



**Universidad  
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Grado en Ingeniería de Sistemas Industriales**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Electrificación de un Polígono Industrial**

**Alumno: Adrián Padilla Delgado**

**Directora: María José Terrón López**

**JULIO 2024**

**TÍTULO:** Electrificación de un polígono industrial

**AUTOR:** Adrian Padilla Delgado

**DIRECTORA DEL PROYECTO:** Maria Jose Terron López

**FECHA:** 15 de Septiembre de 2023

## Resumen

El proyecto de electrificación del polígono industrial de Alcalá la Real, impulsado por el Excmo. Ayuntamiento de Alcalá la Real en colaboración con la consejería de industria y trabajo, procura inicialmente proporcionar un suministro eléctrico eficiente y seguro que promueva al desarrollo de actividades industriales en la zona. Este esfuerzo busca el crecimiento económico, crear empleos, atraer inversionistas y facilitar la instalación de empresas mediante una infraestructura eléctrica moderna que se adapta a las demandas actuales en la industria.

El proyecto incluye el diseño de una línea eléctrica de media tensión (M.T.) para alimentar cuatro centros de transformación (C.T.) dentro del polígono y una red eléctrica de baja tensión (B.T.) para suministrar energía a las naves industriales y servicios generales. El diseño de la línea de M.T. abarca aspectos técnicos y normativos que aseguran el cumplimiento de las reglamentaciones vigentes y se detalla en un análisis que incluye los materiales y métodos de ejecución.

Los centros de transformación están diseñados para cumplir con las exigencias reglamentarias, alimentarán en baja tensión al polígono. Este diseño garantiza las condiciones necesarias para obtener las autorizaciones administrativas y de ejecución, además se establecen los datos constructivos necesarios para su implementación. El diseño de las líneas de B.T. cubre tanto la electrificación de las naves industriales como el alumbrado público y los servicios generales del polígono. Cada sección del diseño cumple las normativas vigentes, proporcionando los detalles necesarios para la ejecución de la red y las autorizaciones pertinentes.

En la electrificación de una nave del polígono, se aplican las mismas normas y garantías exigidas por la reglamentación vigente, asegurando una infraestructura eléctrica adecuada y segura.

**Palabras clave:** Polígono industrial, Media Tensión, Centros de Transformación, Baja tensión, Nave industrial, electrificación.

## Abstract

The electrification project of the industrial estate of Alcalá la Real, promoted by the City Council of Alcalá la Real, in collaboration with the Alcalá la Real in collaboration with the Regional Ministry of Industry and Labor, seeks to initially provide an efficient and safe electricity supply to promote the development of industrial activities in the area. The development of industrial activities in the area. This effort seeks to economic growth, create jobs, attract investors, and facilitate the installation of companies and facilitate the installation of companies through a modern electrical infrastructure that adapts to the to current industrial demands.

The project includes the design of a medium-voltage (M.V.) power line to feed four transformer stations (C.T.) within the transformer substations (C.T.) within the industrial park and a low voltage (LV) electrical network to supply the (LV) to supply power to the industrial buildings and general services.

The design of the M.V. line covers technical and regulatory aspects that compliance with current regulations and is detailed in an analysis that includes materials and methods of construction.

analysis that includes materials and methods of execution.

The transformer stations are designed to comply with regulatory requirements and will supply low voltage to the industrial park. This design guarantees the necessary conditions to obtain the administrative and execution authorizations, and also establishes the necessary construction data for its implementation. The design of the LV lines covers both the electrification of the industrial buildings and the public lighting and general services of the industrial estate. Each section of the design complies with the regulations in force, providing the necessary details for the execution of the network and the pertinent authorizations.

The same standards and guarantees required by current regulations are applied to the electrification of a warehouse on the industrial estate, ensuring an adequate and safe electrical infrastructure.

**Keywords:** Industrial estate, medium voltage, transformation centers, low voltage, industrial warehouse, electrification.

# Índice

Resumen.....	3
Abstract .....	3
Capítulo 1    Introducción .....	10
1.1    Objetivos del proyecto .....	11
1.2    Estructura del proyecto.....	11
1.3    Normas y referencias .....	12
Capítulo 2    Diseño de la línea de Media Tensión del polígono industrial .....	13
2.1    Requisitos de diseño de la línea de media tensión del polígono industrial.....	14
2.1.1    Distancias de seguridad en el diseño de la línea de M.T.....	15
2.1.2    Requisitos de diseño de los herrajes y accesorios de la línea de M.T.....	17
2.1.3    Requisitos de diseño de los Aisladores de la línea de M.T.....	18
2.1.4    Requisitos de diseño de las crucetas y de los apoyos de la línea de M.T. ....	18
2.1.5    Elementos del sistema de puesta a tierra y condiciones de montaje.....	22
2.1.6    Entronque.....	23
2.1.7    Disposiciones de protección en el Diseño de la línea de M.T. ....	24
2.1.8    Especificaciones de Materiales, Equipo y Ejecución .....	25
2.2    Estado de las mediciones de los conductores.....	25
2.2.1    Rotura de los conductores .....	26
2.2.2    Cálculo de la cadena de aisladores.....	28
2.3    Medición de los apoyos.....	32
2.3.1    Medición de las crucetas.....	37
2.3.2    Medición de las cimentaciones .....	38
2.4    Presupuesto del diseño de la línea de media tensión.....	43
Capítulo 3    Diseño de los centros de transformación del polígono industrial .....	45
3.1    Características generales del Centro de Transformación de acuerdo con el pliego de condiciones .....	46
3.2    Instalación de red eléctrica y aparamenta de A.T.....	48
3.3    Elementos del sistema de puesta a tierra de los centros de transformación.....	50
3.4    Instalaciones secundarias del Centro de Transformación .....	51
3.5    Medidas de seguridad del Centro de Transformación.....	52

3.6	Presupuesto de los centros de transformación del polígono industrial .....	53
Capítulo 4	Diseño de las líneas de baja tensión del polígono industrial .....	54
4.1	Características generales de las líneas de baja tensión del polígono industrial de acuerdo con el pliego de condiciones .....	55
4.1.1	Criterios de diseño .....	55
4.1.2	Conductores de las naves.....	56
4.1.3	Empalmes y conexiones para líneas de las naves .....	56
4.1.4	Cruzamientos y paralelismos .....	57
4.2	Estado de las mediciones .....	57
4.3	Presupuesto de las líneas de baja tensión del polígono industrial .....	61
Capítulo 5	Diseño del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial .....	64
5.1	Características generales del alumbrado y servicios generales de acuerdo con el pliego de condiciones .....	65
5.2	Cruzamientos y paralelismos .....	66
5.3	Instalaciones de enlace .....	67
5.3.1	Caja de protección y medida .....	68
5.3.2	Derivación individual .....	69
5.3.3	Receptores de alumbrado .....	69
5.4	Luminarias .....	70
5.4.2	Especificaciones de los materiales y de la ejecución .....	73
5.5	Estado de las mediciones .....	73
5.6	Presupuesto del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial ....	79
Capítulo 6	Diseño de la electrificación de una nave del polígono industrial.....	81
6.1	Pliego de condiciones.....	82
6.1.1	Requisitos de diseño de la caja de protección de medida .....	82
6.1.2	Derivación individual .....	83
6.1.3	Dispositivos generales e individuales de mando y protección.....	83
6.1.4	Instalaciones interiores de conductores .....	84
6.1.5	Identificación de conductores .....	85
6.1.6	Subdivisión de las instalaciones .....	85
6.1.7	Equilibrado de cargas .....	85
6.1.8	Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica .....	85
6.1.9	Conexiones .....	86
6.1.10	Sistemas de instalación: Preinscripciones generales, conductores aislados bajo	

tubos protectores y conductores aislados bajo canales protectoras .....	86
6.1.11 Protección contra sobreintensidades .....	89
6.1.12 Protección y categorías contra las sobreintensidades .....	89
6.1.13 Medidas para el control de las sobretensiones .....	90
6.1.14 Selección de los materiales en la instalación .....	91
6.1.15 Protección contra contactos directos e indirectos .....	91
6.1.16 Importancia de la instalación de puestas a tierra .....	91
6.1.17 Conductores de equipotencialidad .....	93
6.1.18 Resistencia de las tomas de tierra.....	94
6.1.19 Tomas de tierra independientes .....	94
6.1.20 Separación entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y de las masas de un centro de transformación .....	94
6.1.21 Revisión de las tomas de tierra .....	95
6.1.22 Receptores de alumbrado .....	95
6.1.23 Instalación de receptores a motor .....	96
6.1.24 Descripción de las instalaciones en la nave: De soldadura, instalaciones eléctricas, entradas a la nave .....	96
6.1.25 Especificaciones de los materiales y de la ejecución .....	100
6.2 Estado de las mediciones .....	100
6.3 Presupuesto de la electrificación de una nave del polígono industrial. ....	102
Capítulo 7 Conclusiones y futuras líneas de trabajo.....	106
Capítulo 8 Planos.....	108
8.1 Planos del Diseño de la línea de media tensión del polígono industrial.....	108
8.2 Planos del Diseño de los centros de transformación del polígono industrial .....	118
8.3 Planos del Diseño de las líneas de baja tensión del polígono industrial.....	120
8.4 Planos del Diseño del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial 128	
8.5 Planos del Diseño de la electrificación de una nave del polígono industrial. ....	147
BIBLIOGRAFÍA.....	154

