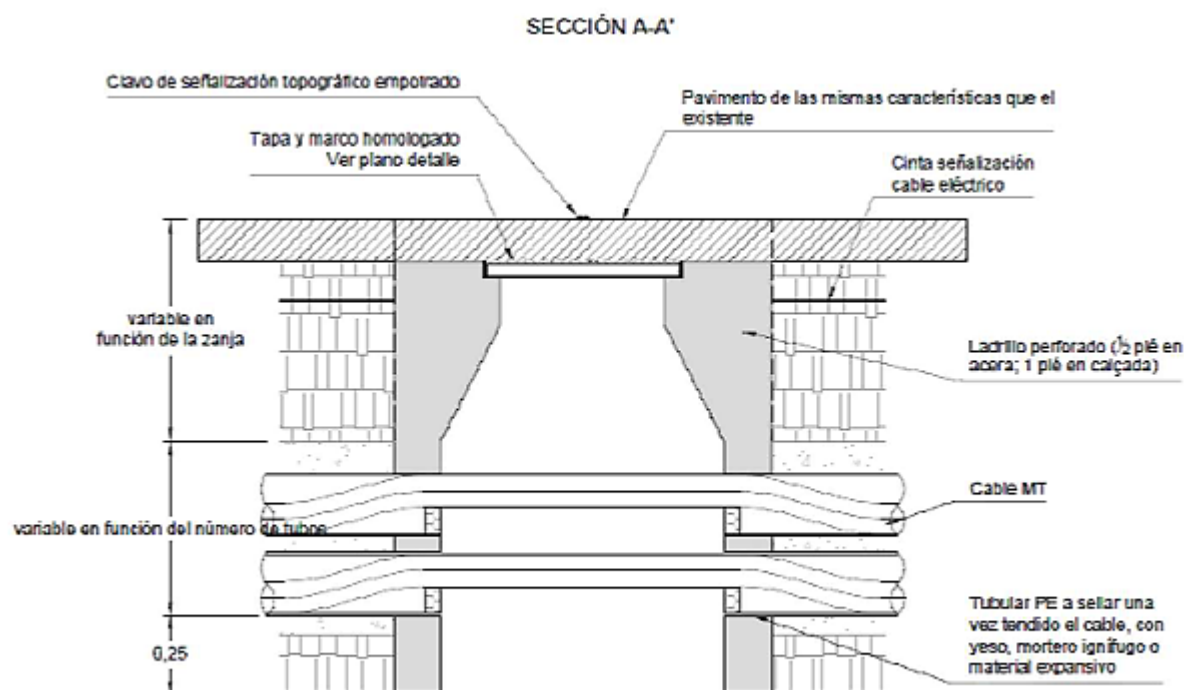


Figura 17. Arqueta A1 registrable en Alineación.

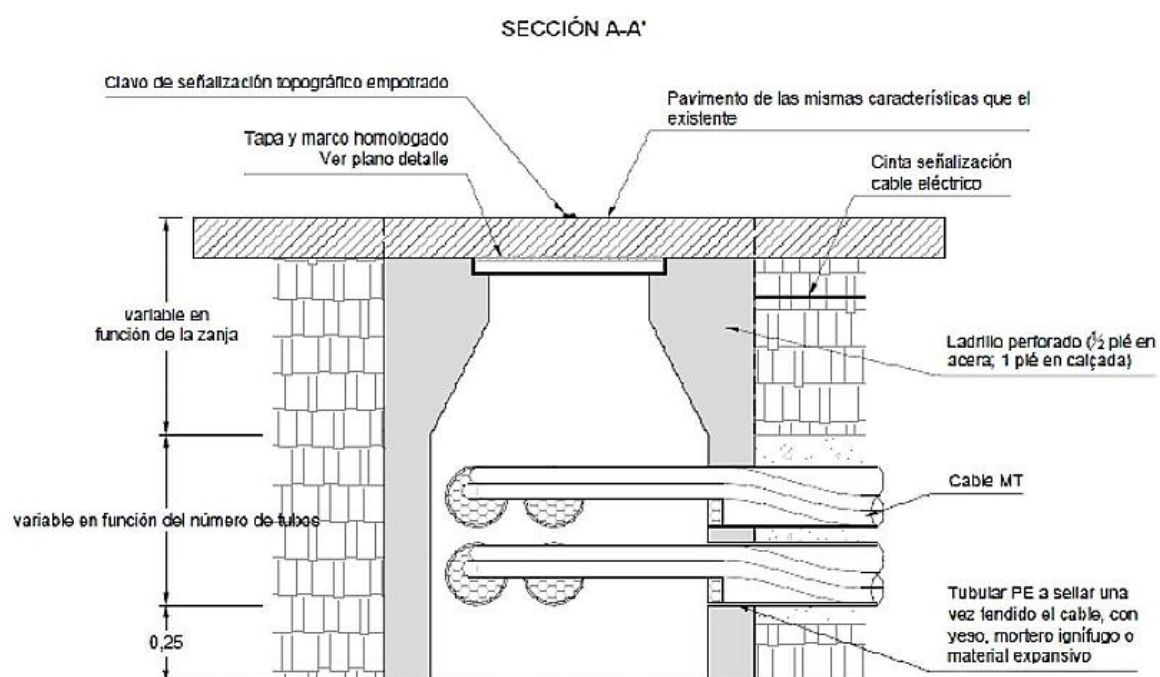


Figura 18. Arqueta A1 registrable en Cambio de Sentido.

- Arqueta prefabricada de hormigón tipo A2 para conexión eléctrica, sin fondo y registrable, con forma troncopiramidal. Sus medidas interiores son de 145x90 cm y la boca de 117x62 cm, con una altura de 105 cm. Dispone de paredes rebajadas que permiten la entrada de hasta 4 tubos por

cada lado con un diámetro exterior máximo de 205 mm. Cumple con la normativa ONSE 01.01-16B y puede soportar una carga de 400 kN. Incluye marco de acero y tapas de fundición dúctil DN-400 de 72x62x6,5 cm, capaces de soportar una carga de 400 kN según la norma ONSE 01.01-14C.

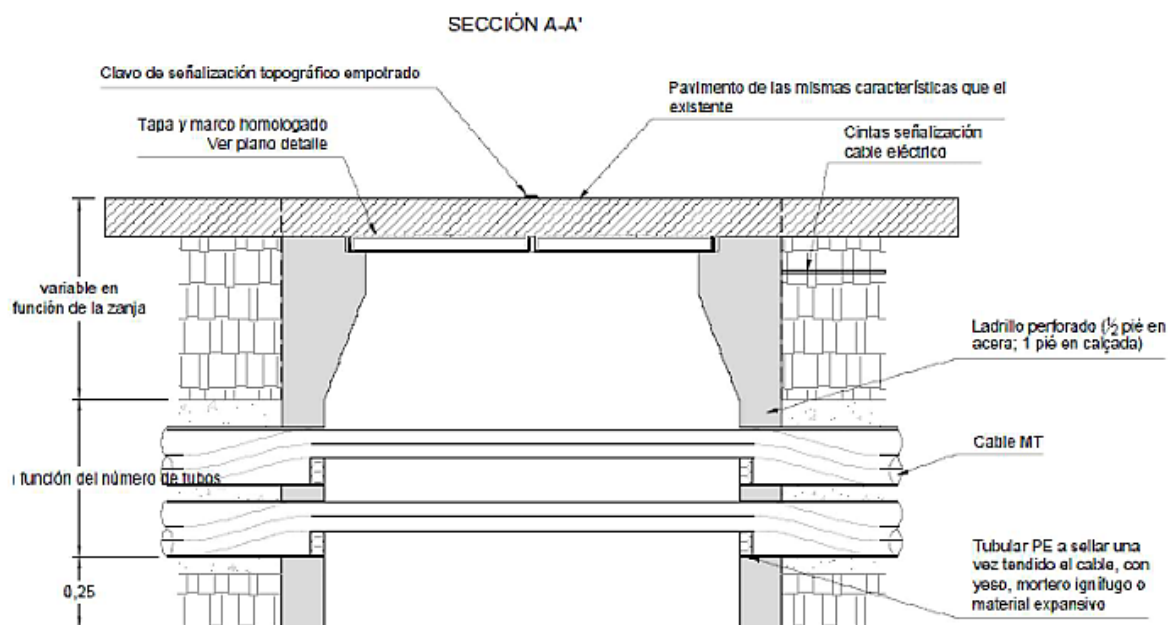


Figura 19. Arqueta A2 registrable en Alineación.

Para la ejecución de la instalación de estas arquetas se incluyen los trabajos de demolición del pavimento existente, excavación mecánica y relleno del trasdós con material granular, conexiones de tubos y remates.

En la zona del dique se instalarán arquetas especiales. Estas arquetas de paso estarán enterradas y tendrán dimensiones exteriores de 190x170x140 cm. Están construidas con fábrica de ladrillo cerámico macizo de 1 pie de espesor, unido con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N tipo M-5, preparado en obra con una proporción de 250 kg/m³ de cemento y una relación de 1/6 en volumen. Sobre una solera de hormigón en masa HM-20/P/20/X0 de 15 cm de espesor, se formará una pendiente mínima del 2% utilizando el mismo tipo de hormigón. El interior estará enfoscado y bruñido con mortero de cemento industrial M-15 con aditivo hidrófugo, formando aristas y esquinas a mediacaña. La parte superior se cerrará con tapas de fundición dúctil D-400 de 620x720 mm y marco de acero.

En los trabajos a ejecutar en la arqueta de paso se prevé una losa de hormigón armado HA 25/B/20/XC2 con mallazo 10x10 cm electrosoldado y redondo DN-8, B 400 S. Incluyendo refuerzos con perfiles IPE 80 de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPE, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar en obra.

Se incluye todo el replanteo. Se verterá y compactará el hormigón en formación de solera. Se

realizarán los conexionados de los tubos a la arqueta, el relleno de hormigón para formación de pendientes. Se enfoscará con mortero, redondeando los ángulos del fondo y de las paredes interiores de la arqueta. Se realizará del cierre hermético y colocación de la tapa y los accesorios.

Una vez se vayan ejecutando las secciones de las zanjas, se repondrá el pavimento previamente demolido, entre los tipos de pavimento se contemplan:

- Vías de circulación y áreas de estacionamiento: se realizará la nivelación, extendido y compactación mecánica de la base del pavimento y el asfaltado conforme a las especificaciones del PG-3/75 del M.O.P.U. Se incluirá, cuando sea necesario, un tratamiento superficial especial para adaptar el pavimento al uso de carriles para bicicletas. Este tratamiento consistirá en un revestimiento rugoso con resistencia al deslizamiento $RD > 45$ según UNE 41901 EX, con un espesor total aproximado de 2 a 3 mm. Se aplicará en tres capas sobre superficies de pavimento bituminoso, de hormigón o metálicas. El proceso implicará la aplicación sucesiva de dos capas de mortero con color a elegir por la Dirección Facultativa, compuestas por resinas sintéticas, cargas minerales seleccionadas y pigmentos. La primera capa tendrá un rendimiento aproximado de 2 kg/m² y la segunda de 2 kg/m², asegurando que la primera capa se seque completamente antes de aplicar la segunda. La tercera capa será un sellador de pintura al agua con color a elección de la Dirección Facultativa, compuesto por resinas acrílicas, cargas micronizadas y pigmentos, con una aplicación de 0,5 kg/m². También se incluirá una banda de panel rígido de poliestireno expandido para la preparación de las juntas perimetrales de dilatación.

- Acerado: con baldosa similar a la existente con mortero M-4, asentada sobre capa de mortero de cemento M-40 (1:6) con un espesor comprendido entre 2-5 cm, rejuntado con lechada de cemento (600 kg/m³) y arena, con una anchura máxima de juntas de 0,2 cm, incluyendo remates de alcorques, encuentros con tapas de registro existentes, limpieza y losa de hormigón armado con mallazo similar al existente.

- Pavimento de hormigón armado: incluyendo encuentros con tapas de registro existentes, limpieza y losa de HA-25/B/20/XC2 con mallazo 10x10 cm electrosoldado y redondo DN-8, B 400 S., o similar al existente, hasta un espesor de la losa de 40 cm, incluso juntas de dilatación.

4.4 LÍNEA ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN

4.4.1 DESCRIPCIÓN

Las líneas de alimentación al C.T. proyectado pasan a formar parte de la red de distribución pública. Por encontrarse esta red en estructura margarita, la sección debe ser uniforme según las normas particulares de Cía. Suministradora. Por tanto, esta sección será de 240 mm² Al.

Los cálculos se realizarán para tensión nominal 20 kV. Tensión más elevada de la red (Um): 23,5 kV.

Una tensión nominal Uo/U de 18/30 KV, y nivel de aislamiento a impulsos (NA) de 125 KV, según queda establecido también en la norma Edistribución Redes Digitales, S.L.U. GE DND001.

Para la selección del cable se ha acudido a la calculadora online de Prysmian. Un buen recurso y de uso muy simple e intuitivo con un resultado bastante apto. Las características de este cable y su trazado (realizado en Earth) se exponen en el [ANEXO A: PLANOS](#).

Se presenta, de forma complementaria, un diagrama de flujo a modo resumen, que representa la metodología a seguir para la correcta elección de la sección del conductor. Se trata de un método general, en caso de no cumplirse en ningún caso, habría que rehacer un estudio de la instalación y plantear alternativas.

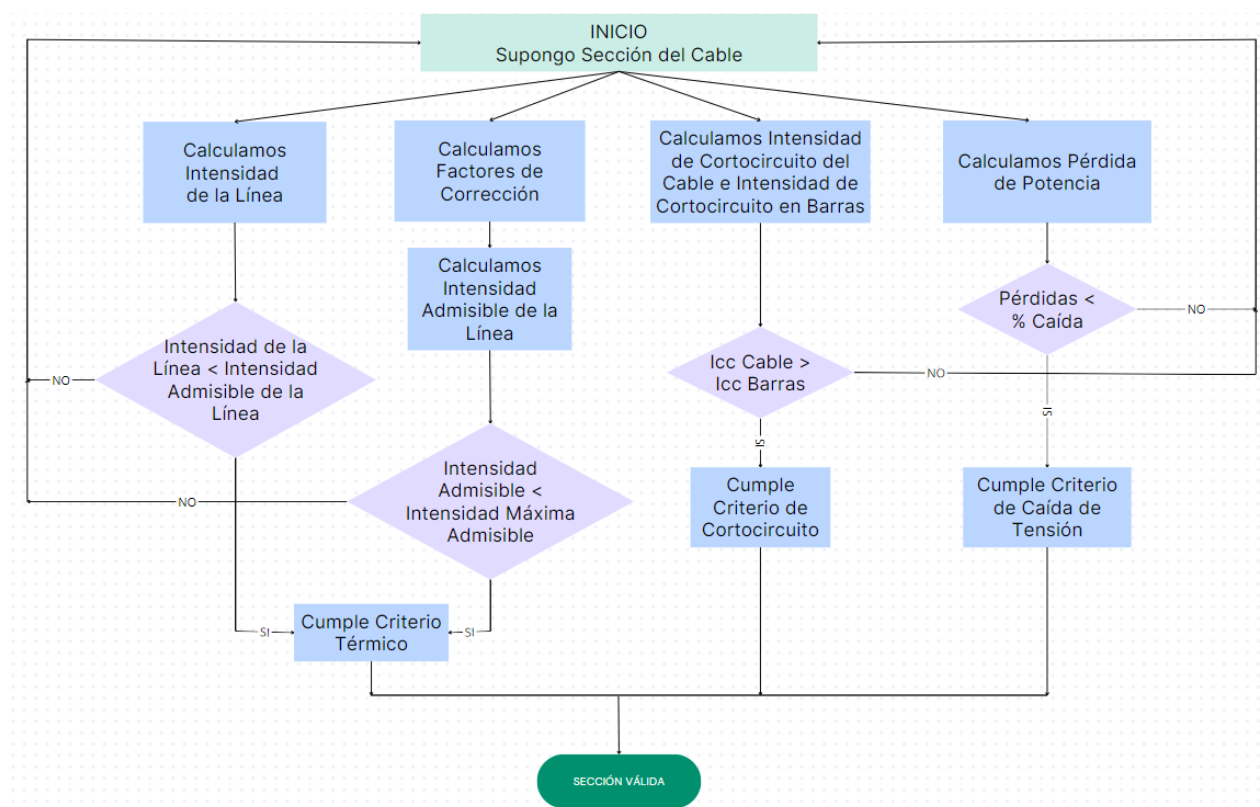


Figura 2. Diagrama de Flujo Resumen de Metodología

4.4.2 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

4.4.2.1 INTRODUCCIÓN

Los proyectos de líneas subterráneas de media tensión (LSMT) se respaldarán con cálculos que sigan las pautas establecidas en la ITC-LAT-6 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las líneas eléctricas de alta tensión. Para la realización de los cálculos justificativos se tendrán en cuenta las características eléctricas del conductor.

Los conductores serán unipolares de aluminio homogéneo y aislamiento de polietileno reticulado y pantallas de hilos de cobre. Los cables cumplirán las normas y especificaciones técnicas requeridas. Las tensiones serán las nombradas anteriormente y su designación UNE es la siguiente: **RH5Z1 12/20 KV 3x240 mm² K AL XLPE + H16**



Figura 21. Conductor MT

4.4.2.2 CÁLCULOS

- Intensidad de la línea

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\theta} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 0,99} = 18,19 \text{ A}$$

Siendo: P: potencia del trafa

I_L : intensidad de línea

U_L : tensión de línea

$\cos\theta$: factor de potencia

- Resistencia del conductor

La resistencia del conductor experimenta cambios conforme varía la temperatura de operación de la línea. Se establece una temperatura máxima del conductor en régimen permanente de 90 °C. El aumento en la resistencia en relación con la temperatura está definido por la siguiente expresión:

$$R = R(20^\circ\text{C}) \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20^\circ\text{C}))$$

Siendo: R: resistencia del conductor

α : coeficiente de temperatura ($0,00403\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Θ : temperatura máxima del conductor

Los valores de resistencia para los valores indicados a la temperatura estándar ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y máxima ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$) son:

Conductor	Sección Nominal (mm^2)	Resistencia máx. a 20°C (Ω/km)	Resistencia máx. a 90°C (Ω/km)
RH5Z1	150	0,206	0,264
	240	0,125	0,160
	400	0,0778	0,100

Tabla 23. Resistencia de los conductores

- Reactancia del cable

La reactancia depende de la geometría y diseño del conductor. Las reactancias de los cables especificados para disposición las tres fases por un mismo tubo y dispuestos en triángulo son:

Conductor	Sección Nominal (mm^2)	Reactancia cable 12/20 kV (Ω/km)	Reactancia cable 18/30 kV (Ω/km)
RH5Z1	150	0,114	0,123
	240	0,106	0,114
	400	0,099	0,106

Tabla 24. Reactancia de los conductores

Se procede a continuación, a comprobar la correcta elección del cable.

1. Intensidad Admisible del Conductor. Criterio Térmico

Suponiendo inicialmente como sección del cable **$S = 240\text{ mm}^2$** , calculamos los factores de corrección para obtener la intensidad admisible y analizar la validez del conductor mediante Criterio Térmico.

▪ **Factor de corrección por temperatura del terreno**

Los factores de corrección de la intensidad máxima admisible para temperaturas del terreno distintas de 25°C, en función de la temperatura asignada al conductor vienen dados por la tabla siguiente:

Temperatura °C, en servicio permanente, Θ_s	Temperatura del terreno, en °C, Θ_t								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1,11	1,07	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

Tabla 25. Factores de corrección por temperatura del terreno

Con una temperatura del terreno de 20°C y una temperatura de servicio permanente del conductor de polietileno reticulado de 90°C, el factor de corrección por temperatura, según la tabla 5 adjunta, es de **1,04**.

▪ **Factor de corrección por resistividad térmica del terreno**

Los factores de corrección de la intensidad máxima admisible por resistividades térmicas del terreno distintas de 1,5 K·m /W vienen dados por las tablas:

Resistividad térmica del terreno (K·m/W)	Naturaleza del terreno y grado de humedad
0,4	Inundado
0,5	Muy húmedo
0,7	Húmedo
0,85	Poco húmedo
1,00	Seco
1,20	Arcilloso muy seco
1,50	Arenosos muy seco
2,00	De piedra arenisca
2,50	De piedra caliza
3,00	De piedra granítica

Tabla 26. Factores de corrección por resistividad térmica del terreno

De esta manera, se tiene:

Resistividad del terreno (K·m/W)							
Sección del conductor (mm²)	0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3
150	1,14	1,12	1,1	1	0,93	0,87	0,82
240	1,15	1,12	1,1	1	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,1	1	0,92	0,86	0,81

Tabla 27. Factores de corrección por resistividad térmica del terreno

Para la instalación de cables enterrados bajo tubo en terrenos húmedos, con una resistividad térmica del suelo de 0,5 K·m/W y un conductor de 240 mm² de sección, el factor de corrección por resistividad térmica del suelo será de **1,15**.

▪ Factor de corrección por profundidad

Los factores de corrección de la intensidad máxima admisible para profundidades de instalación distintas de 1 metro para cables con aislamiento seco vienen dados por la tabla:

Profundidad (m)	En tubular con sección	
	≤ 185 mm²	> 185 mm²
0,5	1,06	1,08
0,6	1,04	1,06
0,8	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98
1,5	0,97	0,96
1,75	0,96	0,95
2,00	0,95	0,94
2,5	0,93	0,92
3,0	0,92	0,91

Tabla 28. Factores de corrección por profundidad del soterramiento

Al proyectarse una instalación de cables de 240 mm² de sección bajo tubo a una profundidad de 0,80 m, tenemos que el factor de corrección por separación entre ternos será de **1,03**.

▪ **Factor de corrección por distancia entre ternas**

Los factores de corrección de la intensidad máxima admisible por distancias entre ternos vienen dados por la tabla:

Circuitos en tubulares soterrados (un circuito trifásico por tubo)			
Tubos dispuestos en plano horizontal			
Circuitos agrupados	Distancias entre tubos en mm		
	Contacto	200	400
2	0,8	0,83	0,87
3	0,7	0,75	0,8
4	0,64	0,7	0,77

Tabla 29. Factores de corrección para agrupación de cables

Cuando se proyecta una instalación de 2 ternas de cables bajo tubo sin separación entre los tubos, el factor de corrección por la falta de separación entre los ternos será de **0,8**.

La intensidad admisible del conductor elegido a la tensión de 15/20 kV viene dada por la expresión:

$$I_{adm} = I_{max} \cdot F_t \cdot F_{rt} \cdot F_p \cdot F_d$$

Siendo: I_{adm} : intensidad admisible del conductor

I_{max} : intensidad máxima admisible

F_t : factor de corrección por temperatura del terreno

F_{rt} : factor de corrección por resistividad térmica del terreno

F_p : factor de corrección por profundidad del soterramiento

F_d : factor de corrección por distancia entre ternas

En este caso quedaría:

$$I_{adm} = 320 \cdot 1,04 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1,03 = \mathbf{315,36 \text{ A}} (< 320 \text{ A})$$

Finalmente, según la Norma UNE 211435:2011, para un cable RH5Z1 de 240 mm² instalado bajo tubo enterrado y operando a una temperatura máxima de 25 °C, la intensidad máxima admisible en servicio permanente es de 320 A.

Sección nominal de los conductores mm ²	Intensidad máx. admisible en A (Cables unipolares en triángulo en contacto)
150	245
240	320
400	415

Tabla 30. Intensidades máximas admisibles del cable de media tensión

2. Tensiones del circuito

El cable (240 mm²) y sus accesorios están diseñados para una tensión máxima de 36 kV, la cual supera la tensión más alta en la red trifásica donde se instalará. Además, puede soportar impulsos de rayos de hasta 170 kV de cresta y una tensión eficaz de frecuencia industrial de 70 kV.

3. Cálculo a cortocircuito. Criterio de Cortocircuito

Según lo establecido en la ITC-LAT-06, se determina la intensidad máxima admisible en cortocircuito en los conductores siguiendo las pautas de la norma UNE 21192. En este proceso, es válido emplear un cálculo aproximado de las densidades de corriente.

Se usará la siguiente expresión para conseguirlo:

$$\frac{I_{cc}}{S} = \frac{K}{t_{cc}}$$

Siendo: I_{cc} : intensidad de máxima admisible en cortocircuito del conductor

S: sección del conductor

K: coeficiente dependiente del conductor y de T^a al inicio y fin del cortocircuito

t_{cc}: duración del cortocircuito

El valor de K corresponde al valor de densidad de corriente tabulado para un tiempo de cortocircuito (t_{cc}) de 1 segundo, aplicable a diversos tipos de aislamiento.

En el caso de la instalación proyectada, los conductores son de aluminio y los aislamientos son de polietileno reticulado, lo que determina un valor de K de 94, según lo especificado en la ITC-LAT.06 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT).

Usando la fórmula mencionada previamente para la sección seleccionada de 240 mm², la corriente de cortocircuito permitida varía según la duración del cortocircuito, y sería:

- Para 0,5 segundos: **31,90 kA**
- Para 1 segundos: 22,56 kA
- Para 1,5 segundos: 18,42 kA
- Para 2 segundos: 15,95 kA

Según lo establecido en la norma UNE 20.435, estas corrientes se refieren a una temperatura de 250 °C alcanzada por el conductor, bajo la suposición de que todo el calor generado durante el cortocircuito es absorbido por el propio conductor.

La potencia de cortocircuito en barras de subestación en 15 KV para un transformador de 40 MVA es:

$$P_{cc} = \frac{P_n}{Z(\%)} = \frac{40}{0,1} = 400 \text{ MVA}$$

Siendo: P_{cc} : potencia de cortocircuito en barras de subestación

P_n : potencia del trafo de subestación

$Z(\%)$: impedancia en %

Considerando en 66 KV, una $P_{cc} = 370 \text{ MVA}$ (según compañía distribuidora), tendremos:

$$I_{cc} = \frac{370}{\sqrt{3} \cdot 15} = 14,25 \text{ kA}$$

Dado que el tiempo de disparo de las protecciones es inferior a 0,5 segundos, observamos que la intensidad de cortocircuito de la sección seleccionada es de 31,90 kA, lo cual es superior a la calculada de 14,25 kA.

Determinaremos pues, la intensidad de cortocircuito que deben soportar tanto el circuito como la pantalla.

4. Intensidad de cortocircuito en pantalla. Criterio de Cortocircuito Fase-Pantalla

La máxima intensidad de falta a tierra es de 1000 A con un tiempo de desconexión máximo de 1 segundo, según los datos de Edistribución Redes Digitales, S.L.U.

Para la sección de pantalla de 16 mm², la intensidad máxima admisible para una duración de cortocircuito de 1 segundo es de 2900 A, según la norma de Edistribución Redes Digitales, S.L.U. GE DND001.

Esto justifica adecuadamente la elección del conductor para la red de media tensión: XLPE 12/20 kV 1 x 240 Al + H 16.