# Índice de Figuras

Figura 1. Geolocalización de la zona de actividad propuesta. ....	10
Figura 2. Detalle del plano de la planta y alzado de la línea área de media tensión. ....	15
<i>Figura 3. Distancias minimas entre los vanos de las líneas eléctricas. ....</i>	<i>16</i>
Figura 4. Detalle del plano del electrodo de puesta a tierra del poste de celosía.....	22
Figura 5. Detalle del plano del poste de entronque.....	24
Figura 6. Detalle del plano de uno de los tramos de la línea de alta tensión con un esfuerzo útil de 850 N. ....	37
Figura 7. Detalle del plano de situación del Centro de transformación. ....	46
Figura 8. Detalle del plano del centro de transformación. ....	48
Figura 9. Plano de las celdas de Alta tensión. ....	50
Figura 10. celdas de Alta tensión. ....	51
Figura 11. Plano de las canalizaciones subterráneas de baja tensión. ....	55
Figura 12. Plano de los circuitos del centro de transformación 1 en el polígono.....	61
Figura 13. plano de los circuitos del centro de transformación 1.....	61
Figura 14. Plano de la caseta de alumbrado público. ....	68
Figura 15. Farola Tipo1.....	71
Figura 16. Farola Tipo2.....	72
Figura 17. Foco 3. ....	72
Figura 18. Plano de los circuitos de alumbrado público del centro de transformación 1 en el polígono. ....	79
Figura 19. Plano de los circuitos del centro de transformación 1.....	79
Figura 20. Plano de la planta de abajo de la nave.....	97
Figura 21. Plano de la planta de abajo de la nave.....	97
Figura 22. Plano de la planta de abajo de la nave.....	98
Figura 23. Plano de la planta de arriba de la nave. ....	99
Figura 24. Plano de la planta de arriba de la nave. ....	99

## Índice de Tablas

Tabla 2-1. Apoyo de líneas situadas en zonas B y C (Altitud igual o superior a 500 m).....	21
Tabla 2-2. Sección del conductor. ....	28
Tabla 2-3. Cálculo de cadena de aisladores atendiendo al tipo.....	30
Tabla 2-4. Cálculo de los esfuerzos de las cadenas de aisladores.....	30
Tabla 2-5. Cálculo de esfuerzos verticales sin sobrecarga. ....	32
Tabla 2-6. Cadena de aisladores.....	32
Tabla 2-7. Tensión máxima en el vano.....	33
Tabla 2-8. Flecha máxima.....	34
Tabla 2-9. Flecha de tendido.....	35
Tabla 2-10. Tensión de los apoyos en las hipótesis 1ª y 2ª.....	35
Tabla 2-11. Tensión de los apoyo en la hipótesis 3ª de Desequilibrio de tracciones y 4ª de Rotura de conductores.....	36
Tabla 2-12. Apoyo adoptado.....	36
Tabla 2-13. Apoyo de la línea de alta tensión.....	37
Tabla 2-14. Crucetas adoptadas.....	37
Tabla 2-15. Constitución de las crucetas de la línea de alta tensión y distancia entre conductores. ....	38
Tabla 2-16. Cálculo de cimentaciones.....	40
Tabla 2-17. Cálculo de las zapatas aisladas.....	42
Tabla 2-18. Excavación para las zapatas de los apoyo de la línea de alta tensión.....	42
Tabla 2-19. Metros cúbicos de hormigón necesarios para las zapatas de los apoyo. ....	42
Tabla 2-20. Presupuesto de mano de obra y maquinaria.....	44
Tabla 3-1. Características generales de las celdas. ....	49
Tabla 3-2. Presupuesto de materiales.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 4-1. Cálculos de las líneas de baja tensión del polígono industrial.....	59
Tabla 5-1. Cálculos de las líneas de baja tensión del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6-1. Sección mínima de los conductores. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6-2. Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica. ....	86
Tabla 6-3. Sección de los conductores de puesta a tierra.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 6-4. Sección mínima de los conductores de protección.....	93
Tabla 6-5. Cálculos de las secciones mínimas de los conductores de los distintos circuitos de las naves. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Capítulo 1 Introducción

El proyecto de electrificación del polígono industrial de Alcalá la Real, localizado en Jaén, emerge como una iniciativa del Excmo. Ayuntamiento de Alcalá la Real, con CIF: 65987125 N y domicilio social en Plaza Arcipreste de Hita nº1, y en colaboración con la consejería de industria y trabajo, delegación provincial del mismo ayuntamiento. La finalidad principal de esta iniciativa es proporcionar un suministro eléctrico eficiente y seguro para el desarrollo de actividades industriales en el polígono. La ubicación concreta del polígono se encuentra en la Figura 1.



*Figura 1. Geolocalización de la zona de actividad propuesta*

En este proyecto se lleva a cabo el diseño de la línea eléctrica de media tensión que suministre al polígono el fluido eléctrico desde Alcalá la Real, hasta los centros de transformación que fueron diseñados. Además, se incluye el diseño de la red eléctrica de baja tensión para proveer la energía que dará suministros a las naves del polígono y a los servicios generales. Por lo tanto, es importante para este proyecto que va más allá de la simple electrificación del polígono, fomentar el desarrollo económico y la creación de empleo en la región, atrayendo inversiones y facilitando la instalación de empresas en un entorno con una infraestructura eléctrica moderna y adaptada a las demandas de la industria actual.

Dado el desarrollo en curso de Alcalá la Real, se plantea la creación de un nuevo polígono industrial en las afueras de la localidad. Este proyecto pretende concentrar la actividad industrial en un área específica y separada de las zonas residenciales, ya que los polígonos industriales anteriores han sido integrados al núcleo urbano debido al crecimiento de la ciudad. La elección

del lugar para su establecimiento se basa en la excelente conectividad con las carreteras principales.

## 1.1 Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto es diseñar la parte eléctrica de un polígono industrial de nueva creación en Alcalá la Real.

Para ello, este objetivo global se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- O.1. Diseñar una Línea de Media Tensión (M.T.) para la alimentación de los 4 centros de Transformación (C.T) del Polígono.
- O.2. Diseñar la distribución de las Líneas de Baja Tensión (B.T.) del polígono industrial

Para la consecución de dichos objetivos nos planteamos las siguientes tareas:

- T.1. Búsqueda de información
- T.2. Diseño de una Línea de Media Tensión (M.T.) para la alimentación de los 4 Centros de Transformación del Polígono.
- T.3. Realización de los planos de las zanjas, canalizaciones y arquetas de la Línea de M.T
- T.4. Realización de los planos del Centro de Transformación del polígono.
- T.5. Diseño de las líneas de B.T para las distintas naves
- T.6. Diseño de las líneas de B.T para alumbrado público
- T.7. Realización de los planos de las Zonas Comunes del polígono.
- T.8. Diseño de las líneas de B.T para Zonas comunes del polígono.
- T.9. Realización de los planos de las zanjas, canalizaciones y arquetas de la Línea de B.T.
- T.10. Realización de los planos de las naves con sus respectivas instalaciones (Electrificación, Alumbrado de emergencia, y Cuadros Generales de Protección y Mando).
- T.11. Redacción de la Memoria del proyecto
- T.12. Realización del presupuesto

## 1.2 Estructura del proyecto

Para alcanzar los objetivos planteados, en primer lugar, se realiza el cálculo de la línea de Media Tensión que sirve como punto de conexión eléctrica con la red de distribución de la compañía eléctrica. Una vez hecho esto, se muestra el proceso de diseño llevado a cabo en los Centros de transformación, definiendo su distribución estratégica en el polígono para garantizar un suministro eléctrico eficiente a las diversas naves y servicios generales del área industrial.

En segundo lugar, se presenta el cálculo detallado de las Líneas de Baja tensión necesarias para alimentar a las distintas naves del polígono y a los servicios generales. Asimismo, se lleva a cabo el diseño específico de dichos servicios generales, tales como alumbrado y zonas recreativas, y se efectúa la planificación de los circuitos eléctricos dentro de las naves industriales, incluyendo su distribución óptima.

Por último, se procede a la síntesis de los hallazgos y conclusiones obtenidas a lo largo del estudio realizado. Además, se incluyen las referencias bibliográficas utilizadas durante el proceso y los planos detallados elaborados para el proyecto, proporcionando así una documentación completa y detallada del trabajo realizado.

### 1.3 Normas y referencias

En este apartado, se detallan todas las normas pertinentes necesarias para el diseño de la infraestructura eléctrica de un polígono industrial de nueva creación. Esto incluye la planificación y diseño tanto de la línea de media tensión como de la línea de baja tensión. Es fundamental seguir estas normativas para garantizar la seguridad, eficiencia y cumplimiento legal en el desarrollo del proyecto de electrificación. Las normas son las siguientes:

- Norma UNE 157001: 2002 “Criterios generales para la elaboración de proyectos”
- Normas Tecnológicas de la edificación NTE.IEE instalaciones de alumbrado exterior y redes exteriores de distribución, B.O.E 12-8-78 y 19.6.84.
- Normas particulares para instalaciones de enlace en el suministro de energía eléctrica en baja tensión. Resolución del 24 de febrero de 1983, del Departamento de Industria y energía. (DOGC núm. 342, 06/07/1983).
- Real Decreto 2949/1982, de 15 de octubre, del Ministerio de Industria y Energía (BOE núm. 272, 12/11/1982) (C.E BOE núm. 291 y 312, 04 y 29/12/1982 y BOE núm. 44, 21/02/1983)
- Real Decreto 614/2001 del 8 de junio sobre las disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al peligro eléctrico.
- Modificación del reglamento electrotécnico para baja tensión según Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002 (BOE nº224 de fecha 18 de septiembre de 2002).
- Instrucciones complementarias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Aplicación de las instrucciones complementarias. Orden de 6 de abril de 1974(BOE núm. 90, 15/04/1974).
- Aislamiento en las instalaciones eléctricas. Resolución del 30 de abril de 1974(BOE núm. 109, 07/05/1974).
- Ley 6/2001, del 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno. (DOGC 3407 del 12 de junio de 2001).
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo, Orden del 9 de marzo del 1971.

## Capítulo 2 Diseño de la línea de Media Tensión del polígono industrial

En este capítulo se detalla el proceso de diseño de la línea de Media Tensión (M.T.) del polígono industrial, asegurando el cumplimiento de las normativas actuales y garantizando las condiciones óptimas para obtener tanto la Autorización Administrativa como la de Ejecución de la instalación. Se presenta un análisis exhaustivo del diseño de la línea de 20 kV destinada a alimentar los centros de transformación del polígono, estableciendo y justificando todos los aspectos constructivos necesarios para su ejecución.

El diseño aborda tanto los aspectos técnicos como normativos, con el objetivo de asegurar que la red eléctrica aérea de Media Tensión cumpla con los requisitos mínimos exigidos por la reglamentación vigente. Se proporcionan detalles sobre los materiales utilizados, respaldados por cálculos que sustentan su idoneidad, así como la metodología de ejecución de las obras.