5. Pérdidas de Potencia y verificación por Criterio de Caída de Tensión

Las pérdidas de potencia de una línea vendrán dadas por la siguiente expresión que será estudiada en función del Criterio de Caída de Tensión para ver si es apta:

- En valor absoluto:

$$Pp = 3 \cdot R(90^\circ) \cdot L \cdot I^2 = 3 \cdot 0,160 \cdot 2,26 \cdot 18,19^2 = 358,93 \text{ A}$$

Siendo: P_p: pérdidas de potencia

R (90°): resistencia del conductor a 90°C

L: longitud de la línea en km

I: intensidad de línea

- En valor porcentual:

$$Pp = \frac{P \cdot L \cdot R(90^\circ)}{10 \cdot U^2} = \frac{566,2 \cdot 2,26 \cdot 0,160}{10 \cdot 20^2} = 0.051\%$$

Siendo: U: tensión nominal de la red

Para el criterio de caída de tensión tendremos en cuenta la siguiente expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos\theta + x \cdot \sin\theta) = 13.66 \text{ V} \rightarrow \Delta U (\%) = 0.068\% < 5\% \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Siendo: ΔU : caída de tensión

I: intensidad de línea

L: longitud de la línea

r: resistencia del conductor (dato conductor = $0,160 \Omega/\text{km}$)

x: reactancia del conductor (dato conductor = $0,106 \Omega/\text{km}$)

6. Conclusión

De esta manera, y como resumen, las características principales del conductor son las siguientes:

- ✓ **Sección:** 240 mm^2
- ✓ **Aislamiento:** XLPE
- ✓ **Material:** Aluminio
- ✓ **Intensidad Máxima:** 315 A

5 SERVICIOS AFECTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

Para poder realizar un diseño de la instalación de media tensión seguro y eficiente es preciso evaluar la existencia de servicios cercanos que pudieran verse afectados durante la construcción del proyecto. En este trabajo, se han identificado instalaciones cercanas a la obra que podrían ser afectadas durante la ejecución de los trabajos, así como conexiones para distintas acometidas. Para cubrir posibles daños, se ha incluido una partida en el presupuesto destinada a servicios afectados durante la ejecución de las obras, con un monto de 31.500,00 €, cuantía estimada y aportada por los proveedores de obra civil.

Antes de iniciar los trabajos, se realizará una exploración utilizando detectores de redes soterradas para ubicar las líneas existentes. Se empleará georradar, un método no intrusivo de investigación geofísica, para identificar y localizar estructuras enterradas en el subsuelo, como tuberías, cables, colectores, etc. Una vez localizadas, se señalarán las redes correspondientes, marcando dirección, trazado y profundidad, y se establecerá un área de seguridad con carteles visibles y protecciones adecuadas.

Se llevará a cabo el replanteo de la obra para asegurarse de la inexistencia de obstáculos y se realizarán calas de reconocimiento en sitios donde se sospeche que pueda haber servicios afectados, según lo indicado en los planos del proyecto. Las calas tendrán una anchura mínima de 70 cm y una profundidad mínima de 10 cm superior a la excavación necesaria para la obra en el punto considerado. Se registrarán cada cala, incluyendo información como nombre del proyecto, tramo, ubicación, dimensiones, fecha de inspección, descripción del suelo y servicios localizados.

Una vez identificada una red, se señalará su ubicación y se tomarán medidas de seguridad correspondientes para advertir del peligro.

5.2 LÍNEA ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN

Para instalar cables subterráneos directamente en el terreno, además de cumplir con los requisitos establecidos, se deben considerar las condiciones impuestas por otros organismos competentes según las disposiciones legales, especialmente cuando las instalaciones se vean afectadas por tendidos de cables.

Para atravesar zonas donde la apertura de zanjas sea difícil o poco práctica (como cruces de ferrocarriles o carreteras con alta densidad de tráfico), se pueden emplear máquinas perforadoras tipo "topo" de impacto, hincadoras de tuberías o taladradoras de barrena. En estos casos, se prescinde del diseño de zanja tradicional y se requiere espacio despejado a ambos lados del obstáculo para ubicar la maquinaria necesaria.

5.2.1 CRUZAMIENTOS

A continuación, se fijan para cada uno de los casos indicados, las condiciones a que deben responder los cruzamientos de cables subterráneos de baja tensión directamente enterrados, que es el caso que nos ocupa. Estos cruzamientos son expuestos gráficamente en los planos referidos al trazado de la línea de media tensión.

- Calles y carreteras

Los cables se colocarán en el interior de tubos protectores conforme a lo establecido en la ITC-BT-21, recubiertos de hormigón en toda su longitud hasta una profundidad mínima de 0,80 m. siempre que sea posible, el cruce se hará perpendicular al eje del vial.

- Otros cables de energía eléctrica

Siempre que sea posible, se procurará que los cables de baja tensión discurren por encima de los de alta tensión.

La distancia mínima entre los cables de baja tensión y otros cables de energía eléctrica será: 0,25 m con cables de alta tensión y 0,10 m con cables de baja tensión. La distancia del punto de cruce a los empalmes será superior a 1 m. Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada.

- Cables de telecomunicación

La separación mínima entre los cables de energía eléctrica y los de telecomunicación será de 0,20 m. La distancia del punto de cruce a los empalmes, tanto del cable de energía como del cable de telecomunicación, será superior a 1 m.

Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada.

Estas restricciones no se deben aplicar a los cables de fibra óptica con cubiertas dieléctricas. Todo tipo de protección en la cubierta del cable debe ser aislante.

- Canalizaciones de agua y gas

Siempre que sea posible, los cables se instalarán por encima de las canalizaciones de agua.

La distancia mínima entre cables de energía eléctrica y canalizaciones de agua o gas será de 0,20 m. Se evitará el cruce por la vertical de las juntas de las canalizaciones de agua o gas, o de los empalmes de la canalización eléctrica, situando unas y otros a una distancia superior a 1 m del cruce. Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, la canalización instalada más recientemente se dispondrá entubada.

- Conducciones de alcantarillado

Se procurará pasar los cables por encima de las conducciones de alcantarillado.

No se admitirá incidir en su interior. Se admitirá incidir en su pared (por ejemplo, instalando tubos), siempre que se asegure que ésta no ha quedado debilitada. Si no es posible, se pasará por debajo, y los cables se dispondrán en canalizaciones entubadas.

5.2.2 PROXIMIDADES Y PARALELISMOS

Los cables subterráneos de baja tensión directamente enterrados deberán cumplir las condiciones y distancias de proximidad que se indican a continuación, procurando evitar que queden en el mismo plano vertical que las demás conducciones. Aunque no se representa la red de saneamiento, gas o telecomunicaciones, a través de la representación del trazado de la línea de media tensión, se puede tener una idea aproximada de la proximidad de ésta a los servicios nombrados.

- Otros cables de energía eléctrica

Los cables de baja tensión podrán instalarse paralelos a otros de baja o alta tensión, manteniendo entre ellos una distancia mínima de 0,10 m con los cables de baja tensión y 0,25 m con los cables de alta tensión. Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada. En el caso de que un mismo propietario canalice a la vez varios cables de baja tensión, podrá instalarlos a menor distancia, incluso en contacto.

- Cables de telecomunicación

La distancia mínima entre los cables de energía eléctrica y los de telecomunicación será de 0,20 m. Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada.

- Canalizaciones de agua

La distancia mínima entre los cables de energía eléctrica y las canalizaciones de agua será de 0,20 m. La distancia mínima entre los empalmes de los cables de energía eléctrica y las juntas de canalizaciones de agua será de 1 m. Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada.

Se procurará mantener una distancia mínima de 0,20 m en proyección horizontal, y que la canalización de agua quede por debajo del nivel del cable eléctrico.

Por otro lado, las arterias principales de agua se dispondrán de forma que se aseguren distancias superiores a 1 m respecto a los cables eléctricos de baja tensión.

- Canalizaciones de gas

Las distancias mínimas entre los cables de energía eléctrica y las canalizaciones de gas serán de 0,20 m, excepto para canalizaciones de gas de alta presión (más de 4 bar), en la que la distancia será de 0,40 m. La distancia mínima entre los empalmes de los cables de energía eléctrica y las juntas de canalizaciones de gas será de 1 m. Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada.

Se procurará mantener una distancia mínima de 0,20 m en proyección horizontal. Por otro lado, las arterias importantes de gas se dispondrán de forma que se aseguren distancias superiores a 1 m respecto a los cables eléctricos de baja tensión.

5.2.3 ACOMETIDA

En el caso de que el cruzamiento o paralelismo entre cables eléctricos y canalizaciones de los servicios descritos anteriormente se produzcan en el tramo de acometida a un edificio, deberá mantenerse una distancia mínima de 0,20 m.

Cuando no puedan respetarse estas distancias en los cables directamente enterrados, el cable instalado más recientemente se dispondrá en canalización entubada.

La canalización de la acometida eléctrica, en la entrada al edificio, deberá taponar hasta conseguir una estanqueidad adecuada.

Esto podría ocurrir a la salida de la subestación y/o a la entrada a la nave, representado en los planos correspondientes al trazado de la línea de media tensión.

6 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

6.1 CARACTERÍSTICAS Y POTENCIA

Con la subestación y la línea intermedia de media tensión ya diseñadas, se procede al dimensionamiento del centro de transformación cuya función será realizar el paso de manera correcta de la mencionada media tensión (20 kV) a baja tensión (0.4 kV) para su uso en el espacio industrial ubicado en el puerto.

Este centro de transformación estará estratégicamente situado en las inmediaciones del complejo industrial, próximo a la estructura principal. La ubicación cercana tiene varios propósitos fundamentales. En primer lugar, se busca minimizar la longitud de los cables de baja tensión necesarios para conectar el centro de transformación con las instalaciones industriales. Esto no solo reduce los costos de materiales y mano de obra, sino que también disminuye las pérdidas eléctricas en la red de baja tensión, mejorando así la eficiencia general del sistema.

Además, al colocar el centro de transformación cerca del complejo industrial, se facilitan las tareas de mantenimiento y supervisión. Los técnicos pueden acceder más rápidamente al equipo para realizar inspecciones, ajustes y reparaciones, lo que contribuye a una mayor fiabilidad del suministro eléctrico. La proximidad también permite una mejor integración de la infraestructura eléctrica con las operaciones del puerto, asegurando que la energía se distribuya de manera eficiente y segura.

El diseño del centro de transformación incluirá una serie de componentes esenciales. Entre ellos, se encuentran los transformadores de potencia adecuados para convertir la media tensión en baja tensión, así como equipos de protección y control que garantizarán el funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

También se considerará la implementación de medidas de seguridad y conformidad con las normativas vigentes.

El Centro de Transformación, tipo cliente y estimado a través del software Amikit (de ORMAZABAL), objeto de este proyecto, se ha definido de la siguiente manera:

Red Eléctrica	
Compañía	Suministradora Eléctrica de Cádiz, S.A.
Tensión de Servicio (kV)	20
Frecuencia (Hz)	50 Hz
Intensidad de Bucle (A)	400 A
Potencia de Cortocircuito (MVA)	150
Intensidad de Cortocircuito Nominal (kA)	16 kA
CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	
Centro	
Tipo de Centro	Cliente
Modelo de Centro	Centro definido completamente por el usuario
Tensión Asignada (kV)	24 kV
Tipo de Aparamento MT	cgmcosmos modular
Clasificación IAC	Con clasificación IAC
Tipo de Control	Maniobra motorizada local de las celdas
Conexión a la Red	Dos entradas / salidas
Reserva espacio celdas	No reservar espacio para celdas
Transformadores de Potencia	Con un transformador
Reserva espacio transformadores	Reservar espacio para un transformador
Datos del Transformador 1	
Potencia de Transformador 1 (kVA)	630 kVA
Tensión Primaria de Transformador 1	10 - 20 kV
Tipo de Aislamiento de Transformador 1	Aislamiento con aceite
Celda de Protección del Transformador 1	Protección de transformador con Interruptor Automático
Protección de Transformador 1	Sobreintensidad 3 Fases y Neutro
Toroidales de Protección Transformador 1	Rango 5 - 100 A
Alimentación de Protección Transformador 1	Alimentación Auxiliar
Protección Propia del Transformador 1	Termómetro
Tensión Secundaria del Transformador 1	420 V en vacío (B2)
Número de Salidas B2 del Transformador 1	Interruptor automático en BT + 8 salidas con fusibles
Protección Física del Transformador 1	Envolverte metálica
Toroidales de Protección Transformador 2	Rango 5 - 100 A
Alimentación de Protección Transformador 2	Alimentación Auxiliar
Datos Protección General	
Celda de Protección General	Celda de Protección con Interruptor Automático
Protección General	Sobreintensidad 3 Fases y Neutro
Toroidales de Protección General	Rango 5 - 100 A
Alimentación de Protección General	Alimentación Auxiliar

Figura 22. Definición del CT 1

Medida de Energía	
Potencia Contratada (kW)	Se conoce el valor
Valor Potencia Contratada (kW)	481,2
Tipo de Cliente	A tarifa
Tipo de Tarificador	Electrónico
Separación Compañía - Cliente	
Separación Física entre Compañía / Cliente	Una puerta y malla con puerta
Seccionamiento Compañía	Seccionamiento con interruptor y PaT
Seccionamiento Cliente	Sin seccionamiento
Edificio	
Modelo Edificio Seccionamiento y Transformación	Obra civil en edificio otros usos
Local de Pública Concurrencia	Sí
LÍNEAS DE MEDIA TENSIÓN	
Conexión de Neutro	
Tipo de Conexión	Conexión desconocida
Protecciones	
Tipo de Protecciones	Asignación automática
Red de Tierras	
Separación de Tierras	Se separan
Tierras Edificio de Transformación	
Tipo de Red de Tierras de Protección	Asignación automática
Tipo de Red de Tierras de Servicio	Asignación automática
Resistividad del Terreno (Ohm.m)	150

Figura 23. Definición del CT 2

La energía será suministrada por la compañía Suministradora Eléctrica de Cádiz, S.A. a la tensión trifásica de 20 kV y frecuencia de 50 Hz, realizándose la acometida por medio de cables subterráneos.

Los tipos generales de equipos de Media Tensión empleados en este proyecto son:

- cgmcosmos: Celdas modulares de aislamiento y corte en gas, extensibles "in situ" a derecha e izquierda, sin necesidad de reponer gas.



Figura 24. Celdas cgmcosmos

Se precisa el suministro de energía a una tensión de 0.4/1 kV, con una potencia máxima simultánea de 1000 kW.

Para atender a las necesidades arriba indicadas, la potencia total instalada en este Centro de Transformación es de 630 kVA.

El CT estará compuesto por: dos celdas entrada/salida, una celda de seccionamiento, una celda de remonte, una celda de protección general, una celda de medida, una celda de protección de transformador, un transformador y un cuadro de baja tensión.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

6.2.1 OBRA CIVIL

El Centro de Transformación objeto de este proyecto consta de una única envolvente, en la que se encuentra toda la aparamenta eléctrica, máquinas y demás equipos.

Para el diseño de este Centro de Transformación se ha tenido en cuenta toda la normativa vigente.

El edificio de Transformación en este caso es prefabricado.

Descripción de la envolvente de obra civil:

- Solera y pavimento: Se formará una solera de hormigón armado de, al menos, 10 cm de espesor, descansando sobre una capa de arena apisonada. Se preverán, en los lugares apropiados para el paso de cables, unos orificios destinados al efecto, inclinados hacia abajo y con una profundidad mínima de 0,4 m.

El forjado de la planta del centro estará constituido por una losa de hormigón armado, capaz de soportar una sobrecarga de uso de 350 kg/cm², uniformemente repartida.

- Cerramientos exteriores: Se emplean materiales que ofrecen garantías de estanqueidad y resistencia al fuego, dimensionados adecuadamente para resistir el peso propio y las acciones exteriores, tales como el viento, empotramiento de herrajes, etc., y se adaptarán en lo posible al entorno arquitectónico de la zona, empleando los mismos materiales, acabados y elementos decorativos de las otras edificaciones.
- Tabiquería interior: Al utilizarse aparamenta de ORMAZABAL, prefabricada bajo envolvente metálica, no es preciso realizar ningún tipo de tabiquería interior.
- Puertas: Las puertas de acceso al centro desde el exterior serán incombustibles y suficientemente rígidas. Estas puertas se abrirán hacia fuera 180°, pudiendo por lo tanto abatirse sobre el muro de la fachada, disponiendo de un elemento de fijación en esta posición.
- Rejillas de ventilación: En caso de ubicarse algún transformador en el interior de este edificio, se dispondrá de las correspondientes rejillas de ventilación calculadas en el capítulo Cálculos de este proyecto.
- Cubiertas: El diseño de estas cubiertas debe garantizar la estanqueidad del centro y la

resistencia adecuada a acciones exteriores (peso de nieve).

- Pintura y varios: Para el acabado del centro se empleará una pintura resistente a la intemperie de un color adecuado al entorno.

Los elementos metálicos del centro, como puertas y rejillas de ventilación, serán además tratados adecuadamente contra la corrosión.

6.2.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

1. Características de la Red de Alimentación

La red de la cual se alimenta el Centro de Transformación es del tipo subterráneo, con una tensión de 20 kV, nivel de aislamiento según la MIE-RAT 12, y una frecuencia de 50 Hz.

La potencia de cortocircuito en el punto de acometida, según los datos suministrados por la compañía eléctrica, es de 150 MVA, lo que equivale a una corriente de cortocircuito de 4,3 kA eficaces.

2. Características Generales de la Aparata de Media Tensión

Serán celdas tipo cgmcosmos.

Sistema de celdas de Media Tensión modulares bajo envolvente metálica de aislamiento integral en gas SF₆ de acuerdo con la normativa UNE-EN 62271-200 para instalación interior, clase -5 °C según IEC 62271-1, hasta una altitud de 2000 m sobre el nivel del mar sin mantenimiento con las siguientes características generales estándar:

- Construcción:

Cuba de acero inoxidable de sistema de presión sellado, según IEC 62271-1, conteniendo los elementos del circuito principal sin necesidad de reposición de gas durante 30 años.

3 divisores capacitivos de 24 kV.

Bridas de sujeción de cables de Media Tensión diseñadas para sujeción de cables unipolares de hasta 630 mm² y para soportar los esfuerzos electrodinámicos en caso de cortocircuito.

Alta resistencia a la corrosión, soportando 150 h de niebla salina en el mecanismo de maniobra según norma ISO 7253.

- Seguridad:

Enclavamientos propios que no permiten acceder al compartimento de cables hasta haber conectado la puesta a tierra, ni maniobrar el equipo con la tapa del compartimento de cables retirada. Del mismo modo, el interruptor y el seccionador de puesta a tierra no pueden estar conectados simultáneamente.

Enclavamientos por candado independientes para los ejes de maniobra del interruptor y de seccionador de puesta a tierra, no pudiéndose retirar la tapa del compartimento de mecanismo de maniobras con los candados colocados.

Posibilidad de instalación de enclavamientos por cerradura independientes en los ejes de

interruptor y de seccionador de puesta a tierra.

Inundabilidad: equipo preparado para mantener servicio en el bucle de Media Tensión en caso de una eventual inundación de la instalación soportando ensayo de 3 m de columna de agua durante 24 h.

- Grados de Protección:

- Celda / Mecanismos de Maniobra: IP 2XD según EN 60529
- Cuba: IP X7 según EN 60529
- Protección a impactos en:
 - cubiertas metálicas: IK 08 según EN 5010
 - cuba: IK 09 según EN 5010

- Conexión de cables

La conexión de cables se realiza desde la parte frontal mediante unos pasatapas estándar.

- Enclavamientos

La función de los enclavamientos incluidos en todas las celdas cgmcosmos es que:

- No se pueda conectar el seccionador de puesta a tierra con el aparato principal cerrado, y recíprocamente, no se pueda cerrar el aparato principal si el seccionador de puesta a tierra está conectado.
- No se pueda quitar la tapa frontal si el seccionador de puesta a tierra está abierto, y a la inversa, no se pueda abrir el seccionador de puesta a tierra cuando la tapa frontal ha sido extraída.

- Características eléctricas.

Las características generales de las celdas cgmcosmos son las siguientes:

Tensión nominal	24 kV
Nivel de aislamiento	
Frecuencia industrial (1 min)	
a tierra y entre fases	50 kV
a la distancia de seccionamiento	60 kV
Impulso tipo rayo	
a tierra y entre fases	125 kV
a la distancia de seccionamiento	145 kV

En la descripción de cada celda se incluyen los valores propios correspondientes a las intensidades nominales, térmica y dinámica, etc.

3. Características Descriptivas de la Aparamenta MT y Transformadores

- Entrada / Salida 1: cgmcosmos-l Interruptor-seccionador

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-l de línea, está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos ekor.vpis para la detección de tensión en los cables de acometida y alarma sonora de prevención de puesta a tierra ekor.sas.

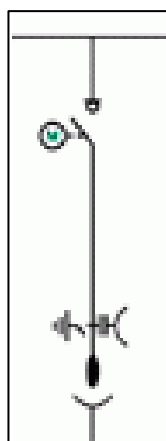


Figura 25. Celda Modular Entrada/Salida 1

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24 kV
 - Intensidad asignada: 400 A
 - Intensidad de corta duración (1 s), eficaz: 16 kA
 - Intensidad de corta duración (1 s), cresta: 40 kA
 - Nivel de aislamiento
 - Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases: 28 kV
 - Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta): 75 kV
 - Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
 - Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A
 - Clasificación IAC: AFL
- Características físicas:
 - Ancho: 365 mm
 - Fondo: 735 mm
 - Alto: 1740 mm

- Peso: 95 kg
- Otras características constructivas:
 - Mecanismo de maniobra interruptor: motorizado tipo BM

- Entrada / Salida 2: cgmcosmos-l Interruptor-seccionador

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-l de línea, está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos ekor.vpis para la detección de tensión en los cables de acometida y alarma sonora de prevención de puesta a tierra ekor.sas.

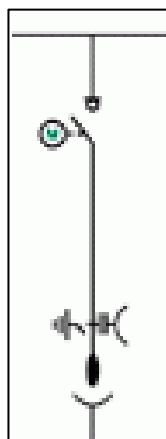


Figura 26. Celda Modular Entrada/Salida 2

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24 kV
 - Intensidad asignada: 400 A
 - Intensidad de corta duración (1 s), eficaz: 16 kA
 - Intensidad de corta duración (1 s), cresta: 40 kA
 - Nivel de aislamiento
 - Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases: 28 kV
 - Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta): 75 kV
 - Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
 - Capacidad de corte
 - Corriente principalmente activa: 400 A
 - Clasificación IAC: AFL

- Características físicas:
 - Ancho: 365 mm
 - Fondo: 735 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 95 kg
- Otras características constructivas:
 - Mando interruptor: motorizado tipo BM

- Seccionamiento Compañía: cgmcosmos-l Interruptor-seccionador

Celda con envoltorio metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-l de línea, está constituida por un módulo metálico con aislamiento y corte en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un interruptor-seccionador rotativo, con capacidad de corte y aislamiento, y posición de puesta a tierra de los cables de acometida inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos ekor.vpis para la detección de tensión en los cables de acometida y alarma sonora de prevención de puesta a tierra ekor.sas.

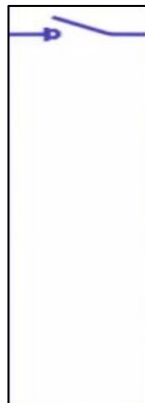


Figura 27. Celda Modular de Seccionamiento

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24 kV
 - Intensidad asignada: 400 A
 - Intensidad de corta duración (1 s), eficaz: 16 kA
 - Intensidad de corta duración (1 s), cresta: 40 kA
 - Nivel de aislamiento

Frecuencia industrial (1 min)

a tierra y entre fases: 28 kV

Impulso tipo rayo

a tierra y entre fases (cresta): 75 kV

- Capacidad de cierre (cresta): 40 kA
- Capacidad de corte

Corriente principalmente activa: 400 A

- Clasificación IAC: AFL

- Características físicas:

- Ancho: 365 mm
- Fondo: 735 mm
- Alto: 1740 mm
- Peso: 95 kg
-

- Otras características constructivas:

- Mando interruptor: motorizado tipo BM

• Remonte a Protección General: cgmcosmos-rc Celda remonte de cables

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-rc de remonte está constituida por un módulo metálico, construido en chapa galvanizada, que permite efectuar el remonte de cables desde la parte inferior a la parte superior de las celdas cgmcosmos.

Esta celda se unirá mecánicamente a las adyacentes para evitar el acceso a los cables.

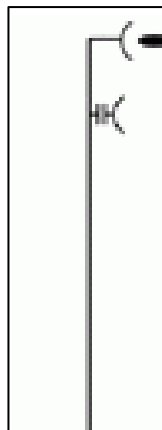


Figura 28. Celda Modular de Remonte

- Características eléctricas:

- Tensión asignada: 24 kV
- Clasificación IAC: AFL

- Características físicas:

- Ancho: 365 mm
- Fondo: 1740 mm
- Alto: 735 mm
- Peso: 40 kg

• Protección General: cgmcosmos-v Interruptor automático de vacío

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-v de interruptor automático de vacío está constituida por un módulo metálico con aislamiento en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un seccionador rotativo de tres posiciones, y en serie con él, un interruptor automático de corte en vacío, enclavado con el seccionador. La puesta a tierra de los cables de acometida se realiza a través del interruptor automático. La conexión de cables es inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida y puede llevar un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

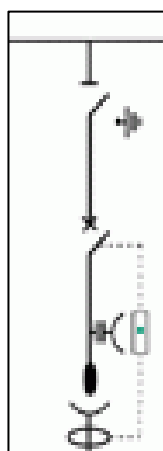


Figura 29. Celda Modular de Protección General

- Características eléctricas:

- Tensión asignada: 24 kV
- Intensidad asignada: 400 A
- Nivel de aislamiento

Frecuencia industrial (1 min)

a tierra y entre fases: 50 kV

Impulso tipo rayo

a tierra y entre fases (cresta): 125 kV

- Capacidad de cierre (cresta): 400 A
- Capacidad de corte en cortocircuito: 16 kA
- Clasificación IAC: AFL
- Características físicas:
 - Ancho: 480 mm
 - Fondo: 850 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 218 kg
- Otras características constructivas:
 - Mando interruptor automático: manual RAV
 - Relé de protección: ekor.rpg-201B

- Medida: cgmcosmos-m Medida

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-m de medida es un módulo metálico, construido en chapa galvanizada, que permite la incorporación en su interior de los transformadores de tensión e intensidad que se utilizan para dar los valores correspondientes a los aparatos de medida, control y contadores de medida de energía.

Por su constitución, esta celda puede incorporar los transformadores de cada tipo (tensión e intensidad), normalizados en las distintas compañías suministradoras de electricidad.

La tapa de la celda cuenta con los dispositivos que evitan la posibilidad de contactos indirectos y permiten el sellado de la misma, para garantizar la no manipulación de las conexiones.