Este documento se fundamenta en las normativas específicas aplicables al diseño de líneas de media y alta Tensión, las cuales se detallan en las disposiciones normativas pertinentes:

- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que aprueban el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Real Decreto 263/2008, de 22 de febrero, por el que se establecen medidas de carácter técnico en líneas eléctricas de alta tensión, con objeto de proteger la avifauna.
- Real Decreto 3275/1982 de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, así como las Ordenes de 6 de julio de 1984, de 18 de octubre de 1984 y de 27 de noviembre de 1987, por las que se aprueban y actualizan las Instrucciones Técnicas Complementarias sobre dicho reglamento.
- Orden de 10 de marzo de 2000, modificando ITC MIE RAT en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- 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.
- Normas particulares y de normalización de la Cía. Suministradora de Energía Eléctrica.
- Normas Tecnológicas de la Edificación NTE IER.
- Normalización Nacional. Normas UNE.
- Ley 10/1996, de 18 de marzo sobre Expropiación Forzosa y sanciones en materia de instalaciones eléctricas y Reglamento para su aplicación, aprobado por Decreto 2619/1966 de 20 de octubre.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1.997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.
- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de

seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

A través de este enfoque integral, se establece una base sólida para la ejecución de la red, asegurando su eficiencia, seguridad y cumplimiento normativo.

En el diseño de la línea de media tensión, se seguirá rigurosamente el Reglamento sobre condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en las líneas eléctricas de Alta tensión. Este reglamento establece los estándares y requisitos mínimos que deben cumplirse en el diseño tanto de líneas de media como de alta tensión, garantizando así la seguridad y fiabilidad de la infraestructura eléctrica del polígono industrial.

## **2.1 Requisitos de diseño de la línea de media tensión del polígono industrial**

En determinadas circunstancias particulares, como cruzamientos y paralelismos con otras líneas eléctricas, carreteras o áreas urbanas, es imperativo seguir las disposiciones específicas detalladas en el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero. Este decreto aprueba el reglamento que establece las condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de Alta Tensión.

El objetivo primordial de estas disposiciones especiales es mitigar riesgos y aumentar la seguridad de la línea en situaciones donde existen potenciales conflictos o interferencias con otras infraestructuras o entornos sensibles. Al seguir estas prescripciones, se reduce la probabilidad de accidentes y se garantiza un funcionamiento seguro y confiable de la infraestructura eléctrica en todas las condiciones, incluso en aquellas consideradas excepcionales o de alto riesgo.

En aquellos casos en los que se presenten cruzamientos y paralelismos con cursos de agua no navegables, caminos de herradura, sendas, veredas, cañadas y cercados no edificados, no será necesario implementar disposiciones especiales, a menos que estos últimos requieran una elevación de los conductores.

Sin embargo, si se identifican tramos de línea con características especiales que demanden un refuerzo en sus condiciones de seguridad, será imperativo aplicar las siguientes disposiciones prescritas en el mencionado Real Decreto:

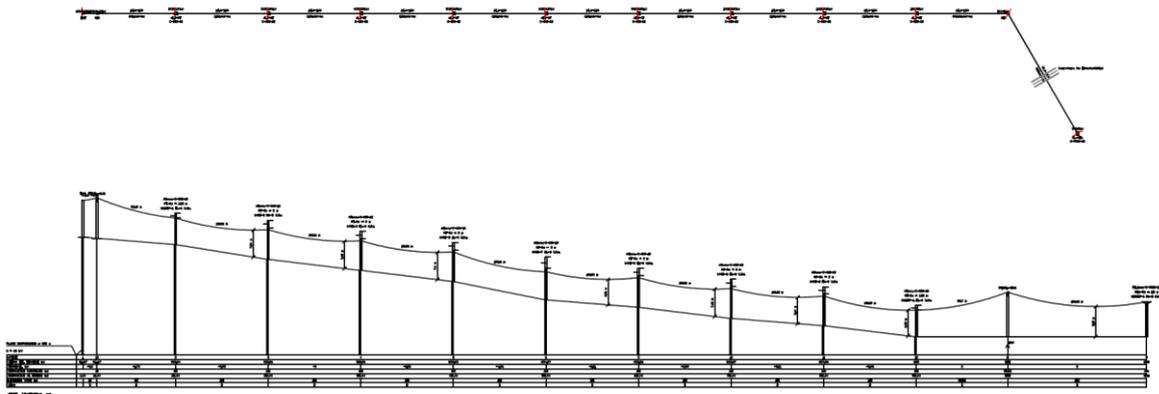
- a) En líneas con una tensión nominal superior a 30 kV, ningún conductor deberá tener una carga de rotura menor a 1.200 daN, mientras que en líneas con una tensión nominal igual o inferior a 30 kV, esta carga no podrá ser inferior a 1.000 daN. Además, se prohíben los empalmes en los vanos de cruce de los conductores.
- b) Está prohibido el uso de apoyos de madera.
- c) En el caso de hipótesis normales, los coeficientes de seguridad aplicados en las cimentaciones, los apoyos y las crucetas deberán exceder en un 25 % aquellos establecidos para la propia línea.
- d) Se permite asegurar los conductores al soporte de tres formas: mediante dos cadenas horizontales de amarre por conductor, utilizando una cadena de suspensión simple con coeficientes de seguridad mecánica de herrajes y aisladores un 25 % más altos que los establecidos, o mediante una cadena de suspensión doble.

Para aplicar las distancias necesarias en la línea de Media Tensión, se definen dos

parámetros clave:

- *Del*, que representa la distancia de aislamiento para evitar descargas entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra, y
- *Dpp* que indica la distancia de aislamiento para prevenir descargas entre conductores de fase.

La Figura 2 ofrece una representación gráfica del plano de la planta y alzado de la instalación de las redes eléctricas aéreas de media tensión, considerando las normativas de instalación y las distancias de prevención requeridas entre ellas. Es importante destacar que las líneas de Media Tensión deben mantener una mayor separación debido al campo magnético generado por el paso de la corriente eléctrica.



*Figura 2. Detalle del plano de la planta y alzado de la línea área de media tensión*

Así pues, los requisitos de diseño de nuestra línea serán los siguientes:

- **Tensión de la línea:** Este valor representa la tensión nominal de la línea eléctrica, es decir, la tensión a la que está diseñada para operar normalmente y para este caso donde la tensión de la línea es de 20 kV.
- **Tensión más elevada de la línea:** Este valor indica la tensión máxima a la que la línea puede ser sometida sin exceder sus límites de operación segura. Para el diseño la tensión más elevada es de 24 kV.
- **Velocidad del viento:** Este valor representa la velocidad del viento mínimo de referencia asumiendo un viento horizontal que impacta perpendicularmente a las superficies afectadas. La resistencia tendrá una tolerancia de 120 km/h.
- **Zonas:** B. Este término se refiere a la clasificación de la zona de ubicación de la línea eléctrica según la normativa aplicable.

### 2.1.1 Distancias de seguridad en el diseño de la línea de M.T.

De acuerdo con la normativa vigente, se establecen las siguientes pautas para la instalación de **apoyos en cruces con la red de carreteras del estado:**

- Para autopistas, autovías y vías rápidas, se requiere una distancia mínima de instalación de 50 metros.

- Para el resto de las carreteras estatales, la distancia mínima de instalación será de 25 metros.
- En el caso de carreteras no estatales, los requisitos de diseño de la instalación cumplirán las normativas específicas de cada comunidad autónoma, que en nuestro caso coinciden con las de las carreteras estatales. Además, en el caso de cruces con carreteras locales y vecinales, se autoriza la colocación de un empalme por conductor en el vano de cruce únicamente para las líneas de tensión nominal superior a 30 kV.

En nuestro caso específico, donde el ancho de la carretera del polígono industrial es de 24 metros, los apoyos situados a ambos lados de la carretera cumplen con una distancia superior a los 25 metros requeridos, garantizando así el cumplimiento de la normativa establecida.

De acuerdo con el Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, la distancia mínima al suelo para las líneas de alta tensión debe ser superior a 6,3 metros más la distancia de la flecha del vano, referida aquí como Del (en metros). Nuestra línea tiene una altura mínima de 6,91 metros en uno de sus vanos, más Del (en metros).

La altura de los vanos se ha calculado de acuerdo con la normativa vigente. En la Figura 2 se presenta el plano del diseño de nuestra línea, donde se detalla la altura de los vanos de las redes eléctricas. La Figura 3 muestra específicamente la altura mínima de los vanos, que es de 8,18 metros desde el vano hasta la carretera, más la distancia Del.

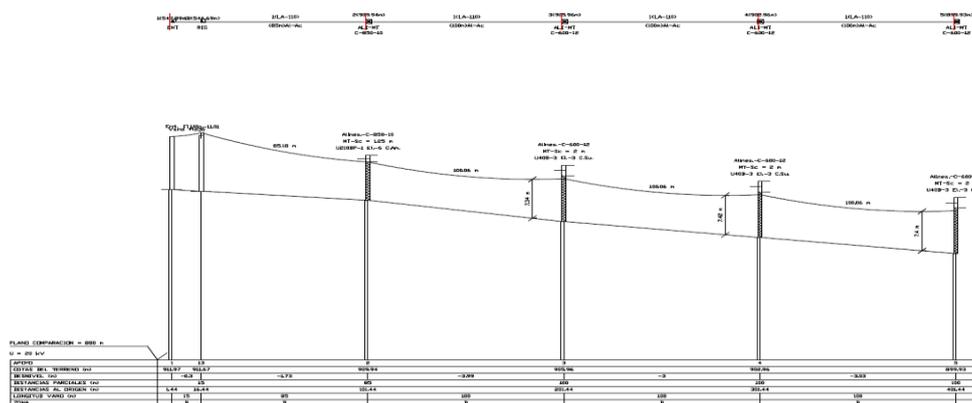


Figura 3. Distancias mínimas entre los vanos de las líneas eléctricas

Dado que nuestra línea de media tensión no atraviesa zonas boscosas ni áreas con árboles, ya que se encuentra ubicada en una zona de cultivo de olivar, se garantiza que se cumple con los requisitos de altura mínima de 6 metros + Del, necesario para permitir el paso seguro de maquinaria agrícola bajo la línea de alta tensión.

Para prevenir interrupciones del servicio y posibles incendios causados por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores eléctricos, se establecerá una zona de protección alrededor de la línea. Esta zona estará definida por la servidumbre de vuelo, ampliada por una distancia adicional de 1,5 + Del metro a ambos lados de la proyección de la línea.

Además, se llevará a cabo el corte de todos aquellos árboles que representen un riesgo para la integridad de la línea eléctrica. Gracias a la naturaleza del entorno de cultivo de olivar, se evita la presencia de árboles y se garantiza la seguridad y el buen funcionamiento de la infraestructura eléctrica.

Por otro lado, la normativa establece que se debe evitar el tendido de líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos en terrenos clasificados como suelo urbano. Además,

se prohíbe la construcción de edificios e instalaciones industriales dentro de la servidumbre de vuelo, ampliada por una distancia mínima de seguridad de 3,3 + Del metro a ambos lados. Del mismo modo, no se permitirá la construcción de líneas sobre edificios e instalaciones industriales dentro de la franja mencionada anteriormente. En el caso de nuestra línea de alta tensión, no atraviesa ninguna zona catalogada como suelo urbano, ya que está clasificada como suelo rural.

Para la zona cercana al polígono industrial, que está clasificada como zona industrial, se optará por realizar la línea de alta tensión de manera subterránea. Esto garantiza una integración adecuada con el entorno y cumple con las regulaciones correspondientes para este tipo de áreas.

Con el fin de cumplir con el Real Decreto que regula las condiciones técnicas y de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, es esencial además establecer directrices claras y precisas para las conexiones y empalmes en el diseño de la instalación de media tensión. Estas pautas garantizarán la integridad y el funcionamiento adecuado de la infraestructura eléctrica, así como la seguridad de las personas y propiedades en las áreas circundantes.

En este contexto, se establecen las siguientes especificaciones para los empalmes y conexiones de los conductores, asegurando su idoneidad y conformidad con la normativa vigente. Las conexiones y empalmes de los conductores se realizarán con precisión, utilizando piezas específicamente diseñadas para adaptarse a la naturaleza, composición y sección de los conductores. Es de suma importancia que tanto los empalmes como las conexiones mantengan la resistencia eléctrica del conductor sin aumentarla. Para lograr este objetivo, los empalmes entre conductores se llevarán a cabo utilizando manguitos de empalme de aluminio, los cuales deben ser capaces de soportar el 95% de la carga de rotura del cable sin sufrir roturas ni deslizamientos.

La conexión de conductores solo será permitida en aquellos casos donde los conductores no estén sometidos a tensión mecánica o en las uniones realizadas en el puente de conexión de las cadenas de amarre. En estos casos, la resistencia al deslizamiento deberá ser de al menos el 20% de la carga de rotura del conductor.

Se prohíbe de manera estricta realizar empalmes en conductores mediante soldadura a tope. Por lo general, los empalmes se realizarán en los puentes flexibles entre las cadenas de amarre, evitando hacerlos en los vanos. Además, se establece la prohibición de colocar más de un empalme por vano y conductor.

Cuando sea necesario unir conductores de diferentes secciones o naturalezas, esta unión se llevará a cabo en el puente de conexión de las cadenas de amarre. Es crucial que las piezas de empalme y conexión se seleccionen y diseñen cuidadosamente para evitar posibles efectos electrolíticos y tomar precauciones para prevenir la oxidación de las superficies en contacto. Para concluir, se enfatiza nuevamente la prohibición de tener más de un empalme por vano.

### **2.1.2 Requisitos de diseño de los herrajes y accesorios de la línea de M.T.**

Los herrajes y accesorios destinados a la línea de media tensión deben cumplir con las normativas UNE-EN 61284, UNE-EN 61854 o UNE-EN 61897, y ser compatibles con los requisitos eléctricos de la línea. Todos los materiales empleados deben ser resistentes a la corrosión atmosférica. Para los materiales férreos no inoxidable, se requiere galvanizado en caliente para

protegerlos de la corrosión. Los elementos sujetos a desgaste deben ser diseñados con materiales que maximicen su resistencia al rozamiento y al desgaste.

Las cadenas de aisladores deben cumplir con las normas UNE-EN 60305, UNE-EN 60433 o UNE-EN 61466-1 en términos de resistencia mecánica. Las dimensiones de los herrajes que se acoplan a los aisladores deben ajustarse a las normas UNE 21009 o UNE 21128.

Los dispositivos de cierre y bloqueo para uniones tipo rótula deben cumplir con la norma UNE-EN 60372. Al elegir materiales, se debe considerar su comportamiento ante bajas temperaturas y otros factores ambientales como radiación UV, ozono y polución atmosférica.

### **2.1.3 Requisitos de diseño de los Aisladores de la línea de M.T.**

Para garantizar el cumplimiento de las normativas pertinentes sobre los aisladores, en particular para las cadenas de aisladores tipo caperuza y vástago, se requiere fabricarlos usando un aislamiento compuesto de goma de silicona o poliméricos. Estos materiales son fundamentales para resistir las condiciones climáticas de la zona B donde se ubicará la línea de media tensión objeto de este proyecto, en el polígono industrial de Alcalá la Real (Jaén), incluyendo la radiación solar y la polución ambiental.

Para cumplir con estas condiciones, se utilizarán aisladores que cumplan con las normativas UNE-EN 61466-1 y UNE-EN 61466-2 para aquellos con aislamiento compuesto de goma de silicona, y UNE-EN 62217 para los aisladores poliméricos.

### **2.1.4 Requisitos de diseño de las crucetas y de los apoyos de la línea de M.T.**

Las crucetas que se utilizarán serán metálicas galvanizadas por inmersión en caliente, conforme a las especificaciones normativas, ya que están diseñadas para soportar los esfuerzos a los que estarán sometidas. Este diseño debe cumplir con las exigencias de distancias entre conductores y accesorios en tensión, apoyos y elementos metálicos, garantizando además las distancias adecuadas con el resto de los conductores y con el propio apoyo.

Los conductores de nuestra línea se asegurarán a los apoyos utilizando aisladores metálicos galvanizados para garantizar una alta resistencia a la exposición a los agentes atmosféricos. Esta elección se basa en las especificaciones normativas.

Se ha de tener en cuenta que el uso de tirantes para la sujeción de los apoyos está prohibido, excepto en situaciones específicas como averías, sustituciones o desvíos temporales.

En nuestra línea, se emplearán diferentes tipos de apoyo:

- Apoyo en suspensión: Estos apoyos están equipados con cadenas de aislamiento de suspensión y se utilizan para colgar los conductores.
- Apoyo en amarre: Estos apoyos también están equipados con cadenas de aislamiento de amarre y se emplean para fijar los conductores a la estructura de soporte.
- Apoyo de principio y fin de línea: Son los primeros y últimos apoyos de la línea y están diseñados para soportar las tensiones longitudinales del conjunto de conductores en un solo sentido. Estos apoyos también cuentan con cadenas de aislamiento de amarre.

La diferencia entre estos apoyos radica en su capacidad para soportar esfuerzos y en el tipo de cadenas de aislamiento que incorporan.

Los apoyos se seleccionarán según su ubicación con respecto al trazado de la línea de la siguiente manera:

- En tramos rectos de la línea se utilizarán apoyos de alineación.
- En los puntos donde la dirección de la línea cambia formando un ángulo, se emplearán apoyos de ángulo.

Tanto en los tramos rectos como en los cambios de dirección, los apoyos pueden ser de suspensión o de anclaje, según las necesidades específicas de la estructura de la línea en ese punto.

Las características técnicas de sus componentes (perfiles, chapas, tornillería, galvanizado, etc.) responderán a lo indicado en la norma UNE 207017(celosía) y UNE 207018 (chapa) o, en su defecto, en otras normas o especificaciones técnicas reconocidas.

Cada apoyo se identificará individualmente mediante un número, código o marca alternativa de forma que la identificación sea claramente legible desde el suelo. Además, en todos los apoyos, independientemente de su naturaleza, se deberán indicar de manera visible el fabricante y el tipo. Se recomienda encarecidamente colocar señalizaciones de riesgo eléctrico en todos los apoyos, las cuales deben cumplir con la normativa vigente sobre señalización de seguridad.

Para obtener los resultados necesarios para el diseño óptimo de los apoyos de la línea de media tensión, se emplea el software Andelec. Los cálculos se realizan utilizando los datos de la Tabla 2-1, **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde V representa el esfuerzo vertical, T el esfuerzo transversal, L el esfuerzo longitudinal y Lt el esfuerzo de torsión, Pcv el Peso que gravita sobre los apoyos de los conductores rotos con sobrecarga de viento, Pca el peso de la cadena de los aisladores, nc el numero de la cadena de aisladores del apoyo, Pch el peso que gravita sobre los apoyos debido al conductor y su sobrecarga, Fvc l esfuerzo del viento sobre los conductores, Eca el esfuerzo del viento sobre los herrajes y la cadena de aisladores, Dth el desequilibrio de tracciones, Roth se considerará el esfuerzo unilateral correspondiente a la rotura de un solo conductor aplicado en el punto que produzca la sollicitación más desfavorable, Rahrt El esfuerzo resultante de ángulo, rahrl El esfuerzo resultante del angulo en dirección longitudinal a la línea, roth El esfuerzo debido a la rotura de conductores,

Para determinar las tensiones de los conductores, se considerarán cuatro hipótesis principales: de viento, de hielo, de desequilibrio de tracciones y de rotura de conductores.

- En la primera hipótesis los conductores estarán expuestos a una sobrecarga de viento con una velocidad mínima de 120 km/h y a temperaturas de -10 °C en la zona B y -15 °C en la zona C.
- En el resto de las hipótesis, los conductores estarán sujetos a una sobrecarga mínima de hielo y a temperaturas de -15 °C en la zona B y -20 °C en la zona C.

En los apoyos de alineación y ángulo con cadenas de suspensión y amarre, se eliminará la cuarta hipótesis si se verifican simultáneamente las siguientes condiciones:

- La tensión nominal de la línea no excede los 66 kV.
- La carga de rotura del conductor es inferior a 6600 daN.
- Los conductores tienen un coeficiente de seguridad de al menos 3.