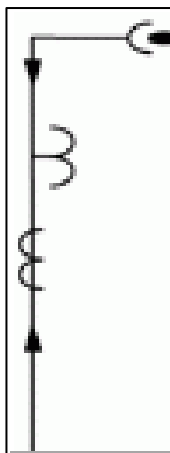


Figura 30. Celda Modular de Medida

- Características eléctricas:
 - Tensión asignada: 24 kV
 - Clasificación IAC: AFL
- Características físicas:
 - Ancho: 800 mm
 - Fondo: 1025 mm
 - Alto: 1740 mm
 - Peso: 165 kg
- Otras características constructivas:
 - Transformadores de medida: 3 TT y 3 TI

De aislamiento seco y contruidos atendiendo a las correspondientes normas UNE y CEI, con las siguientes características:

- Transformadores de tensión

Relación de transformación: 22000/V3-110/V3 V

Sobretensión admisible

en permanencia: 1,2 U_n en permanencia
1,9 U_n durante 8 horas

Medida

Potencia: 25 VA

Clase de precisión: 0,5
- Transformadores de intensidad

Relación de transformación: 10 - 20/5 A

Intensidad térmica: 80 I_n (mín. 5 kA)

Sobreint. admisible en permanencia: $F_s \leq 5$

Medida

Potencia: 15 VA

Clase de precisión: 0,5 s

- Protección Transformador 1: cgmcosmos-v Interruptor automático de vacío

Celda con envoltente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda cgmcosmos-v de interruptor automático de vacío está constituida por un módulo metálico con aislamiento en gas, que incorpora en su interior un embarrado superior de cobre, y una derivación con un seccionador rotativo de tres posiciones, y en serie con él, un interruptor automático de corte en vacío, enclavado con el seccionador. La puesta a tierra de los cables de acometida se realiza a través del interruptor automático. La conexión de cables es inferior-frontal mediante bornas enchufables. Presenta también captadores capacitivos para la detección de tensión en los cables de acometida y puede llevar un sistema de alarma sonora de puesta a tierra, que suena cuando habiendo tensión en la línea se introduce la palanca en el eje del seccionador de puesta a tierra. Al introducir la palanca en esta posición, un sonido indica que puede realizarse un cortocircuito o un cero en la red si se efectúa la maniobra.

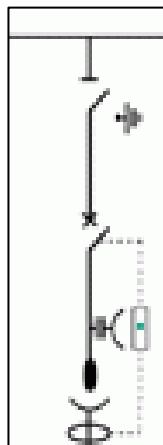


Figura 31. Celda Modular de Protección de Transformador

- Características eléctricas:

- Tensión asignada: 24 kV
- Intensidad asignada: 400 A
- Nivel de aislamiento

Frecuencia industrial (1 min)

a tierra y entre fases: 50 kV

Impulso tipo rayo

a tierra y entre fases (cresta): 125 kV

- Capacidad de cierre (cresta): 400 A
- Capacidad de corte en cortocircuito: 16 kA
- Clasificación IAC: AFL

- Características físicas:

- Ancho: 480 mm

- Fondo: 850 mm
- Alto: 1740 mm
- Peso: 218 kg
- Otras características constructivas:
 - Mando interruptor automático: manual RAV
 - Relé de protección: ekor.rpg-201B
- Transformador 1: transformador aceite 24 kV

Transformador trifásico reductor de tensión, construido según las normas citadas anteriormente, de marca ORMAZABAL, con neutro accesible en el secundario, de potencia 630 kVA y refrigeración natural aceite, de tensión primaria 10 - 20 kV y tensión secundaria 420 V en vacío (B2).



Figura 32. Trafo en Aceite

- Otras características constructivas:
 - Regulación en el primario: +/- 2,5%, +/-5%, + 7,5%
 - Tensión de cortocircuito (E_{cc}): 4%
 - Grupo de conexión: Dyn11
 - Protección incorporada al transformador: Termómetro

4. Características Descriptivas de los Cuadros de Baja Tensión

- Cuadros BT - B2 Transformador 1: Interruptor automático BT

El Cuadro de Baja Tensión (CBT), es un conjunto de apartamento de BT cuya función es recibir el circuito principal de BT procedente del transformador MT/BT y distribuirlo en un número determinado de circuitos individuales.

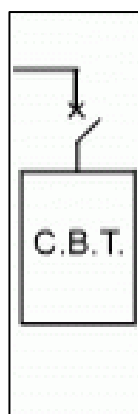


Figura 33. Cuadro de Baja Tensión

El cuadro tiene las siguientes características:

- Interruptor automático de 1000 A.
 - 8 salidas formadas por bases portafusibles.
 - Interruptor diferencial bipolar de 25 A, 30 mA.
 - Base portafusible de 32 A y cartucho portafusible de 20 A.
 - Base enchufe bipolar con toma de tierra de 16 A/ 250 V.
 - Bornas (alimentación a alumbrado) y pequeño material.
- Características eléctricas:
- Tensión asignada: 440 V
 - Nivel de aislamiento
- Frecuencia industrial (1 min)
- a tierra y entre fases: 10 kV
 - entre fases: 2,5 kV
- Impulso tipo rayo:
- a tierra y entre fases: 20 kV
- Dimensiones:
- Altura: 1820 mm
 - Anchura: 580 mm
 - Fondo: 300 mm

5. Características del material vario de Media Tensión y Baja Tensión

El material vario del Centro de Transformación es aquel que, aunque forma parte del conjunto del mismo, no se ha descrito en las características del equipo ni en las características de la aparamenta.

- Interconexiones de MT:

Puentes MT Transformador 1: Cables MT 12/20 kV

Cables MT 12/20 kV del tipo HEPRZ1, unipolares, con conductores de sección y material 1x95 Al.

La terminación al transformador es EUROMOLD de 24 kV del tipo enchufable acodada y modelo K158LR.

En el otro extremo, en la celda, es EUROMOLD de 24 kV del tipo atornillable y modelo K430TB.

- Interconexiones de BT:

Puentes BT - B2 Transformador 1: Puentes transformador-cuadro

Juego de puentes de cables de BT, de sección y material 0,4/1 kV tipo RZ1 de 1x240 Al sin armadura, y todos los accesorios para la conexión, formados por un grupo de cables en la cantidad 4xfase + 2xneutro.

- Defensa de transformadores:

Defensa de Transformador 1: Celda de transformador

Celda con envolvente metálica, fabricada por ORMAZABAL, formada por un módulo con las siguientes características:

La celda de transformador de potencia consiste en un módulo metálico, de las características indicadas a continuación, que incorpora en su interior el transformador de potencia. Cuenta con rejillas de ventilación natural y el cierre se realiza con puertas de dos hojas, con posibilidad de cerradura.

- Características eléctricas:

- Tensión asignada: 36 kV

- Características físicas:

- Ancho: 2100 mm
 - Fondo: 1500 mm
 - Alto: 2600 mm
 - Peso: 400 kg

- Equipos de iluminación:

Iluminación Edificio de Transformación: Equipo de iluminación

Equipo de alumbrado que permita la suficiente visibilidad para ejecutar las maniobras y revisiones necesarias en los centros.

Equipo autónomo de alumbrado de emergencia y señalización de la salida del local.

- Medida de la energía eléctrica

El conjunto consta de un contador tarificador electrónico multifunción, un registrador electrónico y una regleta de verificación. Todo ello va en el interior de un armario homologado para contener estos equipos.

- Unidades de protección, automatismo y control

Unidad de Protección: ekor.rpg

Unidad digital de protección desarrollada para su aplicación en la función de protección con interruptor automático. Es autoalimentado a partir de 5 A a través de transformadores de intensidad toroidales, comunicable y configurable por software con histórico de disparos.

- Características:
 - Rango de Potencias: 50 kVA - 25 MVA
 - Funciones de Protección:
 - Sobreintensidad
 - Fases (3 x 50/51)
 - Neutro (50N/ 51 N)
 - Neutro Sensible (50Ns/51Ns)
 - Disparo exterior: Función de protección (49T)
 - Reenganchador: Función de protección (79) [Con control integrado ekorRPGci]
 - Detección de faltas de tierra desde 0,5 A
 - Posibilidad de pruebas por primario y secundario
 - Configurable por software (RS-232) y comunicable (RS-485)
 - Histórico de disparos
 - Medidas de intensidad de fase y homopolar: I_1 , I_2 , I_3 e I_0
 - Autoalimentación a partir de 5 A en una fase
 - Opcional con control integrado (alimentación auxiliar)
- Elementos:
 - Relé electrónico que dispone en su carátula frontal de teclas y display digital para realizar el ajuste y visualizar los parámetros de protección, medida y control. Para la comunicación dispone de un puerto frontal RS232 y en la parte trasera un puerto RS485 (5 kV).
 - Los sensores de intensidad son transformadores toroidales de relación 300 A / 1 A y 1000 A / 1 A dependiendo de los modelos y que van colocados desde fábrica en los pasatapas de las celdas.

- Para la opción de protección homopolar ultrasensible se coloca un toroidal adicional que abarca las tres fases. En el caso de que el equipo sea autoalimentado (desde 5 A por fase) se debe colocar 1 sensor adicional por fase.
 - La tarjeta de alimentación acondiciona la señal de los transformadores de autoalimentación y la convierte en una señal de CC para alimentar el relé de forma segura. Dispone de una entrada de 230 Vca para alimentación auxiliar exterior.
 - El disparador biestable es un actuador electromecánico de bajo consumo integrado en el mecanismo de maniobra del interruptor.
- Otras características:
- Ith/Idin= 20 kA /50 kA
- Temperatura= -10 °C a 60 °C
- Frecuencia= 50 Hz; 60 Hz $\pm$ 1 %
- Ensayos:
- De aislamiento según 60255-5
 - De compatibilidad electromagnética según CEI 60255-22-X,
CEI 61000-4-X y EN 50081-2/55011
 - Climáticos según CEI 60068-2-X
 - Mecánicos según CEI 60255-21-X
 - De potencia según CEI 60265 y CEI 60056

Así mismo este producto cumple con la directiva de la Unión Europea sobre compatibilidad electromagnética 89/336/EEC y con la CEI 60255 Esta conformidad es resultado de un ensayo realizado según el artículo 10 de la directiva, y recogido en el protocolo B131-01-69-EE acorde a las normas genéricas EN 50081 y EN 50082.

6. Otras Componentes

- Puesta a tierra

Tierra de protección

Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en el Centro de Transformación se unen a la tierra de protección: envolventes de las celdas y cuadros de BT, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc., así como la armadura del edificio (si éste es prefabricado). No se unirán, por contra, las rejillas y puertas metálicas del centro, si son accesibles desde el exterior. El conductor será de cobre desnudo y se instalará una pica en cada extremo del centro, añadiendo una pica extra en los puntos medios si el CT es de dimensiones mayores.

Tierra de servicio

Con objeto de evitar tensiones peligrosas en BT, debido a faltas en la red de MT, el neutro del sistema de BT se conecta a una toma de tierra independiente del sistema de MT, de tal forma que no exista influencia en la red general de tierra, para lo cual se emplea un cable de cobre aislado y se instalarán las picas según método UNESA calculado a continuación.

- Instalaciones secundarias

- Armario de primeros auxilios

El Centro de Transformación cuenta con un armario de primeros auxilios.

- Medidas de seguridad

Para la protección del personal y equipos, se debe garantizar que:

1- No será posible acceder a las zonas normalmente en tensión, si éstas no han sido puestas a tierra. Por ello, el sistema de enclavamientos interno de las celdas debe afectar al mando del aparato principal, del seccionador de puesta a tierra y a las tapas de acceso a los cables.

2- Las celdas de entrada y salida serán con aislamiento integral y corte en gas, y las conexiones entre sus embarrados deberán ser apantalladas, consiguiendo con ello la insensibilidad a los agentes externos, y evitando de esta forma la pérdida del suministro en los Centros de Transformación interconectados con éste, incluso en el eventual caso de inundación del Centro de Transformación.

3- Las bornas de conexión de cables y fusibles serán fácilmente accesibles a los operarios de forma que, en las operaciones de mantenimiento, la posición de trabajo normal no carezca de visibilidad sobre estas zonas.

4- Los mandos de la aparamenta estarán situados frente al operario en el momento de realizar la operación, y el diseño de la aparamenta protegerá al operario de la salida de gases en caso de un eventual arco interno.

- Limitación de campos magnéticos

Al objeto de limitar en el exterior de las instalaciones de alta tensión los campos magnéticos creados en el exterior por la circulación de corrientes de 50 Hz en los diferentes elementos de las instalaciones, se tomarán las siguientes medidas:

- Los conductores trifásicos se dispondrán lo más cerca posible uno del otro, preferentemente juntos y al tresbolillo.
- En el caso en el que las interconexiones de baja tensión del transformador se ejecuten con varios cables por fase, se agruparán las diferentes fases en grupos RSTN. No se llevarán por tanto conductores de la misma fase en paralelo.

Cuando los centros de transformación se encuentren ubicados en edificios habitables, o anexos a los

misimos, se observarán las siguientes condiciones de diseño:

- a) Las entradas y salidas al centro de transformación de la red de alta tensión se efectúan por el suelo y adoptan la disposición en triángulo y formando ternas.
- b) La red de baja tensión se diseña igualmente con el criterio anterior.
- c) Se procurará que las interconexiones sean lo más cortas posibles y se diseñarán evitando paredes y techos colindantes con viviendas.
- d) No se ubicarán cuadros de baja tensión sobre paredes medianeras con locales habitables y se procurará que el lado de conexión de baja tensión del transformador quede lo más alejado lo más posible de estos locales.

6.2.3 CÁLCULOS

Este apartado proporcionará una base técnica sólida para el diseño y la implementación del centro de transformación de 630 kVA. Estos cálculos son esenciales para garantizar que el centro de transformación funcione de manera eficiente, segura y cumpla con las normativas vigentes.

- Intensidad de Media Tensión

La intensidad primaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (6.1)$$

Siendo: I_p : intensidad primaria

P: potencia del trafo

U_p : tensión primaria

En el caso que nos ocupa, la tensión primaria de alimentación es de 20 kV.

Para el único transformador de este Centro de Transformador, la potencia es de 630 kVA.

✓ $I_p = 18,2 \text{ A}$ (intensidad en el primario)

- Intensidad de Baja Tensión

Para el único transformador de este Centro de Transformador, la potencia es de 630 kVA, y la tensión secundaria es de 420 V en vacío.

La intensidad secundaria en un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s} \quad (6.2)$$

Siendo: I_s : intensidad en el secundario

U_s : tensión en el secundario

La intensidad en las salidas de 420 V en vacío puede alcanzar el valor:

$$\checkmark \quad I_s = 866 \text{ A (intensidad en el secundario)}$$

- Cortocircuitos

Para el cálculo de las intensidades que origina un cortocircuito, se tendrá en cuenta la potencia de cortocircuito de la red de MT, valor especificado por la compañía eléctrica.

Cálculo de las intensidades de cortocircuito

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito en la instalación, se utiliza la expresión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_p} \quad (6.3)$$

Siendo: I_{ccp} : corriente de cortocircuito en el primario

S_{cc} : potencia de cortocircuito de la red

Para los cortocircuitos secundarios, se va a considerar que la potencia de cortocircuito disponible es la teórica de los transformadores de MT-BT, siendo por ello más conservadores que en las consideraciones reales.

La corriente de cortocircuito del secundario de un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s} \quad (6.4)$$

Siendo: I_{ccs} : corriente de cortocircuito en el secundario

E_{cc} : tensión de cortocircuito del transformador

- Cortocircuito en el lado de Media Tensión

Utilizando la expresión 6.3, en el que la potencia de cortocircuito es de 150 MVA y la tensión de servicio 20 kV, la intensidad de cortocircuito es:

$$\checkmark \quad I_{ccp} = 4,3 \text{ kA (intensidad de cortocircuito en el primario)}$$

- Cortocircuito en el lado de Baja Tensión

Para el único transformador de este Centro de Transformación, la potencia es de 630 kVA, la tensión porcentual del cortocircuito del 4%, y la tensión secundaria es de 420 V en vacío.

La intensidad de cortocircuito en el lado de BT con 420 V en vacío será, según la fórmula 6.4:

$$\checkmark \quad I_{ccs} = 21,7 \text{ kA (intensidad de cortocircuito en el secundario)}$$

- Dimensionado del embarrado

Las celdas fabricadas por ORMAZABAL han sido sometidas a ensayos para certificar los valores indicados en las placas de características, por lo que no es necesario realizar cálculos teóricos ni hipótesis de comportamiento de celdas.

- Comprobación por densidad de corriente

La comprobación por densidad de corriente tiene por objeto verificar que el conductor indicado es capaz de conducir la corriente nominal máxima sin superar la densidad máxima posible para el material conductor. Esto, además de mediante cálculos teóricos, puede comprobarse realizando un ensayo de intensidad nominal, que, con objeto de disponer de suficiente margen de seguridad, se considerará que es la intensidad del bucle, que en este caso es de 400 A.

- Comprobación por sollicitación electrodinámica

La intensidad dinámica de cortocircuito se valora en aproximadamente 2,5 veces la intensidad eficaz de cortocircuito calculada en el apartado 6.2.3 de este capítulo, por lo que:

$$\checkmark \quad I_{cc(din)} = 10,8 \text{ kA (intensidad dinámica de cortocircuito)}$$

- Comprobación por sollicitación térmica

La comprobación térmica tiene por objeto comprobar que no se producirá un calentamiento excesivo de la aparamenta por defecto de un cortocircuito. Esta comprobación se puede realizar mediante cálculos teóricos, pero preferentemente se debe realizar un ensayo según la

normativa en vigor. En este caso, la intensidad considerada es la eficaz de cortocircuito, cuyo valor es:

$$\checkmark I_{cc(ter)} = 4,3 \text{ kA (intensidad térmica de cortocircuito)}$$

- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos

Los transformadores están protegidos tanto en MT como en BT. En MT la protección la efectúan las celdas asociadas a esos transformadores, mientras que en BT la protección se incorpora en los cuadros de las líneas de salida.

- Transformador 1

La protección de este transformador se realiza por medio de una celda de interruptor automático, que proporciona todas las protecciones al transformador, bien sea por sobrecargas, faltas a tierra o cortocircuitos, gracias a la presencia de un relé de protección. En caso contrario, se utilizan únicamente como elemento de maniobra de la red.

El interruptor automático posee capacidad de corte tanto para las corrientes nominales, como para los cortocircuitos antes calculados.

- Termómetro

El termómetro verifica que la temperatura del dieléctrico del transformador no supera los valores máximos admisibles.

- Dimensionado de los puentes de MT

Los cables que se utilizan en esta instalación, descritos en la memoria, deberán ser capaces de soportar los parámetros de la red.

Transformador 1

La intensidad nominal demandada por este transformador es igual a 18,2 A que es inferior al valor máximo admisible por el cable.

Este valor es de 235 A para un cable de sección de 95 mm² de Al según el fabricante.

- Dimensionado de la ventilación del Centro de Transformación.

Para calcular la superficie de la reja de entrada de aire en el edificio se utiliza la siguiente expresión:

$$S_r = \frac{W_{cu} + W_{fe}}{0.24 \cdot K \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T^3}} \quad (6.5)$$

Siendo: S_t : superficie de la reja de entrada de aire

W_{cu} : pérdidas en el cobre del trafo

W_{fe} : pérdidas en el hierro del trafo

K : coeficiente dependiente de la forma de las rejillas de entrada

h : distancia vertical entre rejillas de entrada y salida

ΔT : aumento de temperatura del aire

Para el caso particular de este edificio, el resultado obtenido es, aplicando la expresión arriba indicada.

- Dimensionado del pozo apagafuegos

Se dispone de un foso de recogida de aceite de 600 L de capacidad por cada transformador cubierto de grava para la absorción del fluido y para prevenir el vertido del mismo hacia el exterior y minimizar el daño en caso de fuego.

- Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra

- Investigación de las características del suelo

El Reglamento de Alta Tensión indica que, para instalaciones de tercera categoría, y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA no será imprescindible realizar la citada investigación previa de la resistividad del suelo, bastando el examen visual del terreno y pudiéndose estimar su resistividad, siendo necesario medirla para corrientes superiores.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina la resistividad media en 150 Ohm·m.

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

En las instalaciones de MT de tercera categoría, los parámetros que determinan los cálculos de faltas a tierra son las siguientes:

De la red:

- Tipo de neutro. El neutro de la red puede estar aislado, rígidamente unido a tierra, unido a esta mediante resistencias o impedancias. Esto producirá una limitación de la corriente de la falta, en función de las longitudes de líneas o de los valores de impedancias en cada caso.
- Tipo de protecciones. Cuando se produce un defecto, éste se eliminará mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un dispositivo relé de intensidad, que puede actuar en un tiempo fijo (tiempo fijo), o según una curva de tipo inverso (tiempo dependiente). Adicionalmente, pueden existir reenganches posteriores al

primer disparo, que sólo influirán en los cálculos si se producen en un tiempo inferior a los 0,5 segundos.

No obstante, y dada la casuística existente dentro de las redes de cada compañía suministradora, en ocasiones se debe resolver este cálculo considerando la intensidad máxima empírica y un tiempo máximo de ruptura, valores que, como los otros, deben ser indicados por la compañía eléctrica.

- Diseño preliminar de la instalación de tierra

El diseño preliminar de la instalación de puesta a tierra se realiza basándose en las configuraciones tipo presentadas en el Anexo 2 del método de cálculo de instalaciones de puesta a tierra de UNESA, que esté de acuerdo con la forma y dimensiones del Centro de Transformación, según el método de cálculo desarrollado por este organismo. Éste se puede ver modificado según las necesidades de la instalación. Se emplearán conductores de cobre de 50 mm² aislados para la puesta a tierra de servicio y desnudos para la puesta a tierra de protección.

- Cálculo de la resistencia del sistema de tierra

Características de la red de alimentación:

- Tensión de servicio: $U_r = 20 \text{ kV}$
- Limitación de la intensidad a tierra: $I_{dm} = 300 \text{ A}$
- Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT: $V_{bt} = 10000 \text{ V}$

Características del terreno:

- Resistencia de tierra $R_o = 150 \Omega \cdot \text{m}$
- Resistencia del hormigón $R'_o = 3000 \Omega$

La resistencia máxima de la puesta a tierra de protección del edificio, y la intensidad del defecto salen de:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} \quad (6.6)$$

Siendo: I_d : intensidad de falta a tierra

R_t : resistencia total de puesta a tierra

V_{bt} : tensión de aislamiento en baja tensión

La intensidad del defecto se calcula de la siguiente forma:

$$I_d = I_{dm} \quad (6.7)$$

Operando en este caso, el resultado preliminar obtenido es:

✓ **$I_d = 300 \text{ A}$** (intensidad de defecto)

La resistencia total de puesta a tierra preliminar:

✓ **$R_t = 33,33 \Omega$** (resistencia total de puesta a tierra)

Se selecciona el electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas, y de aplicación en este caso concreto, según las condiciones del sistema de tierras) que cumple el requisito de tener una K_r más cercana inferior o igual a la calculada para este caso y para este centro.

Valor unitario de resistencia de puesta a tierra del electrodo:

$$K_r \leq \frac{R_t}{R_o} \quad (6.8)$$

Siendo: K_r : coeficiente del electrodo (resistencia)

Para nuestro caso particular, y según los valores antes indicados:

✓ **$K_r \leq 0,2222$** (coeficiente del electrodo para resistencia)

La configuración adecuada para este caso tiene las siguientes propiedades:

- Configuración seleccionada: 5/22
- Geometría del sistema: Picas alineadas
- Distancia entre picas: 3 metros
- Profundidad del electrodo horizontal: 0,5 m
- Número de picas: dos
- Longitud de las picas: 2 metros

Parámetros característicos del electrodo:

- De la resistencia $K_r = 0,201$
- De la tensión de paso $K_p = 0,0392$
- De la tensión de contacto $K_c = 0$

- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto.

Para que no aparezcan tensiones de contacto exteriores ni interiores, se adaptan las siguientes medidas de seguridad:

- Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del Edificio/s no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar a tensión debido a defectos o averías.
- En el piso del Centro de Transformación se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm, conectado a la puesta a tierra del mismo.
- En el caso de instalar las picas en hilera, se dispondrán alineadas con el frente del edificio.

El valor real de la resistencia de puesta a tierra del edificio será:

$$R'_t = K_r \cdot R_o \quad (6.9)$$

por lo que para el Centro de Transformación:

$$\checkmark \quad R'_t = 30,15 \, \Omega \text{ (resistencia total de puesta a tierra real)}$$

y la intensidad de defecto real, tal y como indica la fórmula 4.2:

$$\checkmark \quad I'_d = 300 \, A \text{ (intensidad de defecto real)}$$

- Cálculo de las tensiones de paso en el interior de la instalación

La tensión de defecto vendrá dada por:

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d \quad (6.10)$$

por lo que en el Centro de Transformación:

$$\checkmark \quad V'_d = 9045 \text{ V (tensión de defecto)}$$

La tensión de paso en el acceso será igual al valor de la tensión máxima de contacto siempre que se disponga de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra según la fórmula:

$$V'_c = K_c \cdot R_o \cdot I'_d \quad (6.11)$$

En este caso, al estar las picas alineadas frente a los accesos al Centro de Transformación paralelas a la fachada, la tensión de paso en el acceso va a ser prácticamente nula por lo que no la consideraremos.

- Cálculo de las tensiones de paso en el exterior de la instalación

Adoptando las medidas de seguridad adicionales, no es preciso calcular las tensiones de contacto en el exterior de la instalación, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Tensión de paso en el exterior:

$$V'_p = K_p \cdot R_o \cdot I'_d \quad (6.12)$$

por lo que, para este caso:

$$\checkmark \quad V'_p = 1764 \text{ V en el Centro de Transformación (tensión de paso en el exterior)}$$

- Cálculo de las tensiones aplicadas

Los valores admisibles son para una duración total de la falta igual a:

$$\checkmark \quad t = 1 \text{ s (duración total del defecto)}$$

Tensión de paso en el exterior:

$$Up = 10 * U_{ca} \left[1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * R_0}{1000} \right] \quad (6.13)$$

Siendo: U_{ca} : valor admisible de la tensión de contacto aplicada

R_{a1} : resistencia de calzado

por lo que, para este caso

$$\checkmark \quad V_p = 6313 \text{ V (tensión de paso en el exterior)}$$

La tensión de paso en el acceso al edificio:

$$U_{pacc} = 10 * U_{ca} \left[1 + \frac{2*R_{a1}+3*R_0+3*R'_0}{1000} \right] \quad (6.14)$$

por lo que, para este caso

$$\checkmark \quad V_p(\text{acc}) = 15461,5 \text{ V (tensión de paso en el acceso)}$$

Comprobamos ahora que los valores calculados para el caso de este Centro de Transformación son inferiores a los valores admisibles:

Tensión de paso en el exterior del centro:

$$\checkmark \quad V'_p = 1764 \text{ V} < V_p = 6313 \text{ V (real vs calculada)}$$

Tensión de paso en el acceso al centro:

$$\checkmark \quad V'_p(\text{acc}) = 0 \text{ V} < V_p(\text{acc}) = 15461,5 \text{ V (real vs calculada)}$$

Tensión de defecto:

$$\checkmark \quad V'_d = 9045 \text{ V} < V_{bt} = 10000 \text{ V}$$

Intensidad de defecto:

$$\checkmark \quad I_a = 50 \text{ A} < I_d = 300 \text{ A} < I_{dm} = 300 \text{ A}$$

- Investigación de las tensiones transferibles al exterior

Para garantizar que el sistema de tierras de protección no transfiera tensiones al sistema de tierra de servicio, evitando así que afecten a los usuarios, debe establecerse una separación entre los electrodos más próximos de ambos sistemas, siempre que la tensión de defecto supere los 1000V.