- El coeficiente de seguridad de los apoyos y cimentaciones en la tercera hipótesis es el adecuado para las hipótesis normales.
- Se instalan apoyos de anclaje cada 3 kilómetros como máximo.

La fórmula del cálculo de las hipótesis de los apoyos de líneas de alta tensión se utiliza en la ingeniería eléctrica y civil para diseñar y verificar la estructura de los postes o torres que sostienen los cables de transmisión de energía eléctrica. Estas estructuras deben ser capaces de soportar diversas cargas y fuerzas que actúan sobre ellas para garantizar la estabilidad y seguridad de las líneas de alta tensión.

Las hipótesis de diseño de los apoyos de líneas de alta tensión incluyen varias consideraciones y cálculos, entre los cuales destacan:

1. **Carga de viento:**
  - **Fuerza del viento sobre los conductores:** Se calcula considerando la velocidad del viento y la superficie de los conductores expuesta al viento.
  - **Fuerza del viento sobre la estructura:** También se debe considerar el efecto del viento sobre la propia estructura del apoyo (poste o torre).
2. **Carga de peso:**
  - **Peso propio de los conductores:** El peso de los cables de transmisión de electricidad.
  - **Peso de la estructura:** El peso propio de la torre o poste.
3. **Carga de hielo:**
  - **Peso del hielo acumulado en los conductores:** En climas fríos, el hielo puede acumularse en los cables, aumentando el peso que deben soportar los apoyos.
4. **Tensión de los conductores:**
  - **Tensión mecánica:** La tensión en los cables debido a la propia fuerza de gravedad y a las condiciones climáticas.
5. **Factores de seguridad:**
  - Se incluyen factores adicionales para cubrir incertidumbres en los cálculos y garantizar la seguridad estructural.

El contexto de uso de estas fórmulas y cálculos es el diseño y la ingeniería de infraestructuras eléctricas, especialmente en proyectos de instalación de nuevas líneas de transmisión o en la evaluación y mantenimiento de líneas existentes. Los ingenieros utilizan estas fórmulas para asegurarse de que las estructuras soportarán todas las cargas y fuerzas posibles durante su vida útil, evitando fallos estructurales que puedan interrumpir el suministro de electricidad o causar accidentes.

Tabla 2-1. Apoyo de líneas situadas en zonas B y C (Altitud igual o superior a 500 m)

TIPO DE APOYO	TIPO DE ESFUERZO	HIPOTESIS 1ª (Viento)	HIPOTESIS 2ª (Hielo)	HIPOTESIS 3ª (Desequilibrio de Tracciones)	HIPOTESIS 4ª (Rotura de conductores)
Alineación Suspensión	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc$			
	L			$L = D_{th}$	$L_t = R_{oth}$
Alineación Amarre	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc$			
	L			$L = D_{th}$	$L_t = R_{oth}$
Angulo Suspensión	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc + R_{av}T$	$T = R_{ah}T$	$T = R_{ah}dT$	$T = R_{ahr}T$
	L			$L = R_{ah}dL$	$L = R_{ahr}L$ $L_t = R_{oth}$
Angulo Amarre	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc + R_{av}T$	$T = R_{ah}T$	$T = R_{ah}dT$	$T = R_{ahr}T$
	L	$L = R_{av}L$	$L = R_{ah}L$	$L = R_{ah}dL$	$L = R_{ahr}L$ $L_t = R_{oth}$
Anclaje Alineación	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc$			
	L			$L = D_{th}$	$L_t = R_{oth}$
Anclaje Angulo y Estrellamiento	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc + R_{av}T$	$T = R_{ah}T$	$T = R_{ah}dT$	$T = R_{ahr}T$
	L	$L = R_{av}L$	$L = R_{ah}L$	$L = R_{ah}dL$	$L = R_{ahr}L$ ; $L_t = R_{oth}$
Fin de línea	V	$V = P_{cv} + P_{ca} \cdot nc$	$V = P_{ch} + P_{ca} \cdot nc$		$V = P_{ch} - P_{chr} + P_{ca} \cdot nc$
	T	$T = F_{vc} + E_{ca} \cdot nc$			
	L	$L = D_{tv}$	$L = D_{th}$		$L_t = R_{oth}$

### 2.1.5 Elementos del sistema de puesta a tierra y condiciones de montaje

El sistema de puesta a tierra debe incluir uno o varios electrodos de puesta a tierra enterrados en el suelo, los cuales estarán conectados a los elementos metálicos del apoyo. Quedando estos instalados a tierra. Estos electrodos estarán formados por una pica de cobre de  $35\text{mm}^2$  de sección, la cual estará conectada a la toma de tierra del apoyo, como se ilustra en la Figura 4. Esta configuración asegura que se cumplan tanto la tensión de paso de contacto como la resistencia máxima de  $250\ \Omega$  para apoyos no frecuentados y de  $25\ \Omega$  para apoyos con maniobra o frecuentados.

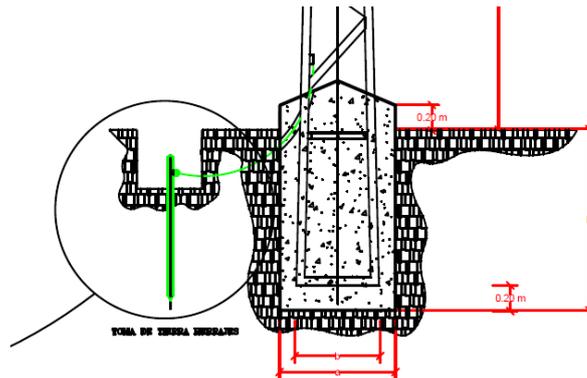


Figura 4. Detalle del plano del electrodo de puesta a tierra del poste de celosía

Los electrodos de puesta a tierra podrán disponerse de las siguientes formas:

- Electrodos horizontales de puesta a tierra (varillas, barras o cables enterrados) dispuestos en forma radial, formando una red mallada o en forma de anillo. También podrán ser placas o chapas enterradas.
- Picas de tierra verticales o inclinadas hincadas en el terreno, constituidas por tubos, barras u otros perfiles, que podrán estar formados por elementos empalmables.

Es recomendable que el electrodo de puesta a tierra se encuentre a una profundidad suficiente para evitar la congelación del agua ocluida en el terreno. Por lo tanto, se recomienda enterrar los electrodos horizontales de puesta a tierra serán enterrados como mínimo a una profundidad de 0,5 m (habitualmente entre 0,5 m y 1 m). Esta medida garantiza una cierta protección mecánica.

Para su instalación, los electrodos horizontales deben colocarse en el fondo de una zanja o excavación de la cimentación, rodeados de tierra ligeramente apisonada. También es importante que las piedras o grava no estén en contacto directo con los electrodos enterrados. Además, si el suelo natural es corrosivo para el metal del electrodo, se debe reemplazar por un relleno adecuado. Este proceso asegura una instalación efectiva y duradera del sistema de puesta a tierra.

Las picas verticales o inclinadas son particularmente ventajosas cuando la resistividad del suelo decrece mucho con la profundidad. Se clavarán en el suelo, empleando herramientas apropiadas

para evitar que los electrodos se dañen durante su hincado. Cuando se instalen varias picas en paralelo se separarán como mínimo 1,5 veces la longitud de la pica. La parte superior de cada pica siempre quedará situada debajo del nivel de tierra. Las uniones utilizadas para conectar las partes conductoras de una red de tierras, con los electrodos de puesta a tierra dentro de la propia red, deberán tener las dimensiones adecuadas para asegurar una conducción eléctrica y un esfuerzo térmico y mecánico equivalente a los de los propios electrodos.

Los electrodos de puesta a tierra deberán ser resistentes a la corrosión y no deberán ser susceptibles de crear pares galvánicos. Cuando se tengan que conectar metales diferentes, que creen pares galvánicos, pudiendo causar una corrosión galvánica, las uniones se realizarán mediante piezas de conexión bimetálica apropiadas para limitar estos efectos.

Los conductores de las líneas de tierra deberán instalarse realizando su recorrido lo más corto posible. Se debe de evitar que los conductores de la línea de tierra entre directamente al suelo o al hormigón, siendo estos protegidos mediante un tubo, para evitar la corrosión de estos conductores.

Todos los apoyos deberán de conectarse a tierra con una conexión específica. Todos los apoyos de material conductor o de hormigón armado deberán conectarse a tierra mediante una conexión específica. Los apoyos de material no conductor no necesitarán puesta a tierra. Además, todos los apoyos frecuentados, salvo los de material aislante, deberán ponerse a tierra. Las cimentaciones podrán ser realizadas en hormigón, hormigón armado o acero.

#### **2.1.6 Entronque**

La conexión de la línea de derivación con la principal se realizará con un puente flojo entre ambas, y es importante destacar que no se permite aplicar fuerzas mecánicas a las piezas de conexión.

La derivación debe partir de un apoyo de amarre ya existente o desde uno de alineación, siempre y cuando se reemplacen las cadenas de aisladores por cadenas de amarre. En caso de que esto no sea factible, será necesario realizar la instalación de un apoyo adicional, La Figura 5 se muestra ilustrativamente las recomendaciones del entronque, en donde se instalara como medida preventiva la puesta a tierra y la placa de riesgo eléctrico a una distancia de 2 metros de la postería o torre eléctrica.

La pica de acero debe ser cobrizado de 14 mm de diámetro con una longitud de 2 metros y al momento de instalarla debe quedar a la distancia de 0.5 metros por debajo de la superficie, el conductor que une la pica de acero con el elemento a aterrizar debe cumplir con las siguientes características que se visualizan en la Figura 5. La instalación de la placa de riesgo eléctrico debe contar con la señalización de riesgo eléctrico, con el aviso de alta tensión, peligro de muerte. Debe ser instalada a una altura de 2.5 metros con respecto a la superficie del suelo ver Figura 5.