En este caso es imprescindible mantener esta separación, al ser la tensión de defecto superior a los

1000 V indicados.

La distancia mínima de separación entre los sistemas de tierras viene dada por la expresión:

$$D = \frac{R_o \cdot I'_d}{2000 \cdot \pi} \quad (6.15)$$

Para este Centro de Transformación:

✓ **D = 7,16 m** (distancia de separación entre las tierras)

Se conectará a este sistema de tierras de servicio el neutro del transformador, así como la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad de la celda de medida.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

- Configuración seleccionada: 5/22
- Geometría: Picas alineadas
- Número de picas: dos (+ 1 pica extra cada 3 metros)
- Longitud entre picas: 3 metros
- Profundidad de las picas: 0,5 m

Los parámetros según esta configuración de tierras son:

- $K_r = 0,201$
- $K_c = 0,0392$

El criterio de selección de la tierra de servicio es no ocasionar en el electrodo una tensión superior a 24 V cuando existe un defecto a tierra en una instalación de BT protegida contra contactos indirectos por un diferencial de 650 mA. Para ello la resistencia de puesta a tierra de servicio debe ser inferior a 37 Ohm.

✓ **$R_{\text{serv}} = K_r \cdot R_o = 0,201 \cdot 150 = 30,15 < 37 \, \Omega$** (resistencia de puesta a tierra de servicio)

Para mantener los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio independientes, la puesta a tierra del neutro se realizará con cable aislado de 0,4/1 kV, protegido con tubo de PVC de grado de protección 7 como mínimo, contra daños mecánicos.

- Corrección y ajuste del diseño inicial

Según el proceso de justificación del electrodo de puesta a tierra seleccionado, no se considera necesaria la corrección del sistema proyectado, aunque sí ha de tenerse en cuenta la posibilidad de adición de picas en función de las necesidades de la instalación. En este caso, además de las dos picas de servicio (más la pica extra cada tres metros), se instalarán ocho picas para la puesta a tierra de protección, asegurando de forma óptima la protección de ésta debido a las dimensiones del CT.

De igual manera, se puede ejecutar cualquier configuración con características de protección mejores que las calculadas, es decir, atendiendo a las tablas adjuntas al Método de Cálculo de Tierras de UNESA, con valores de " K_r " inferiores a los calculados, sin necesidad de repetir los cálculos, independientemente de que se cambie la profundidad de enterramiento, geometría de la red de tierra de protección, dimensiones, número de picas o longitud de éstas, ya que los valores de tensión serán inferiores a los calculados en este caso.

7 RED DE BAJA TENSION

7.1 INTRODUCCIÓN

De manera similar a la línea de media tensión, se abordan ahora las actuaciones correspondientes a la red subterránea de baja tensión.

Con la subestación ya diseñada, la línea de media tensión dimensionada y el centro de transformación calculado y ajustado a las instalaciones analizadas previamente en este proyecto, se detallan los trabajos referentes a dicha red incluyendo una planificación cuidadosa de la canalización, dimensionamiento preciso del cableado y la implementación de sistemas de protección robustos. Estas medidas asegurarán un suministro eléctrico seguro, eficiente y confiable para todos los componentes del espacio industrial.

Además, se estudia la distribución del cableado de la red, ofreciendo detalle de la misma en el apartado [ANEXO A: PLANOS](#).

7.2 CANALIZACIÓN SUBTERRÁNEA

Se establece que las canalizaciones se ubicarán mayormente en terrenos de dominio público, especialmente bajo las aceras y en zonas bien delimitadas. El trazado será lo más recto posible y preferiblemente paralelo a referencias fijas como líneas de fachada y bordillos, respetando los radios de curvatura mínimos indicados por los fabricantes o en las normas UNE 20.435 en los cambios de dirección.

Durante la etapa de diseño del proyecto, se debe consultar con las empresas de servicios públicos y los posibles propietarios de servicios para conocer la posición de sus instalaciones en la zona afectada. Antes de abrir las zanjas, se realizarán calas de reconocimiento para confirmar o ajustar el trazado previsto.

Los cables aislados se instalarán en canalizaciones entubadas, siguiendo las regulaciones de la ITC-BT-21, y la profundidad de instalación estará determinada por las normas de la compañía suministradora, siendo de al menos 0,60 m en aceras y 0,80 m en calzadas.

No se instalará más de un circuito por tubo.

Se procurará minimizar los cambios de dirección de los tubos. En los puntos donde sea necesario realizar cambios de dirección, se colocarán arquetas con tapa, que pueden ser registrables o no, para facilitar la manipulación de los cables. Para facilitar el tendido de los cables, se instalarán arquetas intermedias, que pueden ser registrables, ciegas o simplemente calas de tiro, máximo una cada 40 metros en tramos rectos. Esta distancia puede ajustarse de manera razonable según las necesidades específicas, como derivaciones, cruces u otros factores viales. En la entrada de las arquetas, los extremos de los tubos deben sellarse adecuadamente para prevenir la entrada de roedores y agua.

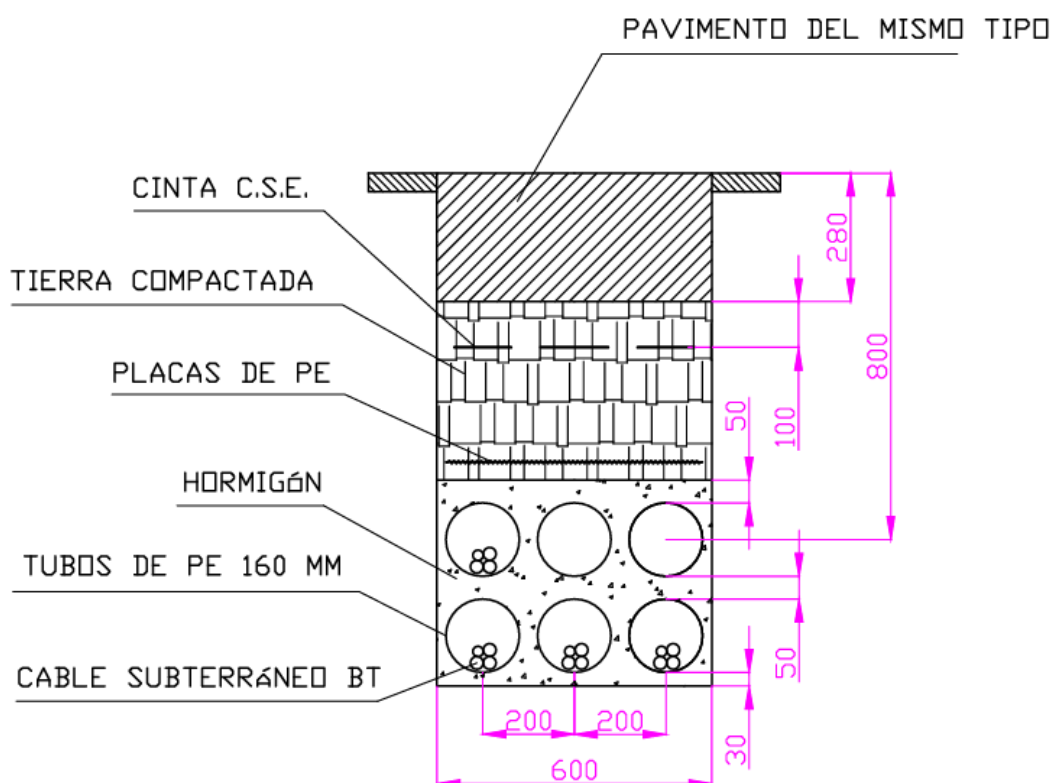


Figura 34. Zanja en asfalto, aparcamiento, hormigón, tierra y acerado.

El conductor se tenderá en zanja de 0,97 m y 1,13 m. de profundidad e irá instalado bajo tubo de polietileno rojo de 160 mm de diámetro. La canalización tendrá arquetas tipo A-2 y 9 A-1, de dimensiones similares a las de media tensión. Los tubos de la canalización irán cubiertos por un prisma de hormigón de dimensiones según plano, después del prisma de hormigón, llevamos una capa de zahorra natural compactada. Sobre el mismo se colocará una cinta señalizadora normalizada para indicar la presencia de los conductores.

7.3 RED DE BAJA TENSIÓN

7.3.1 DESCRIPCIÓN

Los cables utilizados en líneas subterráneas serán de aluminio, aislados con compuestos poliméricos adecuados y protegidos contra la corrosión del terreno. Deberán tener resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a los que puedan estar expuestos. Los cables pueden tener uno o más conductores y una tensión asignada no inferior a 0,4/1 kV, cumpliendo con los requisitos de la norma UNE-HD 603. La sección de los conductores será apropiada para las intensidades y caídas de tensión previstas, en este caso de 240 mm².

La sección mínima del conductor neutro variará según el número de conductores utilizados en la distribución, siendo igual a la de los conductores de fase para dos o tres conductores, y según la tabla 1 de la ITC-BT-07 para cuatro conductores, en este caso de 150 mm².

La red estará compuesta por 7 circuitos (más 1 de climatización) que partirán del centro de transformación proyectado y que representan la instalación de fuerza representada en [ANEXO A: PLANOS](#), incluido unifilar representativo de la red.

Su designación UNE es la siguiente: **XZ1 (S) 0,6/1 kV Al 3x240 mm² + 1x150**.

Al igual que para la línea de media tensión, se ha recurrido a la calculadora online de Prysmian para la selección del conductor, exponiéndose sus características y trazado en el apartado [ANEXO A: PLANOS](#).

Se podría seguir un diagrama de flujo similar al expuesto en la media tensión.

Se expone, además, un unifilar que representa el paso de media a baja tensión. Dicho unifilar se ha construido con el software BTwin. Éste, representa de manera global todos los componentes, es decir, un conjunto de aparataje se encuentra expresado en una protección única (1 para maquinaria, 1 para iluminación, 1 para climatización) tal como se muestra en [ANEXO A: PLANOS](#).

7.3.2 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

7.3.2.1 INTRODUCCIÓN

Se han calculado y dimensionado las redes eléctricas para alimentar la nave siguiendo las directrices establecidas en la ITC-BT-10 en cuanto a la carga a tener en cuenta. En cuanto a la caída de tensión máxima permitida, esta se ha fijado en un 5 % de la tensión en el punto de origen según lo estipulado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). Para el cálculo de nuestros circuitos, hemos considerado la situación más desfavorable, que incluye la carga de todo el circuito desde el cuadro de distribución hasta la caja de protección.

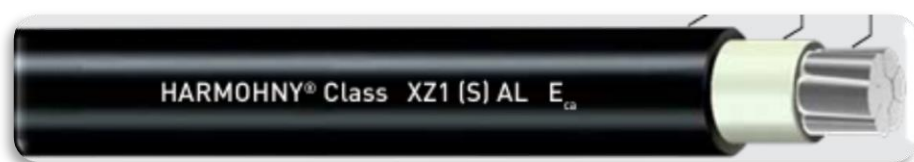


Figura 35. Conductor BT

7.3.2.2 CÁLCULOS

Todos los cálculos realizados en este Proyecto se han realizado con las siguientes fórmulas (para circuitos trifásicos):

$$S = \frac{I \cdot P}{\gamma \cdot e \cdot V} \qquad e = \frac{I \cdot P}{\gamma \cdot S \cdot V} \qquad P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \theta$$

Siendo: S: sección del conductor

P: potencia instalada

γ : conductividad del aluminio ($K=35$)

e : caída de tensión

$\cos \Theta$: factor de potencia

I : intensidad de la línea

V : tensión de la línea

El cálculo y dimensionamiento de las redes eléctricas para la alimentación de las naves se ha realizado siguiendo la ITC-BT-10 respecto a la carga considerada. Con respecto a la caída de tensión máxima admisible, ésta, la fija EL R.E.B.T. en el 5 % de la tensión en el origen. En el cálculo de estos circuitos consideramos la situación más desfavorable.

1. Intensidad admisible del cable. Criterio Térmico

Suponiendo inicialmente como sección del cable $S = 240 \text{ mm}^2$, calculamos los factores de corrección para obtener la intensidad admisible y analizar la validez del conductor mediante Criterio Térmico.

▪ Factor de corrección por temperatura del terreno

Los ajustes en la intensidad máxima permitida debido a variaciones en la temperatura del terreno, en relación con la temperatura nominal del conductor, se determinan mediante una tabla específica de la norma UNE 211436, que se proporciona a continuación. Suponiendo una temperatura del terreno de 20°C y una temperatura de funcionamiento continua del conductor de polietileno reticulado de 90°C , según la tabla, el factor de ajuste debido a la temperatura sería de **1,04**.

Tª máxima del conductor, °C	Temperatura del aire ambiente en cables en galerías, °C								
	20	25	30	35	40	45	50	55	60
90	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77
105	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83
Tª máxima del conductor, °C	Temperatura del terreno en cables soterrados, °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
105	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83

Tabla 31. Factores de corrección por temperatura del terreno

▪ **Factor de corrección por resistividad térmica del terreno**

Los ajustes en la intensidad máxima permitida debido a las variaciones de temperatura del terreno, en relación con la temperatura nominal del conductor, se determinan mediante una tabla específica de la norma UNE 211436, que se presenta a continuación.

En nuestro caso, al proyectar una instalación de cables enterrados bajo tubos en terrenos húmedos, con una resistividad térmica del terreno de 0,8 K·m/W y una sección del conductor de 240 mm², el factor de ajuste debido a la resistividad térmica del terreno sería de **1,15**.

Cables instalados en tubos soterrados. Un circuito por tubo							
	Resistividad del terreno, K·m/W						
Sección del Conductor mm ²	0,8	0,9	1	1,5	2	2,5	3
25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83
35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83
50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83
70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
300	1,15	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81

Tabla 32. Factores de corrección por resistividad térmica del terreno

▪ **Factor de corrección por profundidad de instalación**

Los ajustes en la intensidad máxima permitida debido a las diferentes profundidades de instalación para cables con aislamiento seco hasta 0,6/1 kV se encuentran especificados en la tabla de la norma UNE 211436, que se incluye a continuación.

En nuestro caso, al proyectar una instalación de cables de 240 mm² de sección, colocados bajo tubo a una profundidad de 0,90 metros, el factor de ajuste debido a la profundidad es de **0,98**. Se consigue interpolando entre 0,8 y 1,00.

Cables de 0,6/1 kV, Profundidad tipo 0,7 m		
Profundidad, m	Soterrados	En tubular
0,5	1,04	1,03
0,6	1,02	1,01
0,7	1,00	1,00
0,8	0,99	0,99
1,00	0,97	0,97
1,25	0,95	0,96
1,50	0,93	0,95
1,75	0,92	0,94
2,00	0,91	0,93
2,50	0,89	0,91
3,00	0,88	0,90

Tabla 33. Factores de corrección por profundidad del soterramiento

▪ **Factor de corrección por distancia entre ternas**

Los factores de corrección de la intensidad máxima admisible por distancias entre ternos vienen dados por la tabla siguiente de la norma UNE 211436 adjunta a continuación.

Al proyectarse una instalación de 3 ternas de cables en un plano horizontal, bajo tubo con una separación entre tubos nula, tenemos que el factor de corrección por separación entre ternos será de **0,77**.

Circuitos en tubulares soterradas (un circuito trifásico y neutro por tubo)					
Tubos dispuestos en un plano horizontal					
	Distancias entre tubos en mm				
Circuitos agrupados	Contacto	200	400	600	800
2	0,87	0,90	0,94	0,96	0,97
3	0,77	0,82	0,87	0,90	0,93
4	0,71	0,77	0,84	0,88	0,91
5	0,67	0,74	0,81	0,86	0,89
6	0,64	0,71	0,79	0,85	0,88
7	0,61	0,69	0,78	0,84	-
8	0,59	0,67	0,77	0,83	-
9	0,57	0,66	0,76	0,82	-
10	0,56	0,65	0,75	-	-

Tabla 34. Factores de corrección para agrupación de cables

La intensidad admisible del conductor elegido viene dada por la expresión:

$$I_{adm} = I_{max} \cdot F_t \cdot F_{rt} \cdot F_d \cdot F_p$$

Siendo: I_{adm} : intensidad admisible del conductor

I_{max} : intensidad máxima admisible

F_t : factor de corrección por temperatura del terreno

F_{rt} : factor de corrección por resistividad térmica del terreno

F_p : factor de corrección por profundidad del soterramiento

F_d : factor de corrección por distancia entre ternas

En este caso quedaría:

$$I_{adm} = 305 \cdot 1,04 \cdot 1,15 \cdot 1,15 \cdot 0,98 \cdot 0,77 = \mathbf{275,26 \text{ A}} (< 340 \text{ A})$$

A partir de la siguiente tabla elegimos la intensidad del cable, y, por tanto, su sección:

Intensidad máxima admisible en A Aislamiento de XLPE. Conductor de Cu o Al Cables en triángulo en contacto			
Sección mm ²	Directamente soterrados	En tubular soterrada	Al aire, protegido del sol
Aluminio			
25	95	82	88
50	135	115	125
95	200	175	200
150	260	230	290
240	340	305	390
Cobre			
25	125	105	115
50	185	155	185
95	260	225	285
150	340	300	390
240	445	400	540
Temperatura del terreno en °C: 25			
Temperatura del aire ambiente en °C: 40			
Resistencia térmica del terreno en K·m/W: 1,5			
Profundidad de soterramiento en m: 0,7			

Tabla 35. Intensidad máxima admisible del cable de baja tensión

2. Criterio de Caída de Tensión

Sabiendo los parámetros del conductor, y a partir de la siguiente expresión, tenemos que:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos\theta + x \cdot \sin\theta) = 4,81 \text{ V} \rightarrow \Delta U (\%) = 0,8\% < 5\% \rightarrow \text{CUMPLE}$$

Siendo: ΔU : caída de tensión

I: intensidad de línea

L: longitud de la línea

r: resistencia del conductor (dato conductor = $0,250 \Omega/\text{km}$)

x: reactancia del conductor (dato conductor = $0,008 \Omega/\text{km}$)

3. Conclusión

Por tanto, y a modo de resumen, las características principales del conductor son las siguientes:

- ✓ **Sección:** 240 mm^2
- ✓ **Aislamiento:** XLPE
- ✓ **Material:** Aluminio
- ✓ **Intensidad Máxima:** 275 A

7.3.3 INSTALACIÓN DE FUERZA

7.3.3.1 INTRODUCCIÓN

Una vez seleccionada la sección del conductor a emplear en la instalación, se procede a definir la instalación de fuerza. El objetivo de ésta es el de suministrar electricidad a los receptores de la instalación como motores, máquinas y lámparas y cuya finalidad persigue convertirla en trabajo útil.

Se utilizará como conductor el del tipo XZ1 (S) Al 0.6/1 kV, cuyas características se especifican en el apartado [ANEXO A: PLANOS](#) y que podemos encontrar en [ANEXO B: CATÁLOGOS](#).

7.3.3.2 CANALIZACIÓN

El conductor irá instalado sobre bandeja. Este tipo de canalización aportará versatilidad, además de un mantenimiento simple y una fácil conexión a las futuras máquinas que lo requieran. Ya que la red de baja tensión inicialmente es subterránea, en el exterior, los cables irán grapeados o bajo tubo y habrá que realizar calos (uno por sala) en los laterales de la nave para su conexión a la instalación lumínica y maquinaria. Cada canalización en bandeja contendrá los circuitos necesarios para el abastecimiento de las luminarias y maquinaria. En la Zona Principal, la idea es hacer dos canalizaciones sobre bandeja en paralelo, una para iluminación y otra para maquinaria. Este costo ya está contemplado en la canalización de baja tensión en el presupuesto.



Figura 36. Bandeja Perforada

En el apartado [ANEXO A: PLANOS](#) se indica la distribución del cableado, tanto para la iluminación como para la maquinaria (zona estimada pendiente de instalación de éstas).

7.3.4 CAJAS GENERALES DE PROTECCIÓN

Se tratan de las cajas que alojan los elementos de protección de las líneas. Las características y esquemas de estas cajas serán acordes a lo indicado en la Norma ENDESA NNL010 y en las Especificaciones Técnicas de Endesa.

Su instalación será sobre la fachada exterior de la nave y dispondrá de permanente acceso, ya que se encuentra en zona pública. El interior será accesible. Con ello, será posible su manipulación y mantenimiento, por la cara frontal.

El interior de la CGP acogerá la aparamenta requerida, siendo ésta, fusibles cortacircuitos en cada conductor de fase, teniendo un poder de corte, como mínimo, igual a la corriente de cortocircuito prevista en el punto de instalación. Por otro lado, el neutro dispondrá de una conexión amovible y de un borne de conexión para su puesta a tierra si fuera necesario.

Esta CGP cumplirá toda la normativa vigente, con su correspondiente grado de inflamabilidad y de protección, que en este caso será IP-43 e IK-08, y, además, serán precintables.

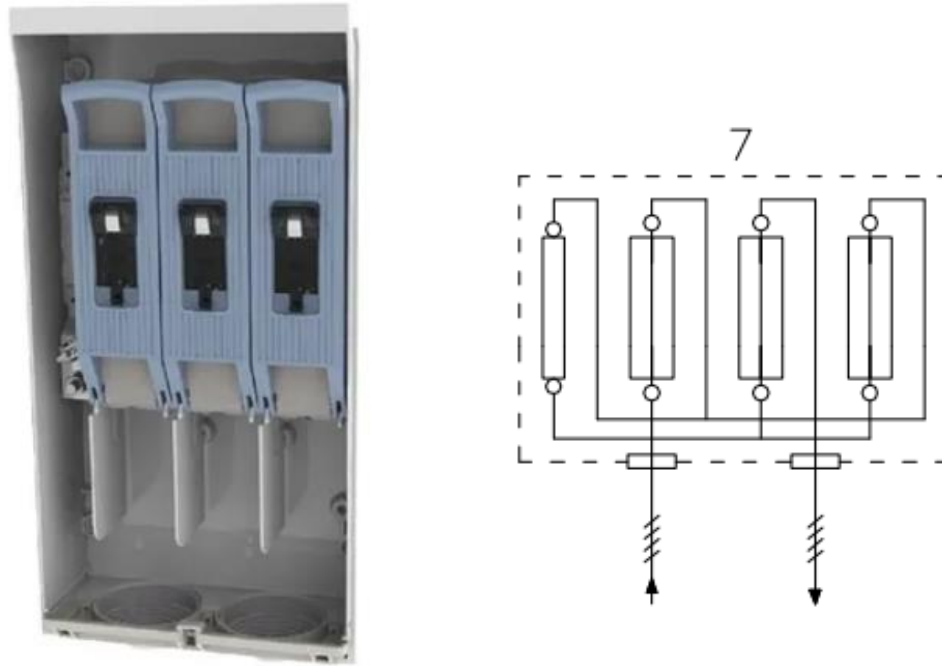


Figura 37. Caja General de Protección y Esquema (CGP-7)

7.3.5 PROTECCIONES

7.3.5.1 INTRODUCCIÓN

Los circuitos de la red se protegerán en cabecera, a la salida del centro de transformación, es decir, en el cuadro de baja tensión. Esta protección principal se basará en interruptores y cumplirá la normativa vigente. Éstos protegerán cada circuito frente a sobrecargas y cortocircuitos.

7.3.5.2 CÁLCULO DE INTENSIDADES

Teniendo en cuenta los cálculos y observaciones anteriores, se procede a definir el conjunto de protecciones que protegerá la instalación.

Sabiendo que la potencia del trafa es de 630 kVA y que:

$$P = S \cdot \cos\theta \quad I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\theta}$$

Siendo: P: potencia requerida

S: potencia aparente

I: intensidad de línea

U: tensión de línea

$\cos\theta$: factor de potencia

A partir de la prevision de potencia en cada componente:

- ✓ $I_{\text{Total}} = 909 \text{ A}$
- ✓ $I_{\text{Maquinaria}} = 613 \text{ A}$
- ✓ $I_{\text{Iluminación}} = 9.8 \text{ A}$
- ✓ $I_{\text{Climatización}} = 204 \text{ A}$

7.3.5.3 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

- Interruptor General de Baja Tensión (IGBT) ofrece:
 - Protección contra Sobrecargas. Protege el sistema eléctrico y los equipos de corrientes excesivas que puedan dañarlos interrumpiendo el circuito cuando la corriente supera un valor ya establecido durante cierto tiempo.
 - Protección contra Cortocircuitos. Interrumpe el suministro eléctrico cuando haya un cortocircuito que pueda causar daños o peligro detectando la alta corriente de cortocircuito y desconectando el circuito en milisegundos previniendo daños.
 - Seccionamiento Manual. Permite la desconexión manual de la alimentación del sistema completo o parte de él para mantenimiento o en caso de emergencia.
 - Protección Diferencial (Opcional). Detecta fugas de corriente a tierra y protege a los operarios contra choques eléctricos y evita daños en los equipos. Al detectar esta fuga, desconecta el circuito si la corriente supera cierto valor.
 - Protección contra Sobretensiones (Opcional). Protege contra picos de tensión que puedan dañar los equipos a través de los SPDs.
 - Protección contra Incendios. Minimiza el riesgo de incendios por fallos eléctricos.
- Medidores. Aportan monitoreo contiuo, seguridad, eficiencia, mantenimiento preventivo y optimización de recursos.
 - Voltímetro. Mide la tension eléctrica y verifica que está dentro de los límites operativos, además de detectar caídas o picos.
 - Amperímetro. Mide la corriente eléctrica y monitorea la carga del sistema, además de identificar sobrecargas o corrientes anómalas.
 - Medidor de Potencia. Mide la potencia consumida y controla el consume de energía, ayuda en la gestion de eficiencia y proporciona una facturación precisa. Es parecido al medidos de energía, que también analiza patrones de consume.
 - Medidor de Factor de Potencia. Mide el factor de potencia y ayuda en su corrección para reducir penalizaciones por bajo valor de éste.
- Relés de Protección. De sobrecorriente, protegen contra sobrecargas y cortocircuitos, y diferenciales, protegen contra fugas a tierra y choques eléctricos. Mejoran la seguridad, reducen

daños, dan continuidad al servicio y aportan monitoreo.

- Interruptores Automáticos Magnetotérmicos. Aportan la misma protección que el IGBT, pero adaptado a cada circuito o cuadro.
- Pararrayos. Intercepta los rayos y proporciona un camino seguro para que la corriente llegue a tierra y así minimizar el riesgo de incendios, explosiones y daños a los equipos y a la estructura.

Una vez definidos los dispositivos, a partir de los cálculos realizados, se eligen los dispositivos que mantendrán protegidos a los diferentes componentes de la nave:

1. Interruptor General de Baja Tensión (IGBT). Este interruptor (1) será de 1000A y cubrirá los 909 A de la instalación de baja tensión total. Éste protegerá contra sobrecargas y cortocircuitos, además de contra sobretensiones y protección diferencial.



Figura 38. Interruptor automático general

2. Cuadros de Baja Tensión. En estos cuadros se incluyen la aparamenta especificada en el Centro de Transformación formada por:
 - Medidores (voltímetros, amperímetros y medidores de potencia).
 - SPDs o dispositivos de protección contra sobretensiones.
 - Relés de Protección (de sobrecorriente y diferenciales).



Figura 39. Cuadro general de baja tensión

3. Cuadros Secundarios. Adicionalmente al cuadro principal, se instalará un cuadro secundario para la protección de cada circuito, es decir, dos para maquinaria (se reparte en dos zonas), uno para iluminación y otro para climatización. Cada cuadro contendrá:

- Para Maquinaria: Interruptores Automáticos (magnetotérmicos) de 630 A.
- Para Iluminación: Interruptores Automáticos (magnetotérmicos) de 16 A.
- Para Climatización: Interruptores Automáticos (magnetotérmicos) de 250 A.
- Como protección extra, se añadirá protección diferencial, compuesta por interruptores diferenciales de 30 mA para tomas de corriente (y alumbrado auxiliar). Además, se añadirán dispositivos de protección contra sobretensiones.



Figura 40. Interruptores magnetotérmico y diferencial

4. Protecciones Generales. Formadas por:

- Pararrayos. Instalado en la nave.
- SPDs. Instalados en cuadro general y cuadros secundarios.

- Relés de Protección. Contra fallas de tierra y sobrecargas.



Figura 41. Relé de protección y SPD

Con esto, se tiene un diseño detallado y que cumple con las necesidades de protección y de distribución de la nave.

7.3.6 DERIVACIONES, EMPALMES Y TERMINALES

- Derivaciones: consisten en las uniones entre dos o más cables para que fluya a través de ellos la corriente eléctrica mediante empalmes.

Las derivaciones serán llevadas a cabo mediante conectores de derivación por compresión. Si hubiera que reconstituir el aislamiento, se hará con recubrimiento por medio de elementos retráctiles en frío o termoretráctiles.

- Empalmes. Se harán mediante manguitos con recubrimiento aislante, cuyo restablecimiento se realizará mediante manguitos termorretráctiles. Además, el sistema de punzonado consistirá en matrices con punzonado profundo escalonado.



Figura 42. Empalme termorretráctil

- Terminales. Serán bimetálicos tendrán punzonado profundo escalonado.



Figura 43. Terminal Bimetálico

Todo el montaje cumplirá las instrucciones y normas Endesa, BDZ004 Y NNZ014.

7.3.7 CONTINUIDAD Y PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO

El conductor neutro no podrá interrumpirse, a excepción de que la interrupción se lleve a cabo por medio de interruptores que actúen sobre el neutro y las fases. De ser así, el neutro podrá seccionarse, debiendo previamente, seccionar las fases. De igual manera, las fases no podrán ser conectadas si el neutro no lo ha sido antes.

El neutro correspondiente a la red de Baja Tensión será puesto a tierra en el origen de cada circuito, siendo en este caso, el centro de transformación. El conductor, atendiendo a la normativa Endesa, debe ponerse a tierra, como máximo, cada 200.

En el proyecto estudiado no será necesario esto último ya que no se alcanza dicha distancia en ninguno de los circuitos.

8 ALUMBRADO INTERIOR

8.1 INTRODUCCIÓN

Adicionalmente a los trabajos exteriores, se hace un estudio lumínico para el interior de la nave. Con este, se trata de hacer una correcta elección y distribución de las luminarias a instalar para un buen uso de la instalación interior.

Para ello, se ha recurrido al software DIALux. Con dicho programa y proporcionando las dimensiones del futuro espacio, se busca, según las características de las luminarias escogidas, la óptima ubicación de éstas, especificadas en el apartado [ANEXO A: PLANOS](#).

8.2 RED DE ALUMBRADO

La red de alumbrado será instalada sobre bandeja, tal como se indica en el apartado de Instalación de Fuerza. Los conductores saldrán del centro de transformación y pasarán previamente por las cajas generales de protección para después ir hasta las luminarias. Esta red estará compuesta por 3 circuitos, a los que también pertenecerán las debidas derivaciones. Como se comentó, la distribución de luminarias y circuitos alimentadores aparecen representado en [ANEXO A: PLANOS](#).

8.3 LUMINARIAS

Se instalarán dos tipos de luminarias:

- Philips - BY120P G3 1xLED105S/840 WB. Luminaria LED mejorada en cuanto a la reproducción del color y eficiencia. Proporciona calidad de luz fresca, larga vida útil de servicio y menores costes de energía y mantenimiento. Al ser de menor tamaño su conexión, manejo y mantenimiento es sencillo.



Figura 44. Philips - BY120P G3 1xLED105S/840 WB

- Philips - TPS680 2xTL5-49W HFP C8. Luminaria LED que ofrece un avance significativo en la actuación óptica. Presenta microóptica de aluminio con láminas 3-D que garantiza un óptimo confort visual y eficiencia. Permite la conexión de varias luminarias en línea y puede ser instalada suspendida, de superficie, entre otros.

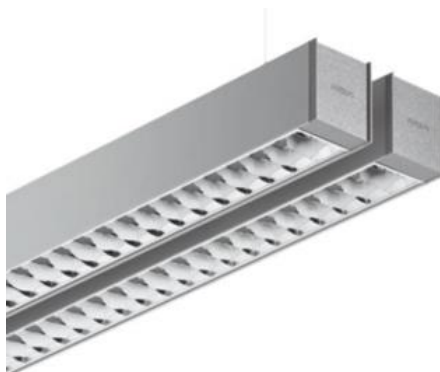


Figura 45. Philips - TPS680 2xTL5-49W HFP C8

A continuación, se presenta un resumen de las lámparas seleccionadas:

LISTADO DE LUMINARIAS POR ZONA			
ZONA	ALMACÉN	ZONA PRINCIPAL	ZONA DE OFICINAS
FABRICANTE	PHILIPS	PHILIPS	PHILIPS
CANTIDAD	16	14	30
Φ LUMINARIA (lm)	10496	10496	5276

Tabla 36. Listado de Luminarias

En el [ANEXO A: PLANOS](#) se especifica la instalación de fuerza que alimentará las luminarias proyectadas. Además, también se proporcionan las hojas de características de los modelos a instalar en [ANEXO A: PLANOS](#).

A continuación, se expone un plano de la nave general.

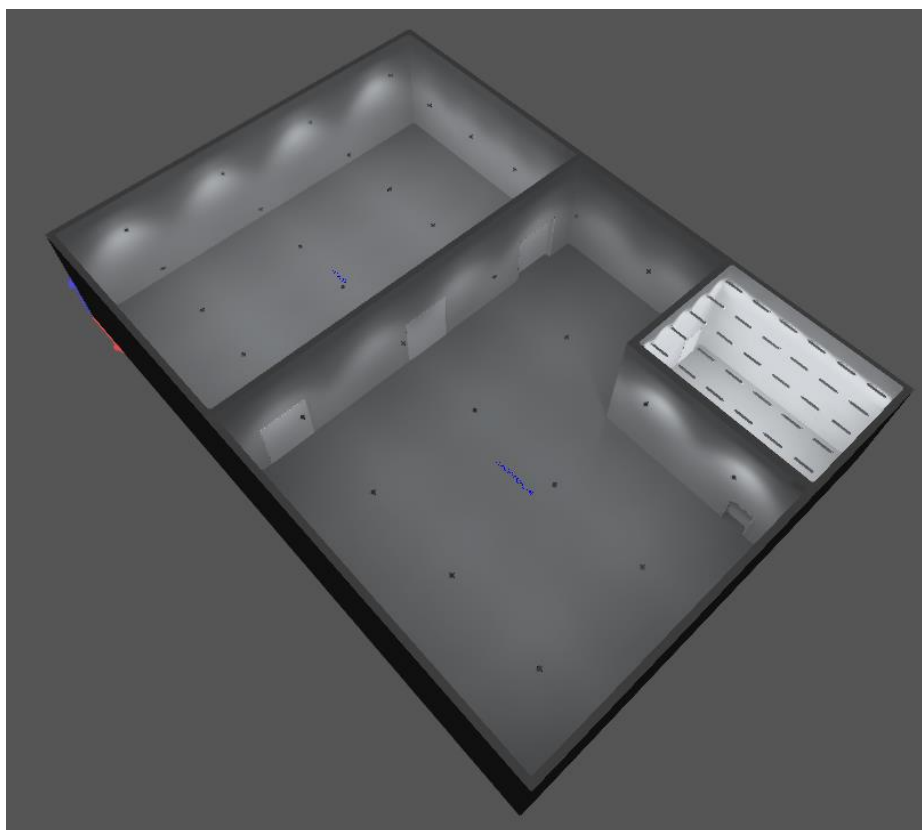


Figura 46. Ubicación de Luminarias

9 GESTIÓN DE RESIDUOS

9.1 NORMATIVA

El estudio se redacta en cumplimiento del artículo 4.1 a) del Real Decreto 105/2008, que establece las obligaciones del productor de residuos de construcción y demolición. La obra sujeta al estudio está regida por este decreto, ya que genera residuos de construcción y demolición definidos en el artículo 3 como sustancias u objetos que cumplen con la definición de residuo y se generan en obras de construcción o demolición.

No se aplica la excepción del artículo 3.1 del Real Decreto 105/2008, ya que los residuos generados en la obra no caen dentro de las categorías excluidas, como tierras y piedras no contaminadas reutilizadas, residuos de industrias extractivas regulados por otra directiva, o lodos de dragado no peligrosos reubicados en aguas superficiales derivados de actividades específicas reguladas por leyes y tratados internacionales.

9.2 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS

Se clasificarán los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en dos categorías:

- RCD Tipo I: Son los residuos que resultan de los excedentes de excavación durante las obras, incluyendo tierras y materiales pétreos no contaminados de excavaciones.
- RCD Tipo II: Estos residuos se generan principalmente en actividades de construcción, demolición, reparación domiciliaria e instalación de servicios. Son no peligrosos y no experimentan transformaciones significativas. Los residuos inertes de construcción y demolición, incluso de obras menores sujetas o no a licencia municipal, se incluyen en esta categoría. Solo se considerarán los residuos marcados en la Lista Europea de la Orden MAM/304/2002. Los materiales que no superen 1 m³ y no sean peligrosos, no se contarán en el cómputo general y no requerirán tratamiento especial.

RCDs Tipo I	
Código	Tierras y Péetros de la Excavación
17 05 04	Tierras y piedras distintas de las relacionadas con el código 17 05 03
17 05 06	Lodos de drenaje distintos a los relacionados con el código 17 05 06
17 05 08	Balasto de vías férreas distinto a los relacionados con el código 17 05 07

Tabla 37. RCDs Tipo I

RCDs Tipo II	
Código	Naturaleza No Pétreo
Asfalto	
17 03 02	Mezclas bituminosas distintas a las del código 17 03 01
Madera	
17 02 01	Madera
Metales	
17 04 01	Cobre, bronce, latón
17 04 02	Aluminio
17 04 03	Plomo
17 04 04	Zinc
17 04 05	Hierro y Acero
17 04 06	Estaño
17 04 07	Metales mezclados
17 04 11	Cables distintos a los relacionados con el código 17 04 10
Papel	
20 01 01	Papel
Plástico	
17 02 03	Plástico
Vidrio	

17 02 02	Vidrio
Yeso	
17 08 02	Materiales de construc. a partir de yeso distintos de los relacionados con código 17 08 01

Tabla 38. RCDs Tipo II de Naturaleza No Pétrea

RCDs Tipo II	
Código	Naturaleza Pétrea
Arena Grava y otros áridos	
01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintas a las del código 01 04 07
01 04 09	Residuos de arena y arcilla
Hormigón	
17 01 01	Hormigón
Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	
17 01 02	Ladrillos
17 01 03	Tejas y materiales cerámicos
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos distintos al código 17 01 06
Piedra	
17 09 04	RCDs mezclados distintos a los de los códigos 17 09 01, 02, 03

Tabla 39. RCDs Tipo II de Naturaleza Pétrea

RCDs Tipo II	
Código	Potencialmente peligrosos y otros
Basuras	
20 02 01	Residuos biodegradables
20 03 01	Mezclas de residuos municipales
Potencialmente peligrosos y otros	

17 01 06	Mezcla de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos con sustancias peligrosas (SP's)
17 02 04	Madera, vidrio o plástico con sustancias peligrosas o contaminadas por ellas
17 03 01	Mezclas bituminosas que contienen alquitran de hulla
17 03 03	Alquitrán de hulla y productos alquitranados
17 04 09	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
17 04 10	Cables que contienen hidrocarburos, alquitran de hulla y otras SP's
17 06 01	Materiales de aislamiento que contienen Amianto
17 06 03	Otros materiales de aislamiento que contienen sustancias peligrosas
17 06 05	Materiales de construcción que contienen Amianto
17 08 01	Materiales de construcción a partir de yeso contaminados con SP's
17 09 01	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
17 09 02	Residuos de construcción y demolición que contienen PCB's
17 09 03	Otros residuos de construcción y demolición que contienen SP's
17 06 04	Materiales de aislamientos distintos de los 17 06 01 y 03
17 05 03	Tierras y piedras que contienen SP's
17 05 05	Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas
17 05 07	Balastro de vías férreas que contienen sustancias peligrosas
15 02 02	Absorbentes contaminados (trapos, ...)
13 02 05	Aceites usados (minerales no clorados de motor, ...)
16 01 07	Filtros de aceite
20 01 21	Tubos fluorescentes
16 06 04	Pilas alcalinas y salinas
16 06 03	Pilas botón
15 01 10	Envases vacíos de metal o plástico contaminado
08 01 11	Sobrantes de pintura o barnices
14 06 03	Sobrantes de disolventes no halogenados

07 07 01	Sobrantes de desencofrantes
15 01 11	Aerosoles vacíos
16 06 01	Baterías de plomo
13 07 03	Hidrocarburos con agua
17 09 04	RDCs mezclados distintos códigos 17 09 01, 02 y 03

Tabla 40. RCDs Tipo II Potencialmente peligrosos y otros

9.3 CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS

RCDs Tipo I		
Descripción	Cantidad	Unidad
Tierras y Pétreos de la excavación		
Tierras y pétreos procedentes de la excavación	3.449,16	m3

Tabla 41. Cantidad RCDs Tipo I

RCDs Tipo II		
Descripción	Cantidad	Unidad
Naturaleza No Pétreo		
Asfalto	1.200	m3
Madera	0	m3
Metales	0	m3
Papel	0	m3
Plástico	0	m3
Vidrio	0	m3
Escayola	0	m3
TOTAL	1.200	m3

Tabla 42. Cantidad RCDs Tipo II de Naturaleza No Pétreo

RCDs Tipo II		
Descripción	Cantidad	Unidad
Naturaleza Pétreo		
Arena Grava y otros áridos	0	m ³
Hormigón	135	m ³
Ladrillos, azulejos y otros cerámicos	180	m ³
Piedra	0	m ³
TOTAL	315	m³

Tabla 43. Cantidad RCDs Tipo II de Naturaleza Pétreo

RCDs Tipo II		
Descripción	Cantidad	Unidad
Potencialmente peligrosos y otros		
Basuras	0	m ³
Potencialmente peligrosos y otros	0	m ³
TOTAL	0	m³

Tabla 44. Cantidad RCDs Tipo II Potencialmente peligrosos y otros

Finalmente, tras el estudio realizado teniendo en cuenta los trabajos a realizar, se recogen un total de **4.964,16 m³** de residuos generados.

9.4 MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN DE RESIDUOS EN LA OBRA

- Todos los agentes intervinientes en la obra deberán conocer sus obligaciones en relación con los residuos y cumplir las órdenes y normas dictadas por la Dirección Técnica.
- Se deberá optimizar la cantidad de materiales necesarios para la ejecución de la obra. Un exceso de materiales es origen de más residuos sobrantes de ejecución.
- Se preverá el acopio de materiales fuera de zonas de tránsito de la obra, de forma que permanezcan bien embalados y protegidos hasta el momento de su utilización, con el fin de evitar

la rotura y sus consiguientes residuos.

- Si se realiza la clasificación de los residuos, habrá que disponer de los contenedores más adecuados para cada tipo de material sobrante. La separación selectiva se deberá llevar a cabo en el momento en que se originan los residuos. Si se mezclan, la separación posterior incrementa los costes de gestión.
- Los contenedores, sacos, depósitos y demás recipientes de almacenaje y transporte de los diversos residuos deberán estar debidamente etiquetados.
- Se dispondrá en obra de maquinaria para el machaqueo de residuos pétreos, con el fin de fabricar áridos reciclados.
- Se impedirá que los residuos líquidos y orgánicos se mezclen fácilmente con otros y los contaminen. Los residuos se deben depositar en los contenedores, sacos o depósitos adecuados.

10 SEGURIDAD Y SALUD

10.1 INTRODUCCIÓN

El Estudio Básico de Seguridad y Salud se elabora en conformidad con el Real Decreto 1627/1997, incluyendo medidas preventivas mínimas necesarias para llevar a cabo las obras e instalaciones destinadas a adaptar el lugar a los equipos descritos en el Proyecto de un centro de transformación, una línea de enlace a 20 kV y una red de baja tensión.

10.2 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Identificaremos los riesgos correspondientes a las distintas tareas requeridas, considerando los diferentes oficios involucrados y los recursos disponibles para la producción.

Posibles Riesgos según Tareas			
Riesgo de Accidente	Sobreesfuerzos	Evacuación por Incendio	Estrés Térmico
Caída de personas a distinto nivel	Contactos Térmicos	Medios de Lucha	Factores Ergonómicos
Caída de personas al mismo nivel	Contactos Eléctricos Directos	Riesgo de Enfermedad	Carga Física. Posición y Desplazamiento
Caída de objetos por manipulación	Contactos Eléctricos Indirectos	Ruido	Carga Física. Esfuerzo y Manejo de Cargas
Choques contra objetos inmóviles	Inicio de Incendio	Vibraciones	Carga Mental
Golpes/Cortes por herramientas	Propagación de Incendio	Iluminación	Insatisfacción

Tabla 45. Posibles Riesgos

10.3 RIESGOS EVITABLES Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Es posible evitar todos los riesgos mencionados anteriormente mediante la implementación de las siguientes medidas preventivas, detalladas a continuación para cada caso específico.

10.3.1 MEDIDAS Y NORMAS PREVENTIVAS A REALIZAR PARA ANULAR LOS RIESGOS DE CAÍDAS DE LAS PERSONAS A DISTINTO NIVEL

Se establecen las siguientes medidas de seguridad:

1. Protección de aberturas en pisos con barandillas de altura mínima de 0.90 m y plintos de 15 cm de altura.
2. Protección de aberturas en paredes a menos de 90 cm sobre el piso y con peligro de caída de más de dos metros mediante barandillas, rejas u otros resguardos capaces de resistir una carga mínima de 150 kg por metro lineal.
3. Protección completa con barandillas y plintos de plataformas de trabajo que ofrezcan peligro de caída desde más de dos metros.
4. Barandillas y plintos resistentes de materiales rígidos, con altura mínima de 90 cm desde el piso y separación protegida por barra horizontal o barrotes verticales con separación máxima de 15 cm, capaces de resistir una carga de 150 kg por metro lineal. Los plintos tendrán una altura mínima de 15 cm sobre el nivel del piso.
5. Pisos y pasillos antideslizantes, libres de obstáculos y con sistema de drenaje para eliminar productos resbaladizos.
6. Uso obligatorio de Equipos de Protección Individual contra Caídas de Altura certificados cuando se esté expuesto a riesgos a más de 2 m de altura.
7. Adopción de medidas preventivas correspondientes al uso de escaleras fijas y de servicio, escalas, escaleras portátiles o móviles, así como de andamios (borriquetas, colgados, tubulares o metálicos sobre ruedas).
8. Iluminación adecuada en el puesto de trabajo según la operación realizada.

10.3.2 MEDIDAS Y NORMAS PREVENTIVAS A REALIZAR PARA ANULAR LOS RIESGOS DE CORTES Y GOLPES

Se establecen las siguientes pautas de seguridad:

1. Protección adecuada de lugares donde los trabajadores circulen o permanezcan, con una altura mínima de 1.80 m si hay instalaciones a esa altura o superior que puedan representar un peligro. Se prohíbe la circulación en lugares con peligro a menor altura, o se deben disponer pasos superiores seguros.
2. Verificación de una iluminación adecuada en áreas de trabajo y tránsito.
3. Aseguramiento de que las herramientas manuales cumplan con requisitos específicos, como construcción con materiales resistentes, adecuación al tamaño y operación, ausencia de defectos o desgastes, uniones firmes, mangos seguros y aislantes si es necesario, mantenimiento regular, almacenamiento adecuado, uso de protectores, y utilización de Equipos de Protección Individual certificados, como guantes y calzado.

10.3.3 MEDIDAS Y NORMAS PREVENTIVAS A REALIZAR PARA ANULAR LOS RIESGOS DE SOBRESFUERZOS

Se establecen las siguientes directrices para la manipulación de cargas:

1. Se prefieren equipos mecánicos para la manipulación de cargas siempre que sea posible, incluyendo carretillas automáticas, puentes-grúa y otros mecanismos como carretillas manuales, transportadores, aparejos para izado, cadenas, cables, cuerdas y poleas, asegurando el cumplimiento de los requisitos de seguridad correspondientes.
2. En caso de manipulación manual, se deben seguir normas específicas para evitar el sobreesfuerzo, como el uso de cinturones de protección abdominal y las siguientes pautas:
 - Mantener los pies separados y firmemente apoyados.
 - Doblar las rodillas para levantar la carga desde el suelo y mantener la espalda recta.
 - No levantar la carga por encima de la cintura de una vez.
 - Evitar girar el cuerpo mientras se transporta la carga.
 - Mantener la carga cerca del cuerpo y los brazos lo más tensos posible.
 - Solicitar ayuda a un compañero si la carga es excesiva.
 - Se pueden utilizar medidas complementarias como cinturones de protección, fajas o muñequeras.

10.3.4 MEDIDAS Y NORMAS A REALIZAR PARA EVITAR RIESGOS POR CONTACTOS ELÉCTRICOS DIRECTOS

Se establecen las siguientes medidas de seguridad eléctrica:

1. Mantener cerrados todos los cuadros eléctricos en todo momento.
2. Asegurar el aislamiento eléctrico de todos los cables activos.
3. Proteger y aislar los empalmes y conexiones.
4. Conectar las máquinas únicamente mediante bornas de empalme adecuadas.
5. Mantener tapadas todas las cajas de registro en funcionamiento.
6. Asegurar que todas las bases de enchufes estén firmemente sujetas, limpias y sin partes activas accesibles.
7. Asegurar que todas las clavijas de conexión estén bien sujetas a la manguera correspondiente y sin partes activas accesibles cuando estén conectadas.
8. Garantizar que todas las líneas de entrada y salida de los cuadros eléctricos estén adecuadamente sujetas y aisladas.
9. Manipular la instalación eléctrica, como cambiar fusibles o lámparas, únicamente con la

instalación desconectada.

10. Reservar las operaciones de mantenimiento, manipulación y reparación para personal especializado.
11. Emplear Equipos de Protección Individual y herramientas adecuadas en todo momento durante trabajos e instalaciones eléctricas.

10.3.5 MEDIDAS Y NORMAS A REALIZAR PARA ANULAR LOS RIESGOS DE CONTACTOS ELÉCTRICOS INDIRECTOS

Se establecen las siguientes normas de seguridad eléctrica:

1. Se evitarán humedades significativas cerca de las instalaciones eléctricas.
2. Las tensiones de seguridad no superarán los 50 V en locales secos y los 24 V en locales húmedos.
3. Todas las masas susceptibles de volverse peligrosas por avería o defecto estarán conectadas a tierra.
4. La puesta a tierra se revisará al menos anualmente para asegurar su continuidad.
5. Los cuadros metálicos que contengan equipos eléctricos estarán adecuadamente conectados a tierra.
6. La conexión a tierra se garantizará en máquinas y equipos eléctricos equipados con ella.
7. Se conservará siempre el doble aislamiento en máquinas y equipos eléctricos que lo posean.
8. Las bases de enchufe de potencia tendrán toma de tierra incorporada.
9. Todos los receptores portátiles protegidos por puesta a tierra contarán con clavija de enchufe con toma de tierra.
10. Todas las instalaciones eléctricas estarán equipadas con protección diferencial adecuada.
11. Se verificará periódicamente el correcto funcionamiento de la protección diferencial, pulsando el botón de prueba al menos una vez al mes.

10.3.6 MEDIDAS Y NORMAS A REALIZAR PARA ANULAR LOS RIESGOS DE INCENDIOS

Se establecen las siguientes medidas de seguridad:

Factores de Inicio:

1. Almacenar productos según las indicaciones del fabricante, separando los inflamables, con ventilación adecuada y evitando almacenar productos incompatibles juntos.
2. Alejar productos inflamables de fuentes de calor.

3. Instalar cargadores de baterías en locales ventilados y separados de los almacenes.
4. Conectar a tierra recipientes de líquidos inflamables durante trasvases y estanterías de almacenamiento, entre otros.
5. Proteger con pararrayos zonas con explosivos o líquidos inflamables.
6. Prohibir fumar en locales con productos inflamables.
7. Usar instalación eléctrica antideflagrante en almacenes de explosivos o inflamables.
8. Realizar soldaduras siguiendo estrictas medidas de seguridad.

Propagación:

1. Compartimentar locales con riesgo de incendio o materiales combustibles.
2. Compartimentar patinillos de instalaciones horizontal y verticalmente.
3. Separar almacenamientos en estibas con pasillos.
4. Instalar cortinas de agua o rociadores en lugares donde no sea posible una barrera física.

Evacuación:

1. Sectorizar caminos de evacuación respecto a instalaciones peligrosas.
2. Dotar puertas de evacuación con apertura fácil y en sentido natural de evacuación, asegurando su anchura adecuada.
3. Instalar iluminación de emergencia y señalización en caminos de evacuación.
4. Señalizar vías de evacuación, tanto normales como de emergencia.

10.4 RIESGOS NO EVITABLES Y MEDIDAS PARA ATENUARLOS

Los riesgos normales asociados a la ejecución habitual de los trabajos en las obras e instalaciones del proyecto están detallados en el apartado anterior. Los accidentes que puedan ocurrir suelen deberse a negligencias preventivas, profesionales o personales, y pueden no estar cubiertos por las medidas preventivas propuestas anteriormente.

Sin embargo, hay otros riesgos laborales específicos relacionados con las tareas particulares del proyecto que también pueden causar accidentes laborales, como los accidentes "in-itinere" y los relacionados con la circulación de materiales y personas dentro del centro de trabajo. Para abordar estos riesgos, se deben revisar los medios de transporte utilizados y, si es necesario, emplear rutas alternativas más seguras.

Es importante tener en cuenta que, aunque la implementación completa de medidas preventivas no garantiza la eliminación total de los accidentes laborales, sí ayuda a reducir tanto la gravedad de las lesiones personales como los costos asociados a los daños a los medios de producción.

10.5 MEDIDAS PREVENTIVAS MÍNIMAS

10.5.1 APLICACIÓN A LA ACTIVIDAD DE LA LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

1. Mantener una ocupación de personal en la vigilancia y ejecución del diverso articulado que la misma indica, mediante el nombramiento de Delegados de Prevención según el siguiente baremo en base a la plantilla de las mismas, para aquellas empresas con menos de 100 trabajadores:

PLANTILLA DE LA EMPRESA	DELEGADOS DE PREVENCIÓN	CRÉDITO DE HORAS MENSUALES PARA ESTE COMETIDO
De 1 a 5	El propio empresario	Cuando realiza tal función en la empresa
De 6 a 30	1	El mismo delegado de personal
De 31 a 49	1	15 horas
De 50 a 100	2	15 horas cada uno

Tabla 46. Distribución de personal preventivo según nº de empleados

2. Contar con un servicio de prevención interno o externo adecuado para brindar a la empresa el asesoramiento y respaldo necesarios, adaptados a los distintos tipos de riesgos presentes en la organización.
3. Es esencial contar con un Plan de Prevención actualizado y constantemente revisado. Este plan debe detallar los riesgos laborales asociados a cada tarea y proceso llevado a cabo por la empresa, así como las medidas preventivas ya implementadas para reducir o eliminar dichos riesgos. Además, debe incluir aquellos riesgos que aún no se han abordado, junto con las fechas previstas para su implementación. Todo el plan debe cumplir con la normativa específica establecida por la Ley de Prevención de Riesgos Laborales aplicable a la actividad de la empresa.
4. Es importante mantener a los trabajadores informados y capacitados en la prevención de los riesgos que les conciernen.
5. Brindar atención de primeros auxilios, desarrollar planes de emergencia y realizar evaluaciones periódicas de la salud de los trabajadores, adaptados a los riesgos asociados con las tareas que desempeñan.