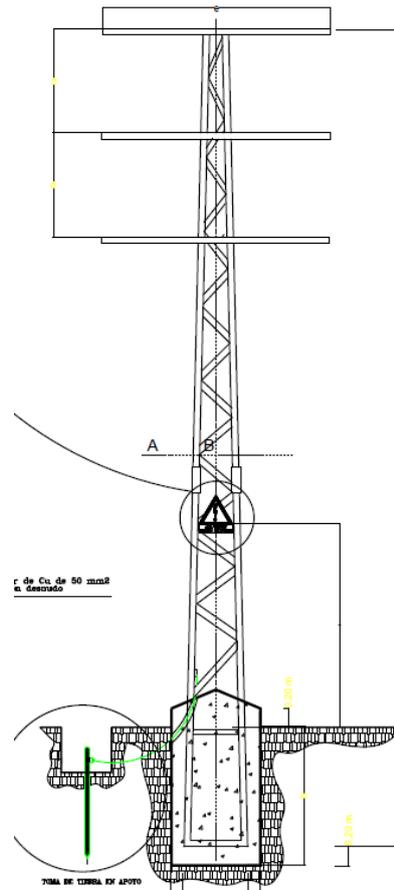


Figura 5. Detalle del plano del poste de entronque

### 2.1.7 Disposiciones de protección en el Diseño de la línea de M.T.

De acuerdo con la normativa actual, es imperativo implementar medidas anti-electrocución y anticolidión en las líneas eléctricas aéreas de alta y media tensión con conductores desnudos que se ubiquen en Zonas de Protección de la Avifauna, sin importar las regulaciones autonómicas. Por lo tanto, todos los apoyos incluidos en el proyecto estarán equipados con esta protección para garantizar la seguridad de la avifauna.

En las líneas eléctricas construidas con conductores desnudos, se aplicará protección contra la electrocución mediante las especificaciones indicadas en el diseño de la línea de M.T. tal y como se detalla a continuación:

- a) Se construirán las líneas utilizando cadenas de aisladores, evitando colocarlos en posición rígida en los apoyos de alineación.
- b) Los apoyos que incluyan puentes, seccionadores, fusibles, transformadores de distribución, de derivación, anclaje, amarre, especiales, ángulo y fin de línea, se diseñarán de manera que no sobrepasen con elementos en tensión las crucetas o semicrucetas no auxiliares de los apoyos. En caso necesario, se aislarán los puentes de unión entre los elementos en tensión.

c) En el caso de armados canadienses y de tresbolillo (atirantado o plano), la distancia entre la semicruceta inferior y el conductor superior será de al menos 1,5 metros.

d) Para crucetas o armados tipo bóveda, la distancia entre la cabeza del fuste y el conductor central será de al menos 0,88 metros, y se aislará el conductor central a 1 metro a cada lado del punto de enganche.

e) Se establecerán distancias mínimas de seguridad "d" entre el conductor y los armados, según se detalla a continuación. Las alargaderas en las cadenas de amarre se diseñarán para evitar que las aves se posen en ellas.

Teniendo en cuenta las distancias mínimas de seguridad pertinentes para nuestro tipo de cruceta, estas se distribuirían en forma de tresbolillo.

Por último, dado que nuestra línea fue construida por un tercero y luego transferida a la compañía de distribución, no será requerida la instalación de salvapájaros ni señalizadores visuales para prevenir colisiones.

### **2.1.8 Especificaciones de Materiales, Equipo y Ejecución**

Todos los materiales utilizados en la instalación deben pertenecer a tipos "aceptados" por la Compañía Suministradora de Electricidad. El aislamiento de los materiales utilizados en la instalación debe cumplir como mínimo con los estándares requeridos para redes eléctricas de Media Tensión.

En cuanto a los materiales siderúrgicos, se exige que sean al menos de acero A-42b. Además, deben someterse a un proceso de galvanización por inmersión en caliente con un recubrimiento de zinc de al menos 0,61 kg/m<sup>2</sup>. Estos materiales deben demostrar su capacidad para resistir cuatro inmersiones en una solución de SO<sub>4</sub> Cu al 20 % con una densidad de 1,18 a 18 °C, sin que el hierro quede expuesto o se colorea parcialmente.

El diseño de la línea de Media Tensión debe realizarse conforme a los criterios establecidos en la ITC-LAT 07 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en las Líneas Eléctricas de Alta Tensión. Además, se debe tener en cuenta la Ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales. Antes de llevar a cabo el diseño, se deberá realizar un estudio previo en colaboración con una entidad competente para garantizar la seguridad y el cumplimiento normativo.

## **2.2 Estado de las mediciones de los conductores**

Se detalla aquí el estado de las mediciones de los conductores en conformidad con los criterios establecidos por la ITC-LAT 07 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión.

Para determinar la sección de los conductores de la línea de alta tensión, se emplearán los cálculos basados en la tensión máxima de un vano y en la resistencia a la rotura del conductor. Los siguientes apartados abordarán específicamente la rotura de los conductores y el cálculo de la cadena de aisladores, detallando los procedimientos y consideraciones

pertinentes en cada caso.

### 2.2.1 Rotura de los conductores

Para calcular la resistencia a la rotura del conductor, nos basaremos en las expresiones proporcionadas por la ITC-LAT 07 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión. Estas expresiones detalladas a continuación nos permiten evaluar de manera precisa la capacidad del conductor para resistir condiciones y situaciones diversas siguiendo las normas UNE.

Al utilizar estas expresiones, podemos determinar con exactitud cómo responderá el conductor ante cargas y tensiones específicas, lo que resulta fundamental para garantizar la integridad y seguridad de la línea eléctrica de alta tensión. La correcta evaluación de la rotura del conductor nos proporciona información crucial para dimensionar adecuadamente la sección del conductor y así asegurar un funcionamiento óptimo del sistema eléctrico.

La fórmula del cálculo de la rotura de los conductores en los apoyos de líneas de alta tensión se utiliza para determinar la tensión máxima que un conductor puede soportar antes de romperse, y para asegurar que el diseño de la infraestructura de transmisión eléctrica sea seguro y confiable. Esta evaluación es crítica en el diseño y mantenimiento de las líneas de transmisión de energía eléctrica, ya que los conductores están expuestos a diversas tensiones y condiciones ambientales que pueden afectar su integridad.

1. **Diseño de Nuevas Líneas:** Al diseñar nuevas líneas de alta tensión, es esencial calcular las tensiones a las que estarán sometidos los conductores para seleccionar los materiales adecuados y dimensionar correctamente los apoyos (postes, torres, etc.).
2. **Mantenimiento y Revisión de Líneas Existentes:** En el mantenimiento de líneas de alta tensión, se debe revisar periódicamente el estado de los conductores para detectar posibles desgastes o daños que puedan comprometer su integridad y, por tanto, la seguridad del sistema de transmisión.
3. **Condiciones Climáticas y Ambientales:** Los conductores pueden estar sujetos a diferentes condiciones ambientales como viento, hielo, y temperatura. Estos factores pueden aumentar la tensión sobre los conductores, por lo que es necesario calcular su impacto para prevenir fallos.

$$1. T_A = P_0 \cdot Y_A = P_0 \cdot c \cdot \cosh\left(\frac{X_A}{c}\right) = P_0 \cdot c \cdot \cosh\left[\frac{\left(X_m - \frac{a}{2}\right)}{c}\right]$$

$$2. T_B = P_0 \cdot Y_B = P_0 \cdot c \cdot \cosh\left(\frac{X_B}{c}\right) = P_0 \cdot c \cdot \cosh\left[\frac{\left(X_m + \frac{a}{2}\right)}{c}\right]$$

$$3. P_v = K \cdot \frac{d}{1000} \quad \begin{array}{l} K=60 \cdot (v/120)^2 \text{ daN/m}^2 \text{ si } d \leq 16 \text{ mm y } v \leq 120 \text{ Km/h} \\ K=50 \cdot (v/120)^2 \text{ daN/m}^2 \text{ si } d > 16 \text{ mm y } v \leq 120 \text{ Km/h} \end{array}$$

4.  $P_{vh} = K \cdot \frac{D}{1000}$        $K=60 \cdot (v/120)^2$  daN/m<sup>2</sup> si  $d \leq 16$  mm y  $v \leq 60$  Km/h  
 $K=50 \cdot (v/120)^2$  daN/m<sup>2</sup> si  $d > 16$  mm y  $v \leq 60$  Km/h
5.  $P_h = K \cdot \sqrt{d}$        $K=0.18$  Zona B  
 $K=0.36$  Zona C
6.  $P_0 = \sqrt{(P_p^2 + P_v^2)}$       Zona A, B y C. Hipótesis de viento.
7.  $P_0 = P_p + P_h$       Zonas B y C. Hipótesis de hielo.
8.  $P_0 = \sqrt{[(P_p + P_h)^2 + P_{vh}^2]}$       Zonas B y C. Hipótesis de hielo + viento.  
Cuando sea requerida por la empresa eléctrica.
9.  $c = \frac{T_{0h}}{P_0}$
10.  $X_m = c \cdot \ln \left[ z + \sqrt{(1 + z^2)} \right]$
11.  $z = \frac{h}{(2 \cdot c \cdot \operatorname{senh} \frac{a}{2c})}$

Siendo:

v = Velocidad del viento (Km/h).

T<sub>A</sub> = Tensión total del conductor en el punto de fijación al primer apoyo del vano (daN).

T<sub>B</sub> = Tensión total del conductor en el punto de fijación al segundo apoyo del vano (daN).

P<sub>0</sub> = Peso total del conductor en las condiciones más desfavorables (daN/m).

P<sub>p</sub> = Peso propio del conductor (daN/m).

P<sub>v</sub> = Sobrecarga de viento (daN/m).

P<sub>vh</sub> = Sobrecarga de viento incluido el manguito de hielo (daN/m).

P<sub>h</sub> = Sobrecarga de hielo (daN/m).

d = diámetro del conductor (mm).

D = diámetro del conductor incluido el espesor del manguito de hielo (mm).

Y = c · cosh (x/c) = Ecuación de la catenaria.

c = constante de la catenaria.

Y<sub>A</sub> = Ordenada correspondiente al primer apoyo del vano (m).

Y<sub>B</sub> = Ordenada correspondiente al segundo apoyo del vano (m).

X<sub>A</sub> = Abscisa correspondiente al primer apoyo del vano (m).