10.5.2 APLICACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LAS DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL CENTRO DE TRABAJO. R.D.486/97.

A. CONSTRUCTIVAS

1. Se garantizará la seguridad de los trabajadores contra caídas, resbalones, choques o golpes contra objetos, así como frente a posibles derrumbamientos. Además, se facilitará el control de situaciones de emergencia.
2. Se evitará la sobrecarga de la estructura de los edificios. El acceso a las cubiertas se realizará únicamente con equipos que garanticen la resistencia necesaria para proteger la integridad del trabajador.
3. Los centros de trabajo se diseñarán con dimensiones que permitan realizar las actividades en condiciones óptimas de seguridad, salud y ergonomía. Estas dimensiones incluirán una altura libre de 3 metros (o 2.5 metros en comercios, oficinas y despachos), una superficie mínima de 2 metros cuadrados por trabajador, y un espacio no ocupado de 10 metros cúbicos por trabajador.
4. Se mantendrá una separación adecuada entre elementos fijos y móviles en el lugar de trabajo para garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores.

Aquellas áreas de trabajo con riesgos de caída de objetos o exposición a elementos agresivos deben protegerse y estar restringidas para trabajadores no autorizados, con señalización adecuada.

5. Se garantizará que los suelos, aberturas y vanos no representen ningún peligro para los trabajadores. Las vías de circulación en los centros de trabajo serán diseñadas para ser fáciles y seguras de usar tanto para peatones como para vehículos.
6. Las puertas exteriores tendrán una anchura mínima de 0.80 metros, los pasillos de 1 metro y las vías que permitan la circulación de vehículos y peatones deberán permitir el paso simultáneo con suficiente separación de seguridad.
7. Las escaleras tendrán una anchura mínima de 1 metro, excepto las de servicio que serán de 0.55 metros. Todos los peldaños de las escaleras tendrán las mismas dimensiones, con huella entre 23 y 36 centímetros y tabica entre 13 y 20 centímetros. Se seguirán las normas de seguridad correspondientes al uso de escaleras y escalas de mano.
8. Las vías y salidas de evacuación estarán despejadas de obstáculos y serán adecuadas para el número de personas que las utilizan. Las puertas de emergencia abrirán hacia el exterior, serán de apertura rápida y estarán señalizadas e iluminadas adecuadamente para la seguridad.
9. Se cumplirá con la normativa de la CPI-96, incluyendo detección, alarma y extinción de incendios. La instalación eléctrica se diseñará para evitar riesgos de incendio o explosión, y se proveerá a los trabajadores de protección contra contactos eléctricos directos e indirectos.

10. Se adaptarán los recorridos para que puedan ser utilizados por trabajadores con discapacidad, cumpliendo con las normativas correspondientes.

B. ORDEN, LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO

Se realizará limpieza regular en las áreas de trabajo y servicios, así como en sus equipos e instalaciones, para eliminar residuos, manchas de grasa y sustancias peligrosas que puedan contaminar el entorno laboral. Estas tareas de limpieza se llevarán a cabo con precauciones adecuadas para evitar riesgos. Además, las instalaciones deberán recibir mantenimiento periódico para asegurar su correcto funcionamiento.

C. CONDICIONES AMBIENTALES

1. Se garantizará que las condiciones ambientales en el lugar de trabajo no representen riesgos para la seguridad, la salud o el bienestar de los trabajadores.
2. En espacios cerrados de trabajo sedentario, las temperaturas oscilarán entre 17°C y 27°C, y entre 14°C y 25°C para trabajos ligeros, con una humedad del 30% al 70%, salvo en casos de riesgo de electricidad estática, donde se limitará al 50%.
3. Las corrientes de aire tendrán velocidades específicas según el tipo de trabajo y ambiente, variando entre 0,25 m/s para trabajos en ambientes no calurosos, hasta 0,75 m/s para trabajos no sedentarios en ambientes calurosos.
4. Se garantizará una renovación de aire mínima de 30 m³ por hora y trabajador en los locales, aumentando a 50 m³ en espacios con humos u olores, adaptándose a las condiciones climáticas locales.

D. ILUMINACIÓN DE LUGARES DE TRABAJO

1. Se adecuará la iluminación de los lugares de trabajo a sus características, considerando los riesgos de accidente y las demandas visuales de las tareas. Se priorizará la iluminación natural, complementada con iluminación artificial general o puntual solo en caso necesario.
2. Los niveles mínimos de iluminación serán los siguientes:
 - Baja necesidad visual: 100 lux
 - Moderada necesidad visual: 200 lux
 - Alta necesidad visual: 500 lux
 - Muy alta necesidad visual: 1.000 lux

Para áreas de uso ocasional y vías de circulación de uso ocasional, se requerirán 50 lux y 25 lux respectivamente. En caso de riesgos de accidentes, estos valores se incrementarán según sea necesario.

3. Se instalará alumbrado de emergencia conforme a la normativa específica para las actividades realizadas.

E. SERVICIOS HIGIÉNICOS Y LOCALES DE DESCANSO

1. Se proporcionará agua potable en vestuarios equipados con colgadores de ropa, taquillas,

asientos, lavabos con jabón, toallas, espejos y duchas con agua caliente y fría.

2. Habrá retretes con lavabos, descarga automática de agua y papel higiénico. Para las mujeres, se instalarán recipientes especiales y cerrados. Estarán diseñados para un uso cómodo, con fácil acceso y contruidos con materiales de fácil limpieza.
3. Se dispondrán locales de descanso adecuados al número de trabajadores, separando las áreas para fumadores cuando sea necesario. Los dormitorios ofrecerán condiciones adecuadas para el descanso.
4. Para trabajos al aire libre, se contará con locales de descanso de fácil acceso, y en caso de que no sea posible regresar a casa diariamente, se dispondrá de comedores y dormitorios cercanos.

F. MATERIAL Y LOCALES DE PRIMEROS AUXILIOS

1. Todos los centros de trabajo deben tener material de primeros auxilios adecuado según las labores, el número de trabajadores y los riesgos presentes, considerando la cercanía de servicios médicos.
2. Debe haber al menos un botiquín portátil con suministros básicos como desinfectantes, gasas, vendas, tijeras y guantes, y debe ser reabastecido regularmente.
3. Los centros de trabajo con más de 50 empleados (o 25 dependiendo de la peligrosidad) deben contar con un área designada para primeros auxilios, equipada con un botiquín, una camilla y agua potable. Los Servicios de Prevención de la empresa deben aplicar medidas preventivas según las características laborales, con asesoramiento de las Mutuas de Accidentes de Trabajo y los Servicios de Prevención.

11 PRESUPUESTO

A continuación, se hace un resumen del presupuesto de los trabajos y actuaciones que el proyecto conlleva, no incluyéndose en éste, los costes de construcción de la subestación. Además se incluyen los costes por servicios afectados, los relacionados con la correcta recogida de los residuos generados y la seguridad del personal realizador de los trabajos. Estos son:

- Servicios afectados:
 - Cables Eléctricos y de Telecomunicación
 - Canalizaciones de Agua y Gas
 - Calles y Carreteras
 - Alcantarillado
- Centro de Transformación:
 - Obra Civil
 - Instalación Eléctrica
- Canalizaciones de Media y Baja Tensión:
 - Demolición de Pavimento y Acerado
 - Excavación de Zanjas
 - Base de Hormigón para Protección
 - Tubos de PE
 - Relleno de Zanjas
 - Reposición de Pavimento y Acerado
 - Bandas Señalizadoras
 - Arquetas A1 y A2
 - Bandejas 60x100 mm
- Línea de Media Tensión y Red de Baja Tensión:
 - Suministro y Tendido del Conductor
 - Empalmes (si necesarios) y Ensayos
- Alumbrado Interior:
 - Suministro e Instalación de Luminarias
- Gestión de Residuos:
 - Retirada y Depósito de Residuos
- Seguridad y Salud

Clasificados según un ID, se expone el coste de cada una de las actuaciones que forman este proyecto y se añaden los correspondientes impuestos para llegar al presupuesto total. Estos son los siguientes:

ID	ACTIVIDAD	TOTAL
01	SERVICIOS AFECTADOS	31.500€
02	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	86.327,00€
03	CANALIZACIÓN MEDIA TENSIÓN	383.072,86€
04	CANALIZACIÓN BAJA TENSIÓN	125.537,13€
05	LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN	290.758,25€
06	RED DE BAJA TENSIÓN	68.485,83€
07	ALUMBRADO INTERIOR	17.000,00€
08	GESTIÓN DE RESIDUOS	23.528,77€
09	SEGURIDAD Y SALUD	12.717,49€
TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL		1.038.927,33€

Tabla 47. Presupuesto de ejecución material

TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL	1.038.927,33€
13% GASTOS GENERALES	135.060,55€
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	62.335,64€
VALOR ESTIMADO DEL PROYECTO	1.236.323,52€
21% IVA	259.627,94€
PRESUPUESTO TOTAL	1.495.951,46€

Tabla 48. Presupuesto total necesario para la ejecución del proyecto

El presupuesto proyectado asciende a:

Un millón cuatrocientos noventa y cinco mil, novecientos cincuenta y un euros con cuarenta y seis céntimos (CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN NO INCLUIDA, pero estimada entre 1,5-3 millones de euros).

12 CONCLUSIÓN

Para concluir, el proyecto redactado tenía por objetivo, la definición de todas las actuaciones a realizar para la construcción de una instalación eléctrica de media y baja tensión, partiendo del trafo y embarrado de la subestación de origen, también diseñada y detallada, todo según normativa actual y vigente, y con esta, alimentar una nave industrial con ubicación en el puerto de Cádiz. La motivación del alumno era demostrar el conocimiento adquirido y exponerlo con algo habitual en el ámbito eléctrico en el mundo de la ingeniería, como una instalación de media y baja tensión y a partir de la alta tensión de la subestación, abarcando así, todos los niveles de ésta.

Se añaden cálculos explicativos, con los que se busca justificar la correcta elección de los conductores a emplear, teniendo en cuenta diversos factores como la agrupación de estos o el terreno en el que se instalarán, así como los cálculos pertinentes para el correcto diseño de la subestación. Además, en este trabajo se ha buscado incluir de manera clara todos los pasos a seguir, a partir de observaciones y aclaraciones técnicas, para que dicha instalación se ejecutara correctamente y con la menor repercusión en el ámbito cotidiano de los medios a los que pudiera afectar.

De igual manera, se incluyen todas las medidas de prevención a tener en cuenta para minimizar e incluso eliminar todos los riesgos que dichos trabajos pudieran conllevar, así como una amplia descripción y catalogación de todo el exceso de material y residuos que pudieran generarse al llevarse a cabo el proceso de obra.

Se hace un breve resumen del presupuesto al que estaría sujeta la realización de la obra proyectada, donde se concreta de manera concisa cada componente de cada capítulo presupuestado.

Finalmente, se estima que el plazo de ejecución de un proyecto de esta naturaleza será de ocho meses. En este periodo de tiempo se llevarán a cabo todos los trabajos descritos, construcción de la subestación, canalizaciones de media y baja tensión, así como los tendidos de las líneas de estas, además de la instalación del centro de transformación y la iluminación.

ANEXO A: PLANOS

Plano 1. Centro de Transformación. Dimensiones y Excavación

Plano 2. Centro de Transformación. Diagrama Unifilar

Plano 3. Centro de Transformación. Puesta a Tierra

Plano 4. Línea de Media Tensión. Trazado Final

Plano 5. Línea de Media Tensión. Detalle Trazado Tramo I

Plano 6. Línea de Media Tensión. Detalle Trazado Tramo II

Plano 7. Línea de Media Tensión. Detalle Trazado Tramo III

Plano 8. Línea de Media Tensión. Detalle Trazado Tramo IV

Plano 9. Cable de Media Tensión. Ficha Técnica

Plano 10. Cable de Baja Tensión. Ficha Técnica

Plano 11. Red de Baja Tensión. Diagrama Unifilar

Plano 12. Alumbrado Interior. Ubicación y Escena de Luz de Luminarias en Nave 3-D y 2-D

Plano 13. Alumbrado Interior. Ubicación y Escena de Luz de Luminarias en Almacén 2-D

Plano 14. Alumbrado Interior. Ubicación y Escena de Luz de Luminarias en Zona Principal 2-D

Plano 15. Alumbrado Interior. Ubicación y Escena de Luz de Luminarias en Zona de Oficinas 2-D

Plano 16. Red de Baja Tensión. Luminarias

Plano 17. Red de Baja Tensión. Maquinaria

Plano 18. Alumbrado Interior. Hoja de características I

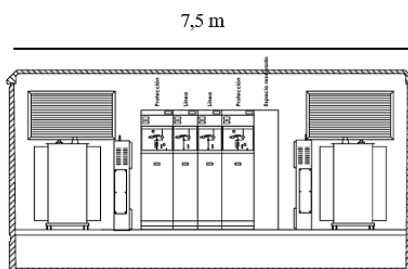
Plano 19. Alumbrado Interior. Hoja de características II

Plano 20. Subestación Eléctrica 66/20 kV. Unifilar

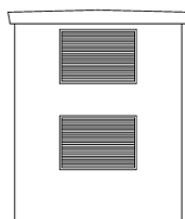
Plano 21. Subestación Eléctrica 66/20 kV. Planta General Red de Tierra

Plano 22. Subestación Eléctrica 66/20 kV. Planta General Eléctrica

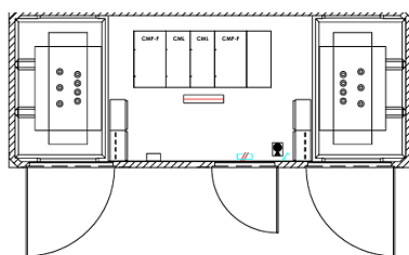
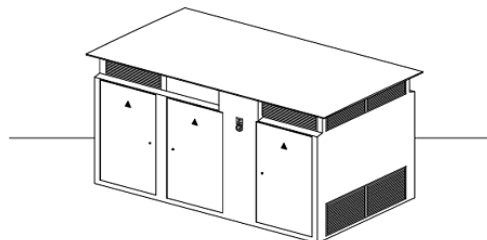
Plano 23. Subestación Eléctrica 66/20 kV. Alzado Eléctrico



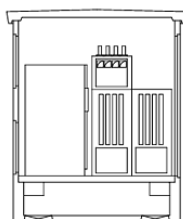
SECCION



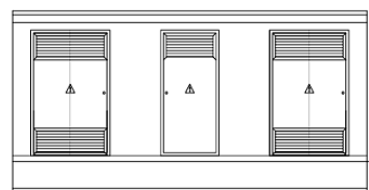
PERFIL DCHO E IZQ.



PLANTA

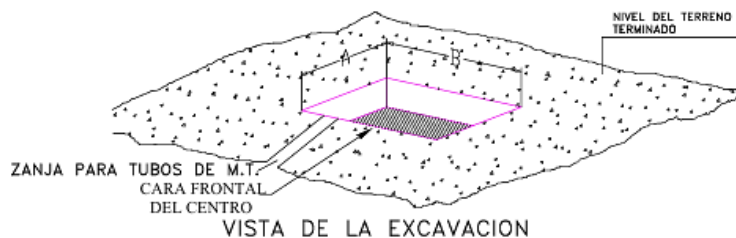


SECCION LATERAL



ALZADO FRONTAL

3,5 m



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

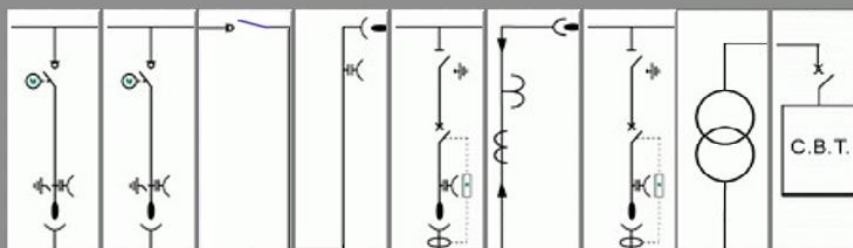
Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

**CENTRO DE TRANSFORMACIÓN. DIMENSIONES Y
EXCAVACIÓN**

1

Edificio de Transformación: Acondicionamiento de local



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

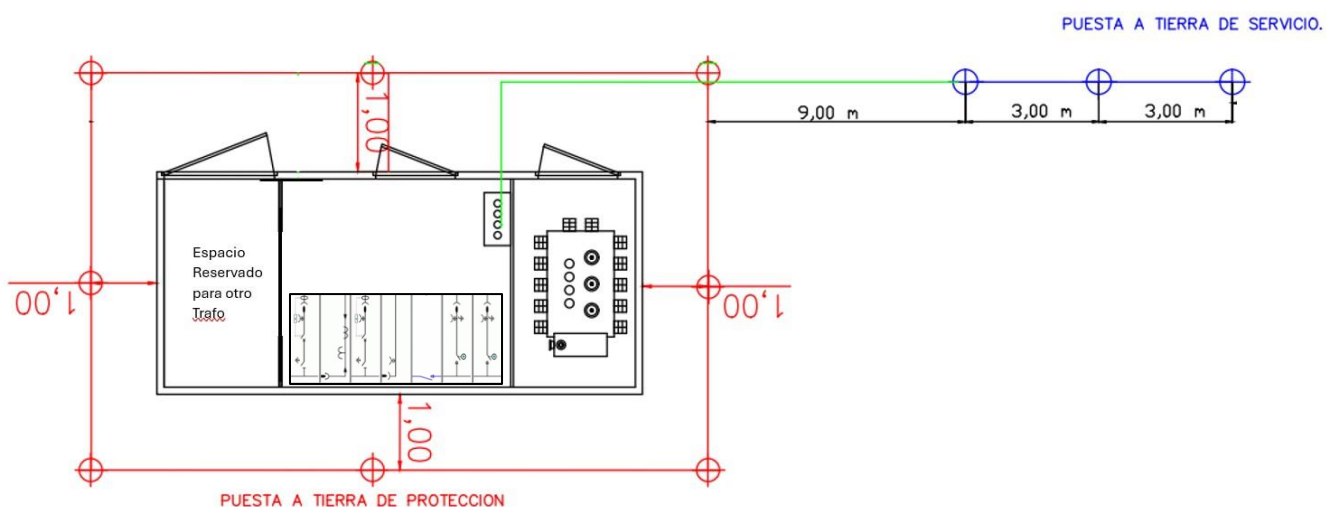
NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN. DIAGRAMA UNIFILAR

2



LEYENDA:

PAT de Protección: Conductor Desnudo 50 mm²

PAT de Servicio: Conductor Aislado 50 mm²

Pica Acero Cobrizado: Diámetro 14 mm y Longitud 2 m



PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ PRADAS

FECHA: 2024

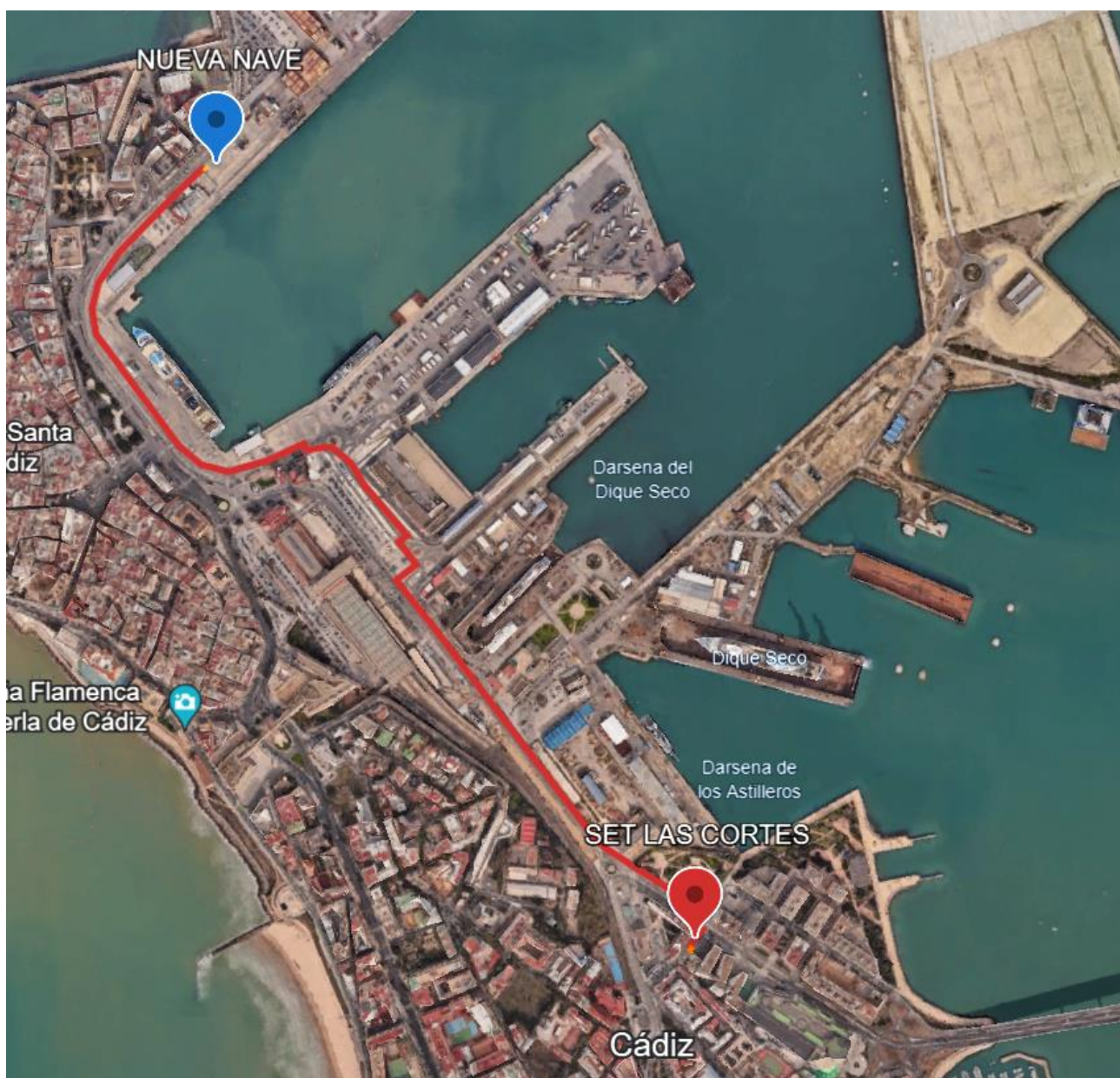
NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN. PUESTA A TIERRA

3



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN. TRAZADO FINAL

4



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN. DETALLE TRAZADO TRAMO I

5



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN. DETALLE TRAZADO TRAMO II

Nº PLANO:

6

ESCALA: 1/X



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN. DETALLE TRAZADO TRAMO III

Nº PLANO:

7

ESCALA: 1/X



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN. DETALLE TRAZADO TRAMO IV

Nº PLANO:

8

ESCALA: 1/X

Media tensión

AL VOLTALENE H COMPACT - AL RH5Z1-OL (normalizado por Endesa)

Tensión asignada: 12/20 kV, 18/30 kV
Norma diseño: UNE 211620; GSC001; DND001
Designación genérica: AL RH5Z1-OL



Nº DoP 1003885



DESCÁRGATE la DoP
(certificación de prestaciones)
<https://es.prysmiangroup.com/dop>



Baja emisión de gases
UNE EN 60754-1
IEC 60754-1



Baja densidad de humos
UNE EN 60754-2
IEC 60754-2



Baja acidez
UNE EN 60754-2
IEC 60754-2



Baja corrosión
UNE EN 60754-2
IEC 60754-2



Resistencia a la absorción de agua



Resistencia al frío



Resistencia a altas temperaturas



Resistencia a la abrasión

- Temperatura de servicio: -25 °C, +90 °C (cable termoestable).
 - Ensayo de tensión alterna durante 5 min. (tensión conductor-pantalla): 42 kV (cables 12/20 kV) y 63 kV (cables 18/30 kV).
- Los cables satisfacen los ensayos establecidos en la norma IEC 60502-2.

Reacción al fuego

Prestaciones frente al fuego en la Unión Europea:

- Clase de reacción al fuego (CPR): F₀.
- Requerimientos de fuego: EN 50575:2014 + A1:2016.
- Clasificación respecto al fuego: EN 13501-6.
- Aplicación de los resultados: CLC/TS 50576.

Normativa de fuego también aplicable a países que no pertenecen a la Unión Europea:

- Libre de halógenos:
UNE EN 60754-1; IEC 60754-1
- Baja emisión de gases tóxicos:
UNE EN 60754-2; IEC 60754-2
- Baja opacidad de humos:
UNE EN 61034-2; IEC 61034-2
- Baja emisión de gases corrosivos:
UNE EN 60754-2; IEC 60754-2; NFC 20453

Prysmian

AENOR
Prysmian Group

Media tensión

AL VOLTALENE H COMPACT - AL RH5Z1-OL (normalizado por Endesa)

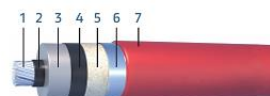
Tensión asignada: 12/20 kV, 18/30 kV
Norma diseño: UNE 211620; GSC001; DND001
Designación genérica: AL RH5Z1-OL



- ✓ Cumplimiento del Reglamento de Líneas de Alta Tensión (MUY IMPORTANTE). La norma de diseño del cable (UNE 211620) figura en la ITC-LAT 02 que recoge las normas de obligado cumplimiento. Ver artículo 8 del RLAT.
- ✓ Capa semiconductor externa pelable en frío. Mayor facilidad de instalación de terminales, empalmes o conectores separables. Instalación más segura al ejecutarse más fácilmente con corrección.
- ✓ Triple extrusión. Capa semiconductor interna, aislamiento y capa semiconductor externa se extruyen en un solo proceso. Mayor garantía al evitarse deterioros y suciedad en las interfaces de las capas.
- ✓ Aislamiento reticulado en catenaria. Mejor reticulación de las cadenas poliméricas. Mayor vida útil.
- ✓ Cubierta mejorada. Mayor resistencia a la absorción de agua, al rozamiento y abrasión, a los golpes, al desgarro, mayor facilidad de instalación en tramos tubulares, mayor seguridad de montaje. Resistencia a los rayos UVa.
- ✓ Garantía única para el sistema. Posibilidad de instalación con accesorios Prysmian (terminales, empalmes, conectores separables).
- ✓ Normalizado por Endesa
- ✓ Certificado por Aenor

Construcción

- Conductor
Metal: cuerda redonda compacta de hilos de aluminio.
Flexibilidad: clase 2 según UNE-EN 60228
Temperatura máxima en el conductor: 90°C en servicio permanente, 250°C en cortocircuito.
- Pantalla sobre conductor (capa semiconductor interna). Capa extrusionada de material conductor.
- Aislamiento
Metal: polietileno reticulado (XLPE).
- Pantalla sobre aislamiento (capa semiconductor externa). Capa extrusionada de material conductor separable en frío.
- Protección contra el agua
Cinta hinchante semiconductor.
- Pantalla metálica
Metal: cinta longitudinal de aluminio termosoldada y adherida a la cubierta.
- Cubierta exterior
Metal: poliolefina DMZ1.
Color: rojo.



Aplicaciones

Indicado para instalaciones en las que el riesgo de incendio sea despreciable. Apto para soterramiento directo o bajo tubo o instalaciones al aire.

Prysmian

AENOR
Prysmian Group



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

CABLE DE MEDIA TENSIÓN. FICHA TÉCNICA

9

HARMOHNY® Class

XZ1 (S) Al - Libre de halógenos

0,6/1 kV



HARMOHNY^{class}

NORMAS

CONSTRUCCIÓN

UNE-HD 603-5X-1

REACCIÓN AL FUEGO*

UNE-EN 60332-1-2; IEC 60332-1-2

UNE-EN 60754-1; IEC 60754-1

UNE-EN 60754-2; IEC 60754-2

UNE-EN 61034-2; IEC 61034-2

CLASIFICACIÓN CPR

DOP 000013

Clase E_{ca}

CONSTRUCCIÓN

1. CONDUCTOR

Aluminio, clase 2 según UNE-EN 60228.

2. AISLAMIENTO

Polietileno reticulado (XLPE) tipo DIX 3.

3. CUBIERTA EXTERIOR

Polioléfin termoplástica (DMO1), según

UNE-HD 603-5 libre de halógenos.

APLICACIONES

Cables de distribución de energía de baja tensión especialmente concebido para instalaciones interiores, exteriores, entubadas y/o directamente enterradas.

Resistencia a la intemperie, al desgarro y a la abrasión.

Resistencia a la entrada de agua por adherencia de la cubierta al aislamiento.

Temperatura máxima del conductor: +90 °C.

Temperatura mínima de trabajo:

-40°C (fijo protegido).

* En azul ensayos de fuego válidos en la UE.



Nº DOP 000013

DESCÁRGATE LA DOP
(declaración de prestaciones)
<https://es.prysmiangroup.com/dop>

CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

• Máximo esfuerzo de tracción: 30 N/mm².

• Resistencia a la abrasión:

Masa aplicada: 18 kg.

Nº de desplazamientos: 8.

• Carga mínima de rotura (cubierta):
12,5 N/mm².

• Alargamiento mínimo hasta la rotura
(cubierta): 300%.

• Resistencia al desgarro (cubierta):

9 N/mm²

(UNE-HD 605-1).

• Tensión asignada ac: U_o/U = 0,6/1 kV.

• Tensión asignada en dc: 1,5/1,5 kVdc.

• Tensión máxima en ac: dc: 1,2/1,2 kVdc

1,8/1,8 kVdc; UNE-EN 50618, IEC 60502-1.

• Adecuado para sistemas anti-PID:

Tensión máxima eficaz de 1200 V (>906) y

Tensión máxima de pico 1697 V (>1468V).

• Ensayo de tensión durante 5 min

(EN 50618): 6,5 kVdc-15 kVdc.

• Ensayo de tensión durante 5 min.

(UNE-HD 603-5X): 3,5 kV.

• Posibilidad intermitente parcial o total de

estar cubierto en agua: AD7 (inmersión).

• Ensayo de abrasión:

Según UNE-HD 603-1 Tabla 4C DMO1.

• Resistencia UV: UNE-HD 605 S2.

• Resistencia UV: UNE-EN 50618.

• Resistencia al ozono: UNE-EN 50618.

• Resistencia de aislamiento

a 90 °C conductor: 1012 Ω·cm.

• Constante de resistencia aislamiento Ki:

3,67 MQ·cm.

• Resistencia a la penetración de la

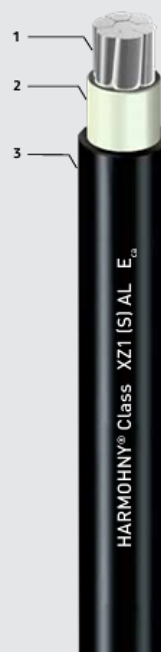
humedad por la unión entre

aislamiento y cubierta

(UNE-EN 60811-1-3).

• Menor impacto ambiental

por la eliminación de estabilizantes
con plomo y plastificantes.



General Cable

59

A brand of
Prysmian
Group



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

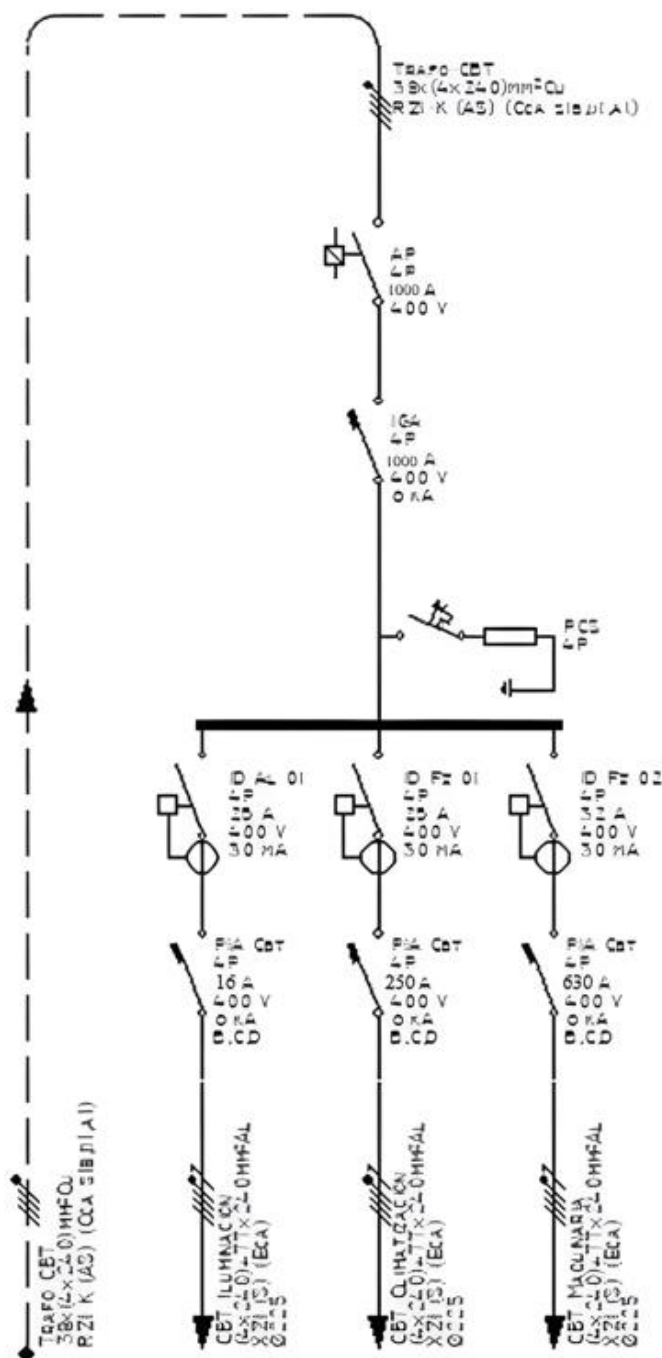
NOMBRE DE PLANO:

CABLE DE BAJA TENSIÓN. FICHA TÉCNICA

Nº PLANO:

10

ESCALA: 1/X



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBSTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

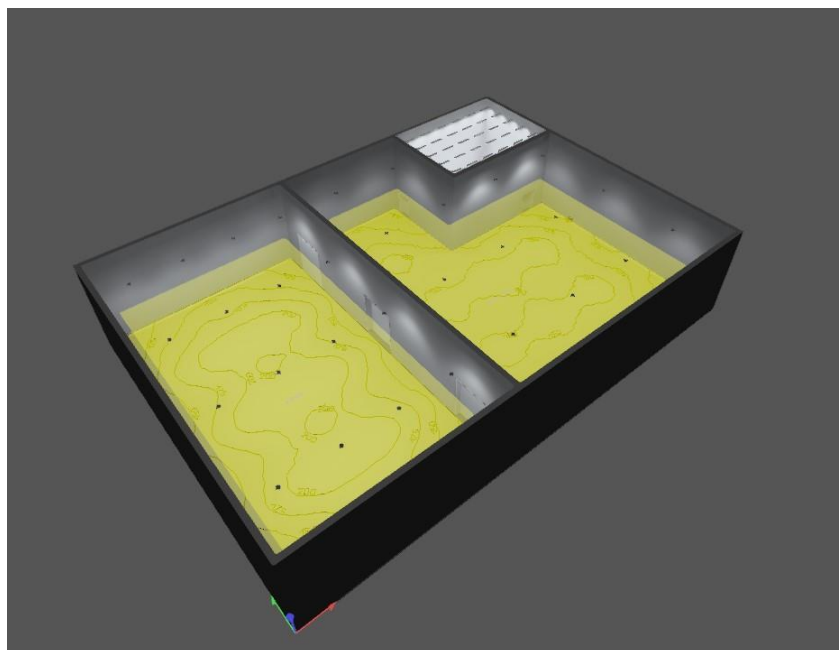
RED DE BAJA TENSIÓN. DIAGRAMA UNIFILAR

Nº PLANO:

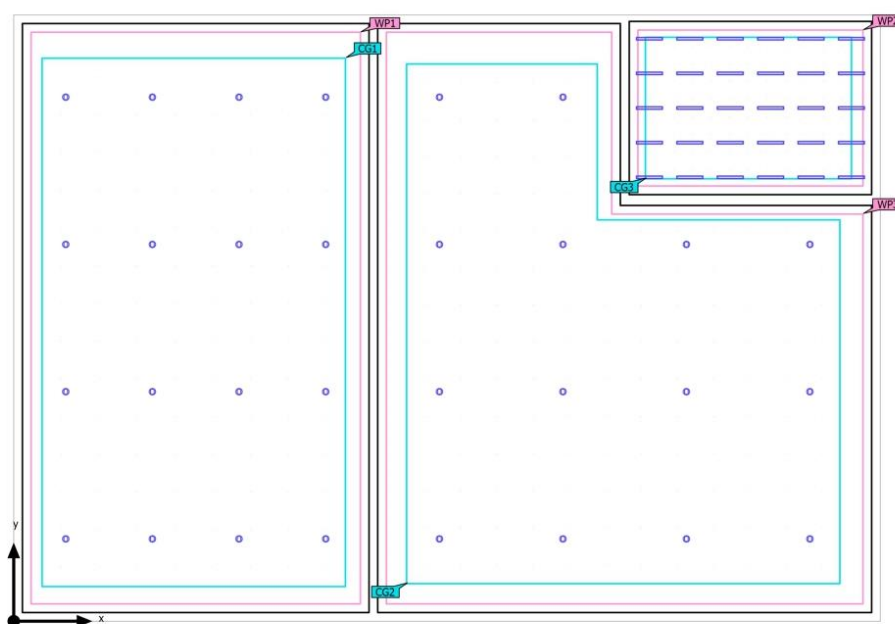
11

ESCALA: 1/X

Ubicación



Áreas Ocupadas



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

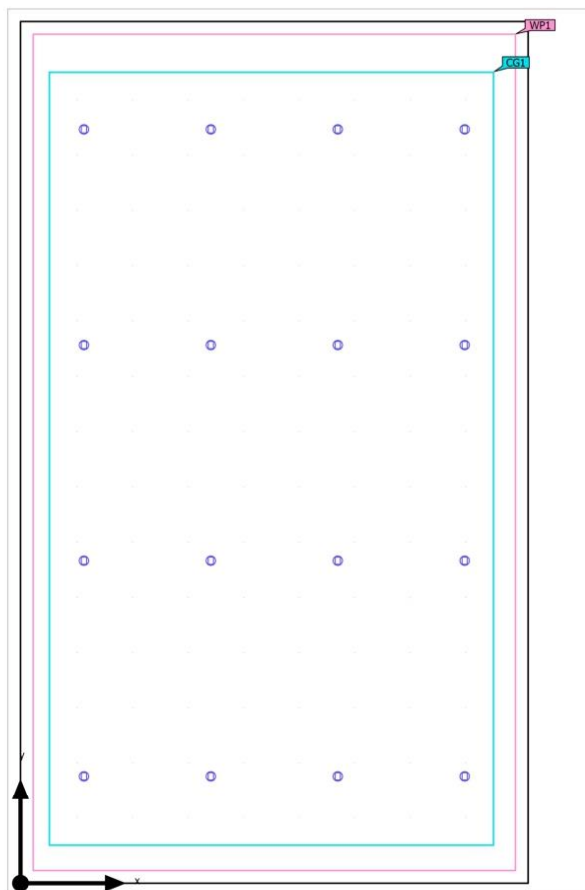
ALUMBRADO INTERIOR. UBICACIÓN DE LUMINARIAS EN
NAVE 3-D Y 2-D

Nº PLANO:

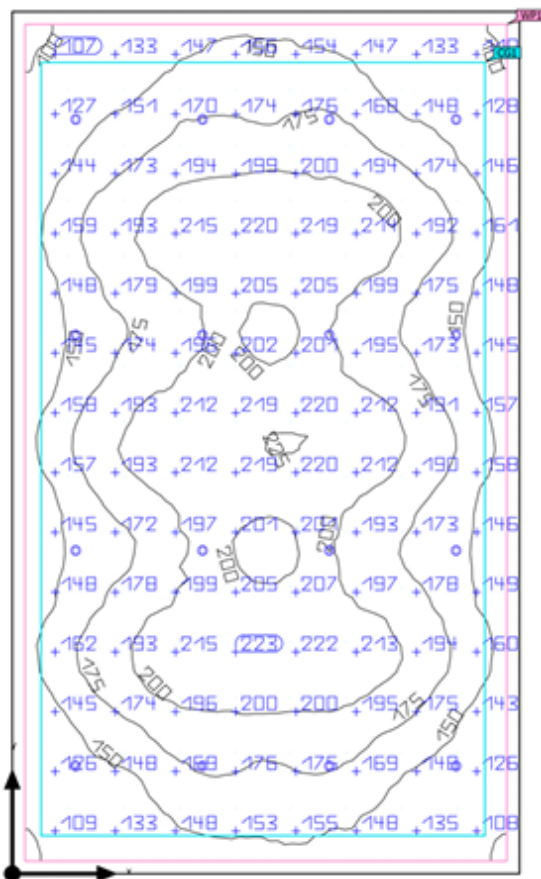
12

ESCALA: 1/X

Ubicación y Área Ocupada



Escena de Luz



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

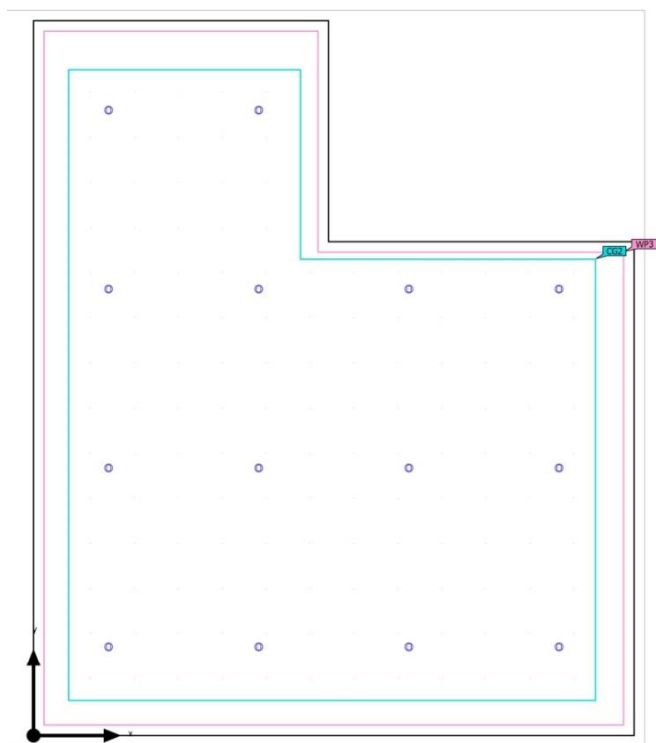
**ALUMBRADO INTERIOR. UBICACIÓN Y ESCENA DE LUZ DE
LUMINARIAS EN ALMACÉN 2-D**

Nº PLANO:

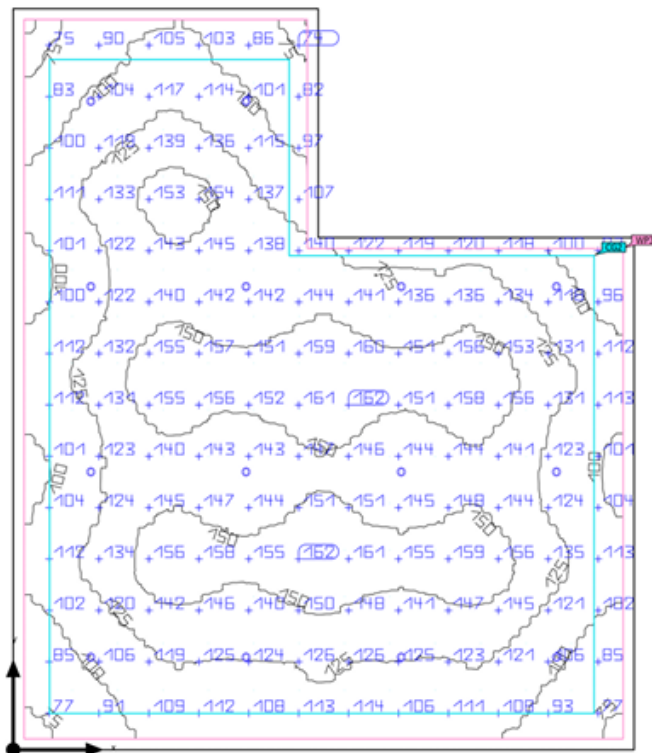
13

ESCALA: 1/X

Ubicación y Área Ocupada



Escena de Luz



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

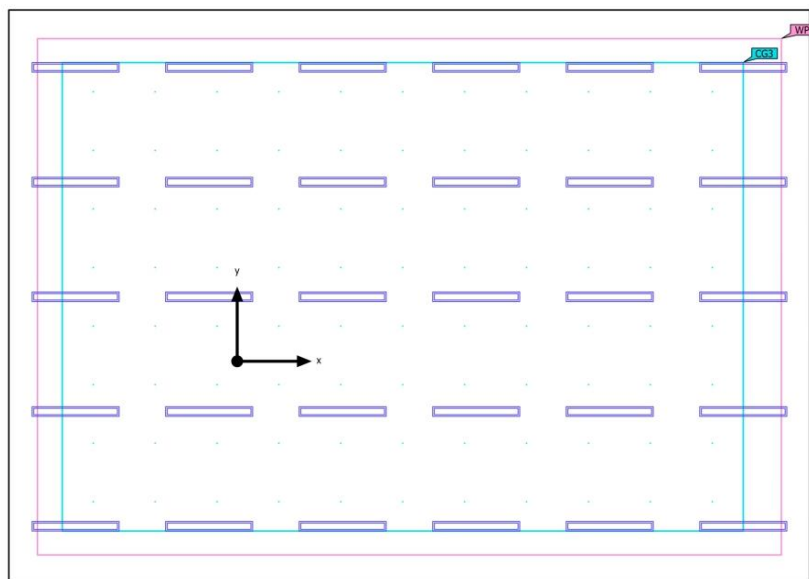
ALUMBRADO INTERIOR. UBICACIÓN Y ESCENA DE LUZ DE
LUMINARIAS EN ZONA PRINCIPAL 2-D

Nº PLANO:

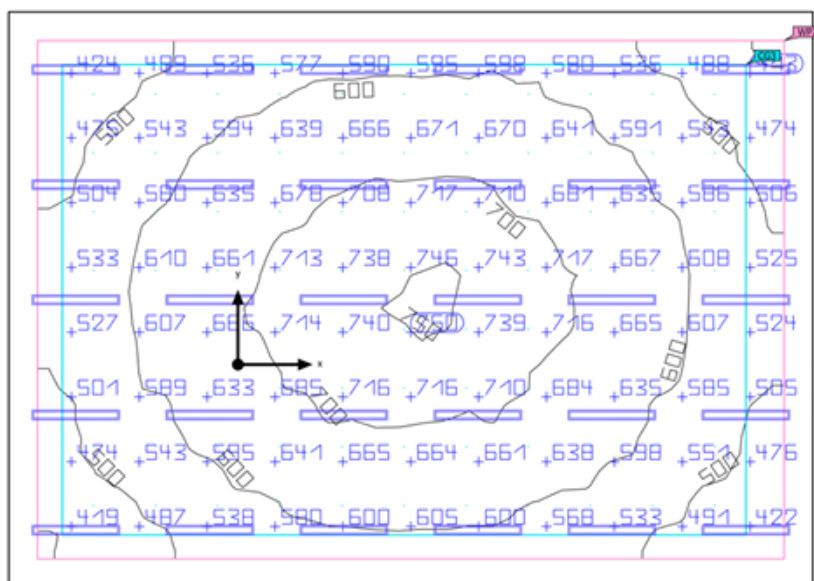
14

ESCALA: 1/X

Ubicación y Área Ocupada



Escena de Luz



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DESDE
LA SUBESTACIÓN HASTA UN CONSUMIDOR
INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

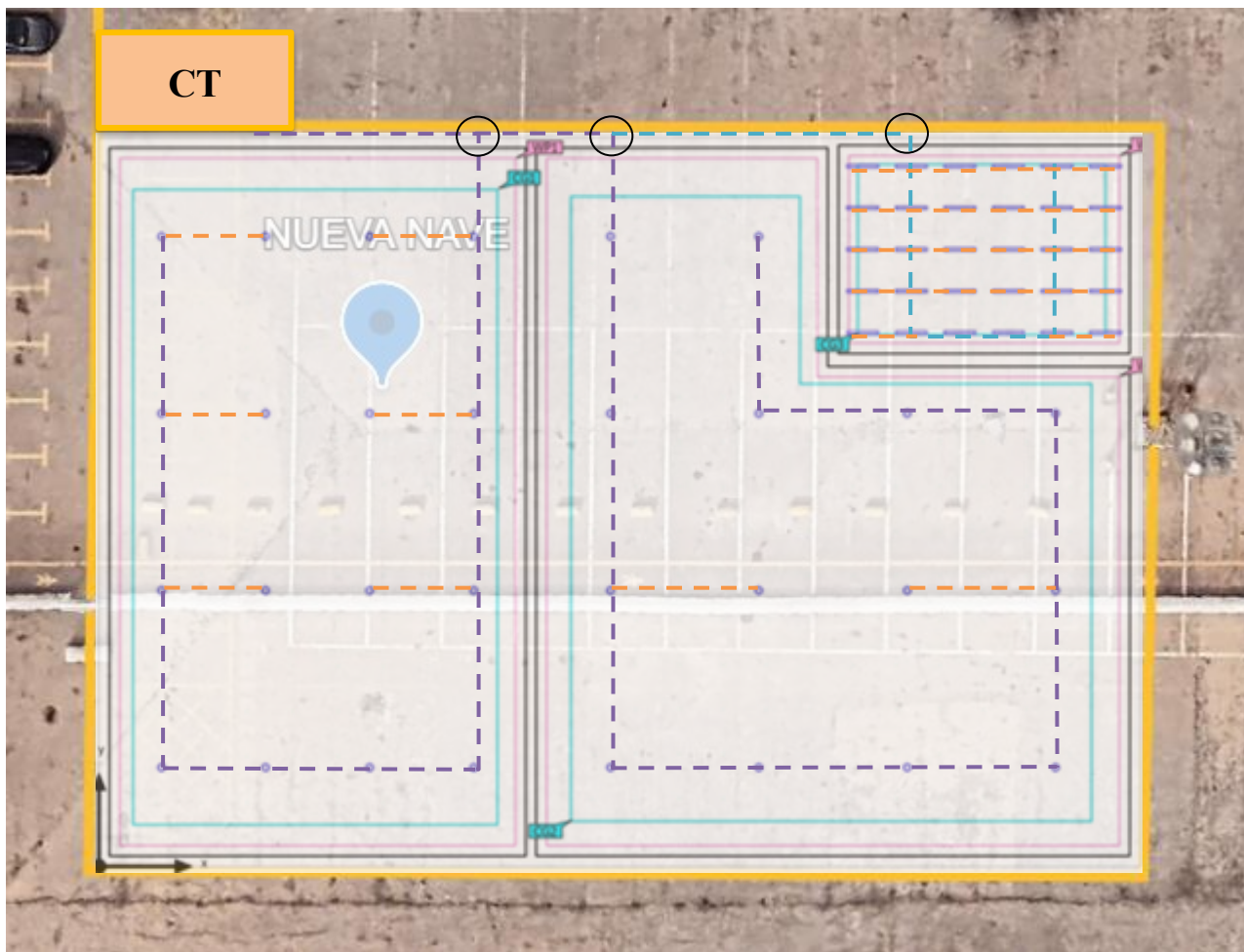
NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

**ALUMBRADO INTERIOR. UBICACIÓN Y ESCENA DE LUZ DE
LUMINARIAS EN ZONA DE OFICINAS 2-D**

15



LEYENDA:

CIRCUITOS 1 Y 2 CABLE 240 mm²: - - - - -

CIRCUITO 3 CABLE 240 mm²: - - - - -

CGP Y CALO SOBRE PARED: ○

DERIVACIONES CABLE 240 mm²: - - - - -



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

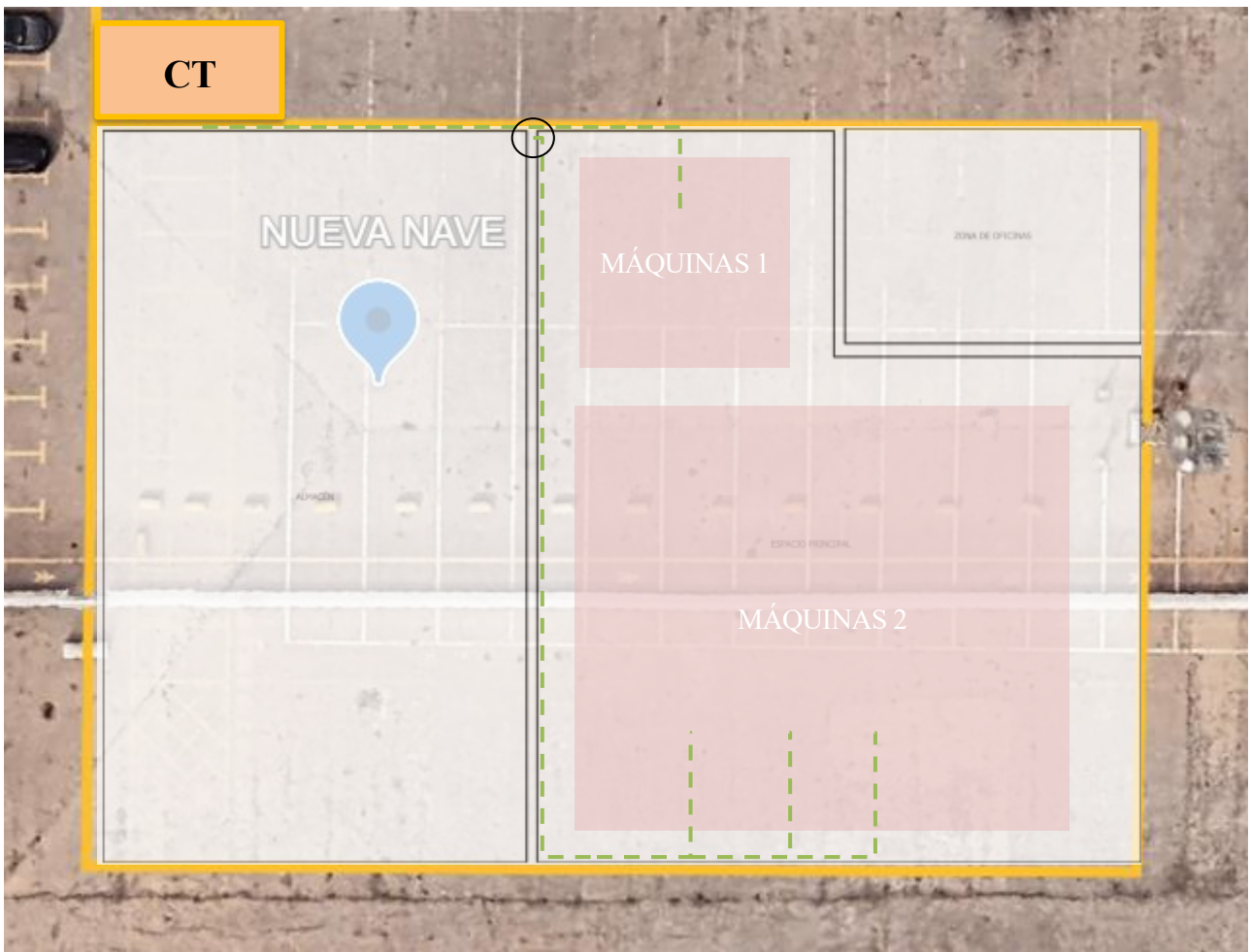
NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

RED DE BAJA TENSIÓN. LUMINARIAS

16



LEYENDA:

CIRCUITOS 4,5,6 Y 7 CABLE 240 mm²: - - - - -

CGP Y CALO SOBRE PARED: ○



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

RED DE BAJA TENSIÓN. MAQUINARIA

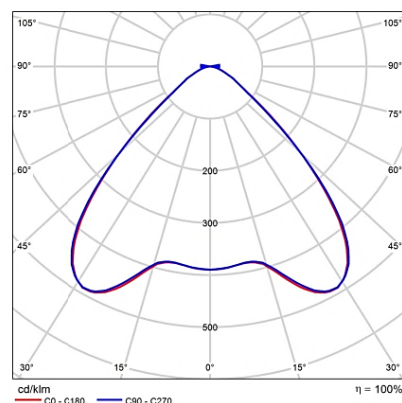
17

Ficha de producto

Philips - BY120P G3 1xLED105S/840 WB



P	85.0 W
$\Phi_{\text{lámpara}}$	10500 lm
$\Phi_{\text{luminaria}}$	10496 lm
η	99.96 %
Rendimiento lumínico	123.5 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

CoreLine High-bay G3 – superior light quality and lower energy and maintenance costs Following the successful introduction of the CoreLine High-bay in 2013, the upgrade to a new generation further improves the total cost of ownership and provides optionally DALI dimming for even further savings. Designed as a replacement for HPI 250/400 W luminaires, CoreLine High-bay G3 offers customers all the benefits of LED lighting – fresh light quality, longer service lifetime, reduced energy consumption and less maintenance – from a trusted manufacturer. At the same time, it delivers clear benefits for the installer too. The luminaire can be installed on the existing grid. Electrical connection is straightforward: there is no need to open the luminaire for installation or servicing. And being smaller and lighter than conventional luminaires, it is very easy to handle.