X<sub>B</sub> = Abscisa correspondiente al segundo apoyo del vano (m).

X<sub>m</sub> = Abscisa correspondiente al punto medio del vano (m).

a = Proyección horizontal del vano (m).

h = Desnivel entre los puntos de fijación del conductor a los apoyos (m).

T<sub>0h</sub> = Componente Horizontal de la Tensión en las condiciones más desfavorables o Tensión

Máxima Horizontal (daN). Es constante en todo el vano.

En nuestra línea de media tensión, nos limitaremos a aplicar únicamente la condición inicial de la zona B para la ecuación del cambio de condiciones de las hipótesis que restringen la máxima tracción admisible. Esto implica que nos concentraremos específicamente en esta condición para ajustar correctamente la sección del conductor y asegurar su resistencia óptima ante las diversas cargas y tensiones a las que pueda estar sometido el sistema.

Esta selección se fundamenta en un análisis minucioso de las características y requisitos particulares de nuestra línea de media tensión. Esencialmente, nos aseguramos de diseñar y dimensionar adecuadamente el sistema, cumpliendo con los estándares de seguridad y rendimiento exigidos.

Las condiciones de las hipótesis que limitan la máxima tracción admisible incluyen la hipótesis de tracción máxima por viento a una temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una sobrecarga de viento (Pv), la hipótesis de tracción máxima por hielo a una temperatura de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una sobrecarga de viento (Ph), y la hipótesis de tracción máxima por hielo y viento (cuando sea requerida por la empresa eléctrica) a una temperatura de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una sobrecarga de viento (Pvh), que incluye el manguito de hielo y la sobrecarga de hielo (Ph).

Después de completar los cálculos de rotura del conductor y de la tensión máxima del mismo, se ha llegado a una sección no estandarizada. Los resultados de estos cálculos se presentan en la Tabla 2-2, donde se incluyen tanto el material como la sección seleccionada que sí están estandarizados.

*Tabla 2-2. Sección del conductor.*

Sección(mm <sup>2</sup> )	Metal	Design
116.2	Al-Ac	LA-110

Como se observa en la Tabla 2-2, la sección obtenida es de  $116.2\text{mm}^2$ . Esta cifra se derivó del uso de la fórmula para calcular la sección transversal del conductor (S), la cual depende de la corriente máxima admisible (I) y la densidad de corriente (J), representada por la fórmula  $S=I/J$ . Dado que esta sección no se encuentra normalizada, es necesario recurrir a la sección inmediatamente más cercana, que en nuestro caso sería de  $110\text{mm}^2$ .

Se especifica que el conductor debe ser de aluminio con núcleo acerado, de acuerdo con los estándares y requerimientos del proyecto.

## 2.2.2 Cálculo de la cadena de aisladores

La fórmula del cálculo de la cadena de aisladores en los apoyos de líneas de alta tensión se utiliza principalmente para asegurar la correcta separación y aislamiento entre los conductores de una línea eléctrica y las estructuras de soporte. Los aisladores son componentes cruciales en las líneas de alta tensión, ya que previenen la fuga de corriente y protegen la infraestructura y la seguridad pública.

Los aisladores en las líneas de alta tensión sirven para:

1. **Aislamiento eléctrico:** Separan eléctricamente el conductor de la torre o estructura de soporte.
2. **Soporte mecánico:** Sostienen el peso de los conductores y resisten las tensiones mecánicas.
3. **Protección contra descargas atmosféricas:** Ayudan a proteger los equipos y las líneas de las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas.

El cálculo de la cadena de aisladores se realiza en el diseño y mantenimiento de las líneas de alta tensión. Este cálculo es crucial para garantizar que los aisladores puedan soportar tanto las cargas mecánicas como las tensiones eléctricas a las que estarán expuestos. Los factores que se deben considerar incluyen:

1. **Voltaje de operación:** La longitud de la cadena de aisladores aumenta con el voltaje de operación para proporcionar un aislamiento adecuado.
2. **Condiciones ambientales:** Factores como la contaminación, humedad, salinidad, y temperatura afectan el rendimiento de los aisladores.
3. **Carga mecánica:** El peso del conductor, la tensión del viento y la acumulación de hielo deben ser considerados en el cálculo.

Para calcular el esfuerzo del viento sobre la cadena de aisladores  $E_{ca}$ , se empleó la expresión:

$$E_{ca} = k \cdot \left(\frac{DA_{is}}{1000}\right) \cdot L_{ca} \text{ (daN)}$$

Siendo:

$E_{ca}$  el esfuerzo del viento sobre la cadena (daN).

$k = 70 \cdot \left(\frac{v}{120}\right)^2$  el cálculo obtenido en el esfuerzo del viento sobre el apoyo (daN).

$v$  = Velocidad del viento (Km/h).

$DA_{is}$  = Diámetro máximo de un aislador (mm).

$L_{ca}$  = Longitud de la cadena (m).

Con el fin de satisfacer los requisitos tanto de los esfuerzos mecánicos generados por el viento como del cálculo eléctrico para evitar la tensión de paso eléctrico, se llevaron a cabo los cálculos correspondientes de la cadena de aisladores según su tipo, los cuales se detallan en la más adelante Tabla 2-3. En dicha tabla  $Q_a$  es la Carga de Rotura del aislador y  $L_{if}$  es la longitud de la tensión de paso del aislador.

Tabla 2-3. Cálculo de cadena de aisladores atendiendo al tipo

Apoyo	Tipo	Denominación	Qa (daN)	Diámetro Aisladores (mm)	Llf (mm)	Longitud Aisladores (m)	Peso Aisladores (daN)
2	Amarre	U210BP	21000	330	525	0.17	9.22
3	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
4	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
5	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
6	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
9	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
10	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
11	Suspensión	U40B	4000	175	190	0.11	1.67
12	Amarre	U210BP	21000	330	525	0.17	9.22
9	Fin Línea	U210BP	21000	330	525	0.17	9.22

Podrá obtenerse un indicador de la durabilidad de las cadenas de aisladores de material cerámico o vidrio a partir de los ensayos termo-mecánicos especificados en la norma UNE-EN 60383-1. Es fundamental que las características y dimensiones de los aisladores utilizados en la construcción de líneas aéreas cumplan con los requisitos establecidos en normativas específicas.

En la Tabla 2-4 se presentan los cálculos de los esfuerzos correspondientes a los distintos tipos de cadenas de aisladores, siguiendo las directrices de las siguientes normas:

- UNE-EN 60305 y UNE-EN 60433, para los elementos de cadenas de aisladores de vidrio o cerámicos.
- UNE-EN 61466-1 y UNE-EN 61466-2, para los aisladores de aislamiento compuesto de goma de silicona.
- CEI 60720, para los aisladores rígidos de columna o peana.
- UNE-EN 62217, para los aisladores poliméricos.

En la Tabla 2-4 se incluye el número de cadenas de cada tipo, el número de aisladores (nº Ais), el nivel de aislamiento recomendado según las zonas por donde atraviesa la línea (Nia), la longitud de la cadena (Lca), el peso de la cadena de aisladores y herrajes (Pca), el esfuerzo de la mitad de la presión de viento sobre la cadena de aisladores y herrajes cuando su velocidad es de 120 km/h (Eca), el esfuerzo de la mitad de la presión de viento sobre el conductor a una velocidad de 120 km/h (Pv + Pca), el coeficiente de seguridad a la rotura de los aisladores con cargas normales (Csmv), la tensión horizontal máxima en las condiciones más desfavorables (Toh) y el coeficiente de seguridad a la rotura de los aisladores con cargas anormales (Csmh).

Tabla 2-4. Cálculo de los esfuerzos de las cadenas de aisladores

Apoyo	Nº Cadenas	Denominación	Nº Aisladores	Nia (cm/kV)	Lca (m)	Pca (daN)	Eca (daN)	Pv+Pca (daN)	Csmv	Toh· ncf (daN)	Csmh
2	6 de Amarre	U210BP	1	1.7	0.35	9.22	3.93	109.21	192.3	1429.87	14.69

Apoyo	Nº Cadenas	Denominación	Nº Aisladores	Nia (cm/kV)	Lca (m)	Pca (daN)	Eca (daN)	Pv+Pca (daN)	Csmv	Toh· ncf (daN)	Csmh
3	3 de Suspensión	U40B	3	1.7	0.51	5.01	4.04	112.85	35.44	0	40000
4	3 de Suspensión	U40B	3	1.7	0.51	5.01	4.04	115.35	34.68	0	40000
5	3 de Suspensión	U40B	3	1.7	0.51	5.01	4.04	148.89	26.87	0	40000
6	3 de Suspensión	U40B	7	5	0.95	11.69	9.43	66.95	59.75	0	40000
9	de Suspensión	U40B	3	1.7	0.51	5.01	4.04	135.12	29.6	0	40000
10	de Suspensión	U40B	3	1.7	0.51	5.01	4.04	101.02	39.6	0	40000
11	de Suspensión	U40B	3	1.7	0.51	5.01	4.04	140.45	28.48	0	40000
12	6 de Amarre	U210BP	1	1.7	0.35	9.22	3.93	25.6	820.17	1431.17	14.67
9	3 de fin de línea	U210BP	1	1.7	0.35	9.22	3.93	66.71	314.78	1432.57	14.66

Los esfuerzos verticales actuantes sobre la zapata (FV) son el resultado de varios factores, incluyendo los pesos involucrados. Para su cálculo se ha empleado la expresión siguiente cuyas unidades son daN:

$$FV = \frac{TV}{4} + \frac{Pa}{4} + Pt + Ph$$

donde

TV representa los esfuerzos verticales del cálculo de los apoyos, medidos en daN.

Pa es el peso del apoyo, expresado en daN

Pt es el peso de la tierra levantada, en daN.

Ph es el peso del hormigón de la zapata, también en daN.

Ncf es el número de conductores por fase.

Los cálculos de los esfuerzos verticales sin sobrecarga realizados se muestran en la Tabla 2-5 para dos temperaturas (-15 °C y -5 °C) y para los diferentes tipos de cadenas de aislamiento.

Tabla 2-5. Cálculo de esfuerzos verticales sin sobrecarga.