Valoración de deslumbramiento según UGR													
p. Techo		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30	
p. Paredes		50	30	50	30	50	30	50	30	50	30	30	
p. Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local		Mirado en perpendicular al eje de lámpara						Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y												
2H	2H	24.4	25.5	24.7	25.7	25.9	24.4	25.5	24.7	25.7	25.9		
	3H	24.6	25.5	24.9	25.8	26.0	24.5	25.5	24.8	25.8	26.0		
	4H	24.6	25.5	24.9	25.8	26.1	24.6	25.5	24.9	25.8	26.0		
	6H	24.6	25.5	25.0	25.8	26.1	24.6	25.4	24.9	25.7	26.0		
	8H	24.6	25.4	25.0	25.7	26.0	24.6	25.4	24.9	25.7	26.0		
4H	12H	24.6	25.4	24.9	25.7	26.0	24.5	25.3	24.9	25.6	26.0		
	2H	24.4	25.3	24.7	25.6	25.8	24.3	25.3	24.7	25.5	25.8		
	3H	24.6	25.4	25.0	25.7	26.0	24.6	25.4	25.0	25.7	26.0		
	4H	24.6	25.4	25.1	25.8	26.1	24.7	25.4	25.1	25.8	26.1		
	6H	24.8	25.4	25.2	25.8	26.2	24.8	25.4	25.2	25.8	26.2		
8H	12H	24.8	25.4	25.3	25.8	26.2	24.8	25.3	25.2	25.7	26.1		
	2H	24.6	25.3	25.3	25.7	26.2	24.8	25.3	25.2	25.7	26.1		
	3H	24.7	25.3	25.2	25.7	26.1	24.7	25.3	25.1	25.7	26.1		
	4H	24.9	25.3	25.3	25.7	26.2	24.8	25.3	25.3	25.7	26.2		
	6H	24.9	25.3	25.4	25.7	26.2	24.8	25.2	25.3	25.7	26.2		
12H	12H	24.9	25.2	25.4	25.7	26.2	24.8	25.2	25.3	25.6	26.1		
	4H	24.7	25.2	25.1	25.6	26.0	24.7	25.2	25.1	25.6	26.0		
	6H	24.8	25.2	25.3	25.7	26.2	24.8	25.2	25.3	25.6	26.1		
	8H	24.9	25.2	25.4	25.7	26.2	24.8	25.2	25.3	25.6	26.1		
	12H	24.9	25.2	25.4	25.7	26.2	24.8	25.2	25.3	25.6	26.1		
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias													
S = 1.0H		+1.1 / -2.1						+1.1 / -2.2					
S = 1.5H		+2.6 / -3.2						+2.6 / -3.3					
S = 2.0H		+4.3 / +4.0						+4.5 / +4.0					
Tabla estándar		BK01						BK01					
Sumando de corrección		6.8						6.8					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 10500lm Flujo luminoso total													

Diagrama UGR (SHR: 0.25)



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

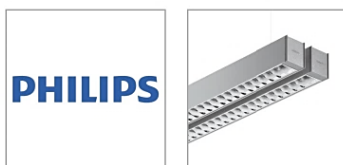
ESCALA: 1/X

ALUMBRADO INTERIOR. HOJA DE CARACTERÍSTICAS I

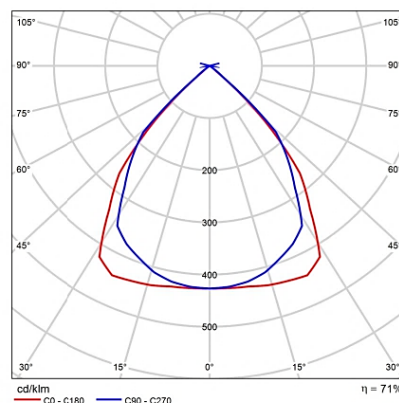
18

Ficha de producto

Philips - TPS680 2xTL5-49W HFP C8



P	108.0 W
$\Phi_{\text{Lámpara}}$	7450 lm
$\Phi_{\text{Luminaria}}$	5276 lm
η	70.82 %
Rendimiento luminico	48.8 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

Celino – light beam. Celino is a complete luminaire range that reflects the market trend towards miniaturization and architectural integration, while delivering a significant advance in optical performance.

Celino features Philips' aluminum micro optic with 3D lamellae, which ensures optimum visual comfort and efficiency in compliance with the latest office-lighting norm (EN 12464-1).

Made of natural anodized aluminum, the housing of Celino is a mere 71 mm wide and has die-cast-aluminum end caps. The design allows multiple luminaires to be connected in a line arrangement.

Celino is available as a full range – suspended, surface-mounted, free-standing, recessed and wall-mounted, with a choice of TL5, TL5 Eco or LED light sources – for maximum freedom in application.

Valoración de deslumbramiento según UGR													
p. Techo		70	70	50	50	30	30	70	70	50	50	30	
p. Paredes		50	30	50	30	30	50	50	30	50	30	30	
p. Suelo		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del bocal X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara						Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H	17.1	18.0	17.4	18.2	18.5	17.1	18.0	17.3	18.2	18.4	18.4	
	3H	17.0	17.8	17.3	18.0	18.3	16.9	17.7	17.2	18.0	18.2	18.2	
	4H	16.9	17.7	17.2	17.9	18.2	16.8	17.6	17.1	17.9	18.1	18.1	
	6H	16.8	17.5	17.1	17.8	18.1	16.8	17.5	17.1	17.8	18.1	18.1	
	8H	16.8	17.5	17.1	17.8	18.1	16.7	17.4	17.1	17.7	18.0	18.0	
4H	2H	16.9	17.7	17.2	18.0	18.2	16.9	17.6	17.2	17.9	18.2	18.2	
	3H	16.8	17.4	17.1	17.7	18.0	16.7	17.4	17.1	17.7	18.0	18.0	
	4H	16.7	17.3	17.1	17.6	18.0	16.6	17.2	17.0	17.5	17.9	17.9	
	6H	16.6	17.1	17.0	17.5	17.9	16.5	17.1	17.0	17.4	17.8	17.8	
	8H	16.6	17.0	17.0	17.4	17.8	16.5	17.0	16.9	17.4	17.8	17.8	
8H	2H	16.9	17.7	17.2	18.0	18.2	16.9	17.6	17.2	17.9	18.2	18.2	
	3H	16.8	17.4	17.1	17.7	18.0	16.7	17.4	17.1	17.7	18.0	18.0	
	4H	16.7	17.3	17.1	17.6	18.0	16.6	17.2	17.0	17.5	17.9	17.9	
	6H	16.6	17.1	17.0	17.5	17.9	16.5	17.1	17.0	17.4	17.8	17.8	
	8H	16.6	17.0	17.0	17.4	17.8	16.5	17.0	16.9	17.4	17.8	17.8	
12H	2H	16.9	17.7	17.2	18.0	18.2	16.9	17.6	17.2	17.9	18.2	18.2	
	3H	16.8	17.4	17.1	17.7	18.0	16.7	17.4	17.1	17.7	18.0	18.0	
	4H	16.7	17.3	17.1	17.6	18.0	16.6	17.2	17.0	17.5	17.9	17.9	
	6H	16.6	17.1	17.0	17.5	17.9	16.5	17.1	17.0	17.4	17.8	17.8	
	8H	16.6	17.0	17.0	17.4	17.8	16.5	17.0	16.9	17.4	17.8	17.8	
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias													
S = 1.0H		+2.4 / -19.9						+2.8 / -15.4					
S = 1.5H		+4.3 / -31.8						+4.2 / -32.5					
S = 2.0H		+6.3 / -35.1						+6.2 / -35.8					
Tabla estándar		BK00						BK00					
Sumando de corrección		-2.7						-2.8					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 7450lm Flujo luminoso total													

Diagrama UGR (SHR: 0.25)



PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

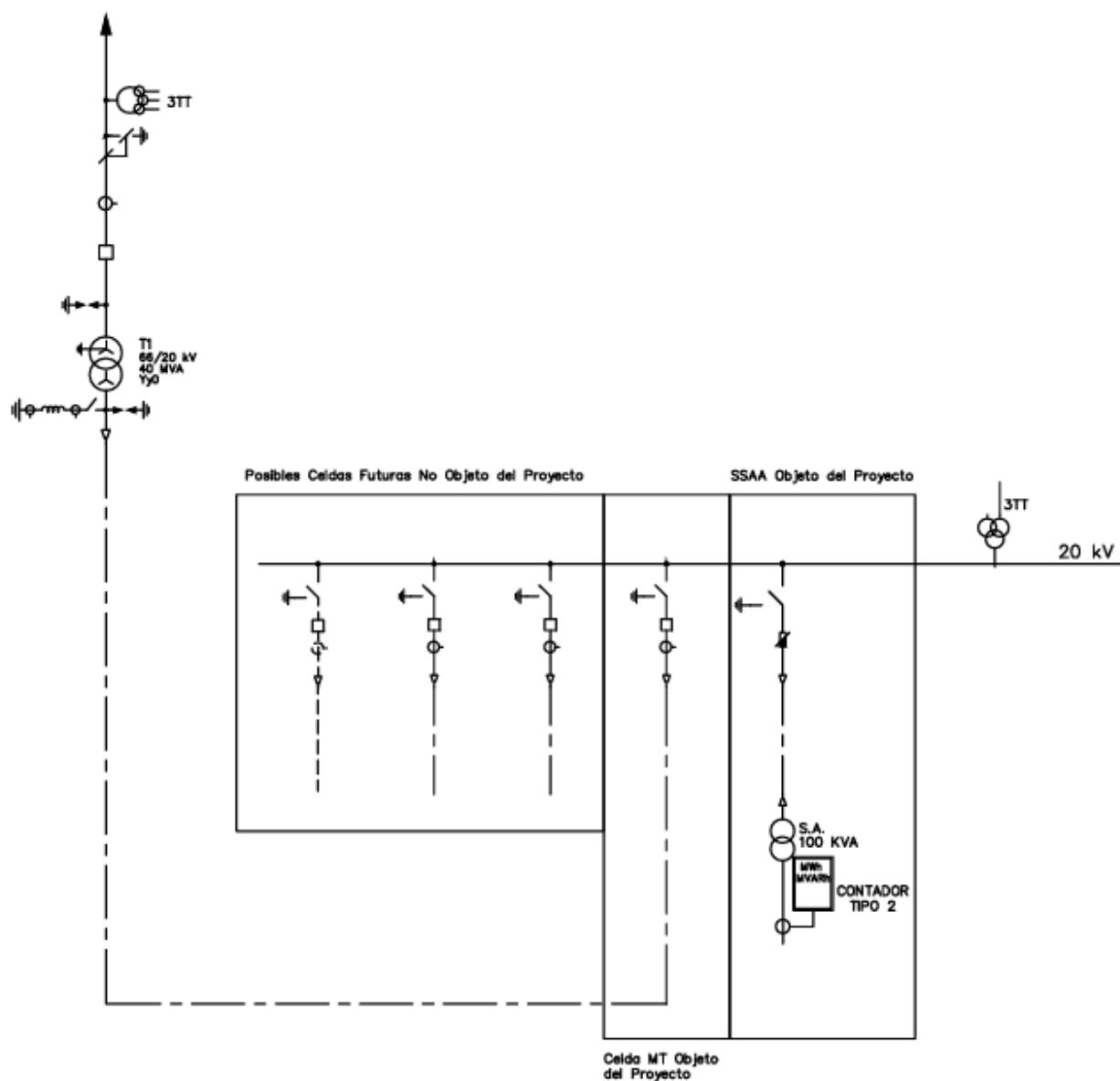
NOMBRE DE PLANO:

ALUMBRADO INTERIOR. HOJA DE CARACTERÍSTICAS II

Nº PLANO:

19

ESCALA: 1/X



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

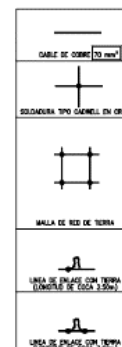
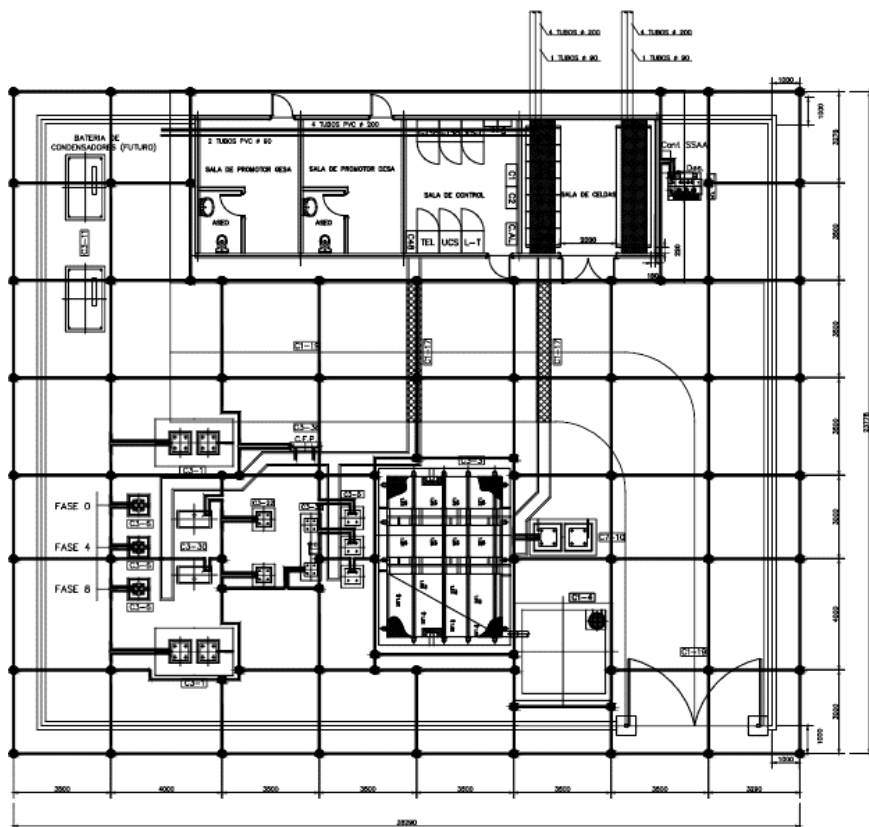
NOMBRE DE PLANO:

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV. UNIFILAR

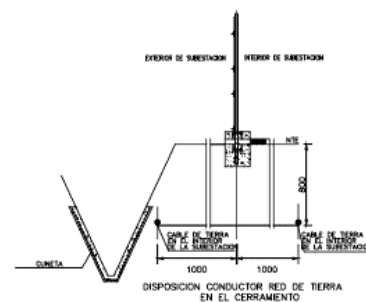
Nº PLANO:

20

ESCALA: 1/X



NOTA: EL CERRAMIENTO ESTÁ CONECTADO A LA MALLA DE TIERRA CADA 15m



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

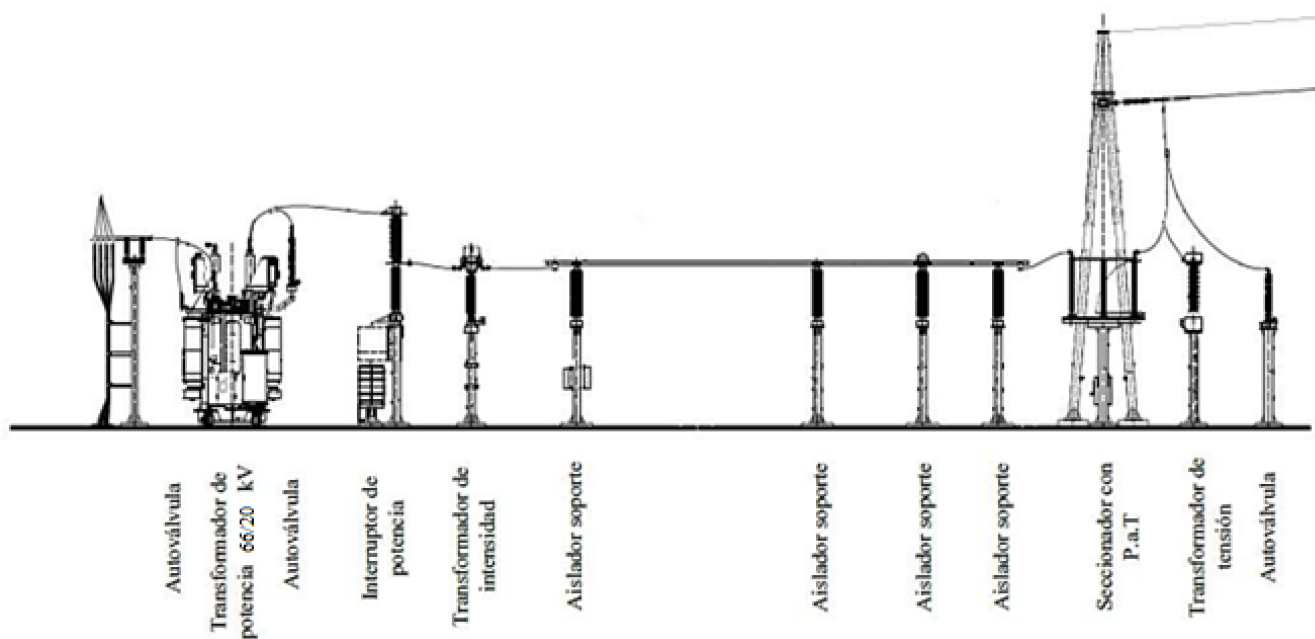
NOMBRE DE PLANO:

Nº PLANO:

ESCALA: 1/X

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV. PLANTA GENERAL RED
DE TIERRA

21



Escuela Técnica Superior de
INGENIERÍA DE SEVILLA

PROYECTO:

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
DESDE LA SUBESTACIÓN HASTA UN
CONSUMIDOR INDUSTRIAL EN BAJA TENSIÓN

AUTOR:

ANTONIO GONZÁLEZ
PRADAS

FECHA: 2024

NOMBRE DE PLANO:

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA 66/20 KV. ALZADO ELÉCTRICO

Nº PLANO:

23

ESCALA: 1/X

ANEXO B: CATÁLOGOS

- Catálogo de Cables para Baja y Media Tensión Prysmian
<https://es.prysmian.com/catalogos-online/general-cable/catalogo-de-cables-para-baja-y-media-tension>
- Catálogo Top Cable (Cables de Baja y Media Tensión)
<https://www.topcable.com/blog-electric-cable/catalogo-top-cable-cables-de-baja-y-media-tension/>
- Catálogo de Cables de Baja Tensión Top Cable
<https://www.topcable.com/es/cables-de-baja-tension/>
- Catálogo de Cables de Media Tensión Top Cable
<https://www.topcable.com/es/cables-de-media-tension/>
- Catálogo de Luminarias Interiores Philips
<https://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-interior>
- Catálogo de Productos Inael
<https://www.inael.com/productos/>
- Catálogo de Productos Ormazabal
<https://www.ormazabal.com/>
- Catálogo de Bandejas PEMSA
<https://www.pemsa-rejiband.com/catalog/es/>

REFERENCIAS

- [1] Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión y Reglamentación Relativa a Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23
<https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-alta-tension/Paginas/reglamento-seguridad-instalaciones-alta-tension.aspx>
- [2] Real Decreto 337/2014, de 9 de Mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementaria
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-6084>
- [3] Líneas Eléctricas de Alta Tensión. Legislación Nacional y Reglamentación relativa a Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09
<https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Paginas/lineas-alta-tension.aspx>
- [4] Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2008-5269
- [5] Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas Complementarias RD 327/82 de 12/11 BOE N° 288 de 1/12/82 OM de 67/84 BOE de 1/8/84 (Consolidado)
<https://www.boe.es/buscar/pdf/1982/BOE-A-1982-31526-consolidado.pdf>
- [6] Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099>
- [7] Guías Técnicas de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT 21
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/bt_guia_bt_21_sep03R1.pdf
- [8] Guías Técnicas de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT 07

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099 - ib-7>

- [9] Guías Técnicas de Aplicación del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT 10

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099 - ib-10>

- [10] Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-18634>

- [11] Legislación correspondiente a Eléctrica de Cádiz

<https://distribuidora.electricadecadiz.es/legislacion>

- [12] Resolución de 3 de junio de 2020, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se deroga parcialmente la Resolución de 5 de mayo de 2005, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueban las normas particulares y condiciones técnicas y de seguridad de la empresa distribuidora de energía Eléctrica Endesa Distribución, S.L.U., en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía

<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2020/113/18>

- [13] Norma Endesa GE DND001. Cables Aislados para Redes Subterráneas de Alta Tensión hasta 30 kV

https://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Normativa_Sevillana/2_DOCUMENTOS_DE_REFERENCIA/2.1_Normas_ENDESA/dnd001.pdf

- [14] Norma ENDESA NNL010 cajas generales de protección hasta 630A con bases sin dispositivo extintor de arco

https://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Normativa_Sevillana/2_DOCUMENTOS_DE_REFERENCIA/2.1_Normas_ENDESA/NNL010.pdf

- [15] Norma ENDESA BDZ004 guía de utilización de conectores, manguitos de unión y terminales para líneas aéreas y subterráneas de baja tensión

https://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Normativa_Sevillana/2_DOCUMENTOS_DE_REFERENCIA/2.1_Normas_ENDESA/bdz004.pdf

- [16] Norma ENDESA NNZ014 terminales rectos de aleación de aluminio para conductores de aluminio

<https://www.uco.es/electrotecnia->

[etsiam/reglamentos/Normativa_Sevillana/2_DOCUMENTOS_DE_REFERENCIA/2.1_Normas_ENDESA/NNZ014.pdf](https://www.etsiam.com/reglamentos/Normativa_Sevillana/2_DOCUMENTOS_DE_REFERENCIA/2.1_Normas_ENDESA/NNZ014.pdf)

- [18] Normas ONSE. Marcos y Tapas para Arquetas de Conexión Eléctrica

https://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Normativa_Sevillana/2_DOCUMENTOS_DE_REFERENCIA/2.2_Normas_ONSE/010114C.pdf

- [19] Normas UNE / UNE-EN

<https://plataforma-aenormas-aenor-com.eu1.proxy.openathens.net/> (A través del enlace Biblioteca US)

- [21] Real Decreto 2899/1976, de 16 de septiembre, por el que se establece bajo la denominación de Norma M. V. 102-1975, la revisión de la Norma M. V. 102-1964, «Acero laminado para estructuras de edificación»

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1976-25284>

- [23] Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen Disposiciones Mínimas de Seguridad y de Salud en las Obras de Construcción

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-22614>

- [24] Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>

- [26] Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2486>

- [27] Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las Operaciones de Valorización y Eliminación de Residuos y la Lista Europea de Residuos

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-3285>

- [28] Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía, aprobado por R.D. de 12 de marzo de 1954 con las correspondientes modificaciones hasta la fecha

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1984-21985>

- [29] Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las Actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de Autorización de Instalaciones de Energía Eléctrica

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2000-24019>

- [30] Calculadora de Sección del Cable y Selección Prysmian
<https://es.prysmian.com/Prysmian/cableapp-calculo-seccion-cable-electrico-online>
- [31] Cypelec REBT
<https://info.cype.com/es/software/cypelec-rebt/>
- [32] DIALux
<https://www.dialux.com/es-ES/>
- [33] Amikit
<https://www.ormazabal.com/product/amikit-5-0/>
- [34] Schneider Electric
https://www.se.com/es/es/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=schneider_sem_brand-&utm_id=7018V0000013oGXQAY&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwvvmzBhA2EiwAtHVrbY2k7vVqxcUct3-QwxbHq1W0LRdofDAceQtDkblAXr1oWHIRABOivBoCi4kQAvD_BwE
- [35] ABB
<https://new.abb.com/es>