Apoyo	Tipo	Esfuerzos verticales sin sobrecarga a -15°C (daN)	Esfuerzos verticales sin sobrecarga a -5°C (daN)
2	Amarre	40.29	56.19
3	Suspensión	137.15	137.81
4	Suspensión	143.67	143.54
5	Suspensión	231.26	220.46
6	Suspensión	19.66	37.1
9	Suspensión	195.37	188.94
10	Suspensión	106.24	110.67
11	Suspensión	209.29	201.16
12	Amarre	-145.44	-105.56
9	Fin Línea	67.95	74.49

Los resultados obtenidos tras aplicar estos cálculos para la cadena de aisladores se muestran en la Tabla 2-6 donde podemos ver como serían los dos modelos de cadenas de aisladores U210BP y U40B.

Tabla 2-6. Cadena de aisladores.

Designación	Total (Ud.)
U210BP	3
U40B	24

### 2.3 Medición de los apoyos

Para el proceso para obtener los apoyos necesarios para la instalación se llevarán a cabo una serie de cálculos y consideraciones importantes. En primer lugar, se calculará la Tensión máxima que deberá soportar el apoyo. Luego, se determinará la Flecha máxima, es decir, la máxima desviación vertical que puede tener el apoyo bajo carga. Se calculará también la Flecha de tendido, que representa la desviación vertical del conductor cuando está bajo tensión.

Además, se considerarán diferentes Hipótesis de cálculo de apoyo, que pueden incluir factores como la resistencia al viento, la carga de hielo, entre otros. Estas hipótesis serán fundamentales para determinar los requerimientos específicos del apoyo en términos de resistencia y estabilidad.

Finalmente, se seleccionará y se mostrará el tipo de apoyo adoptado, basado en los resultados de los cálculos y las consideraciones previas. Este proceso garantiza que los apoyos elegidos sean adecuados para resistir las cargas y tensiones esperadas en la instalación eléctrica.

La tensión máxima en un vano, que ocurre en los puntos donde el conductor se fija al apoyo, es crucial para determinar la resistencia que el apoyo debe poseer. Para calcular esta tensión máxima y así asegurar que el apoyo pueda soportarla adecuadamente, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$T_A = P_0 \cdot Y_A = P_0 \cdot c \cdot \cosh\left(\frac{X_A}{c}\right) = P_0 \cdot c \cdot \cosh\left[\frac{\left(X_m - \frac{a}{2}\right)}{c}\right]$$

siendo

- v = Velocidad del viento (Km/h).
- TA = Tensión total del conductor en punto de fijación al primer apoyo del vano (daN).
- TB = Tensión total del conductor en punto de fijación al segundo apoyo del vano (daN).
- P0 = Peso total del conductor en las condiciones más desfavorables (daN/m).
- Pp = Peso propio del conductor (daN/m).
- Pv = Sobrecarga de viento (daN/m).
- Pvh = Sobrecarga de viento incluido el manguito de hielo (daN/m).
- Ph = Sobrecarga de hielo (daN/m).
- d = diámetro del conductor (mm).
- D = diámetro del conductor incluido el espesor del manguito de hielo (mm).
- Y = c · cosh (x/c) = Ecuación de la catenaria.
- c = constante de la catenaria.
- YA = Ordenada correspondiente al primer apoyo del vano (m).
- YB = Ordenada correspondiente al segundo apoyo del vano (m).
- XA = Abscisa correspondiente al primer apoyo del vano (m).
- XB = Abscisa correspondiente al segundo apoyo del vano (m).
- Xm= Abscisa correspondiente al punto medio del vano (m).
- a = Proyección horizontal del vano (m).
- h = Desnivel entre los puntos de fijación del conductor a los apoyos (m).
- T0h = Componente Horizontal de la Tensión en las condiciones más desfavorables o Tensión Máxima Horizontal (daN).

La tensión en todo el vano es constante y los resultados de los cálculos de la Componente Horizontal de la Tensión en el vano en las condiciones más desfavorables, o Tensión Máxima Horizontal, considerando diversas temperaturas y condiciones de viento o hielo, se presentan en la Tabla 2-7.

Tabla 2-7. Tensión máxima en el vano

Vano	Longitud (m)	Desnivel (m)	Vano Regula. (m)	Hipótesis de Tensión Máxima	
				-10°C+V Toh (daN)	-15°C+H Toh (daN)
13-2	85	-5.48	85	1323.8	1429.9
2-3	100	-3.15	100	1317.1	1430.5
3-4	100	-3	100	1317.1	1430.5
4-5	100	-3.03	100	1317.1	1430.5
5-6	100	-5.4	100	1317.1	1430.5
6-9	100	-1.57	100	1317.1	1430.5
9-10	100	-2.99	100	1317.1	1430.5
10-11	100	-2.01	100	1317.1	1430.5

11-12	100	-3.8	100	1317.1	1430.5
12-8	98.56	4.86	98.56	1318.7	1431.2
8-9	150	-2.61	150	1296.7	1432.6

Las condiciones finales a considerar en la ecuación del cambio de condiciones, junto con los resultados de la flecha máxima que se muestran en la Tabla 2-8, se basan en diferentes hipótesis:

- Hipótesis de viento: se evalúa a una temperatura de +15 °C, con sobrecarga debida al viento (Pv).
- Hipótesis de temperatura: se analiza a una temperatura de +50 °C, sin sobrecarga adicional.
- Hipótesis de hielo: se examina a una temperatura de 0 °C, con sobrecarga debida al hielo (Ph).

En la Zona A, se consideran las hipótesis a) y b), mientras que, en las Zonas B y C, se incluyen las hipótesis a), b) y c). Esto asegura una evaluación exhaustiva de las condiciones climáticas y de carga para determinar la flecha máxima en cada escenario.

Tabla 2-8. Condiciones finales y resultados de Flecha máxima

Vano	Longit. (m)	Desni. (m)	Vano Regula. (m)	Hipótesis de Flecha Máxima						Hipótesis Flecha Mínima		
				15°C+V		50°C		0°C+H		-5°C F (m)	-15°C F (m)	-20°C F (m)
				Th (daN)	F (m)	Th (daN)	F (m)	Th (daN)	F (m)			
13-2	85	-5.48	85	1011.3	0.84	445.5	0.86	1237.2	0.8		0.3	
2-3	100	-3.15	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
3-4	100	-3	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
4-5	100	-3.03	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
5-6	100	-5.4	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
6-9	100	-1.57	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
9-10	100	-2.99	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
10-11	100	-2.01	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
11-12	100	-3.8	100	1029.5	1.14	458.8	1.16	1252	1.1		0.43	
12-8	98.56	4.86	98.56	1028.5	1.11	458.3	1.13	1251.3	1.07		0.41	
8-9	150	-2.61	150	1082.6	2.45	492.8	2.43	1297	2.38		1.13	

En la Tabla 2-9 se muestran los cálculos se muestran los cálculos de la flecha de tendido bajo diferentes escenarios de carga y temperatura. La flecha  $F$  es la distancia máxima entre el conductor y la recta que une los puntos de fijación, medida en el centro del vano, en metros (m).

La tensión  $T$  que se muestra es la tensión del cable en el punto más bajo, medida en decanewtons (daN).

Tabla 2-9. Flecha de tendido bajo diferentes escenarios de carga y temperatura

Vano	Long. (m)	Desni. (m)	V.Reg. (m)	20°C		25°C		30°C		35°C		40°C		45°C		50°C		EDS
				T (daN)	F (m)													
13-2	85	-5.48	85	772	0.5	706	0.54	643.8	0.6	586.2	0.66	533.8	0.72	486.8	0.79	445.5	0.86	19.52
2-3	100	-3.15	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
3-4	100	-3	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
4-5	100	-3.03	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
5-6	100	-5.4	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.92	535.7	0.99	494.8	1.08	458.8	1.16	18.84
6-9	100	-1.57	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
9-10	100	-2.99	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
10-11	100	-2.01	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
11-12	100	-3.8	100	747.9	0.71	687.9	0.77	632.3	0.84	581.5	0.91	535.7	0.99	494.8	1.07	458.8	1.16	18.84
12-8	98.56	4.86	98.56	751.7	0.69	691	0.75	634.6	0.81	583.1	0.89	536.5	0.96	495	1.04	458.3	1.13	18.94
8-9	150	-2.61	150	680.8	1.76	641.2	1.86	605.3	1.98	572.7	2.09	543.3	2.2	516.8	2.31	492.8	2.43	16.8

Como se ha mencionado anteriormente, la catenaria generada por el cable se ve afectada por la acción de la temperatura y el viento. Por lo tanto, se establecen unas condiciones limitantes para analizar las flechas y tensiones en los cables. Estas condiciones se definen a través de cuatro hipótesis de cálculo de apoyo. Considerando que la línea de alta tensión estará ubicada a más de 500 metros de altitud, la Tabla 2-10 y la Tabla 2-11 presentan las tensiones de los distintos apoyos para cada una de las hipótesis, donde T representa los esfuerzos transversales, L los esfuerzos longitudinales y Lt los esfuerzos de torsión.

Tabla 2-10. Tensión de los apoyos en las hipótesis 1ª y 2ª.

Apoyo	Tipo	Hipótesis 1ª (Viento) (-5: A/-10: B/-15: C) °C + V			Hipótesis 2ª (Hielo) (-15: B/-20: C) °C + H	
		V (daN)	T (daN)	L (daN)	V (daN)	L (daN)
2	Amarre	113.8	257		218.8	
3	Suspensión	140	264.3		338.6	
4	Suspensión	143.1	264.3		346	
5	Suspensión	184.9	264.4		446.7	
6	Suspensión	94.5	280.6		200.8	
9	Suspensión	167.8	264.3		405.3	
10	Suspensión	125.3	264.3		303.1	
11	Suspensión	174.4	264.3		421.3	
12	Amarre	26.2	274		8.1	
9	Fin Línea	92.8	200.9	3890.1	200.1	4297.7

Tabla 2-11. Tensión de los apoyo en la hipótesis 3ª de Desequilibrio de tracciones y 4ª de Rotura de conductores

Apoyo	Tipo	Hipótesis 3ª de (Desequilibrio de tracciones) (-5: A) °C + V (-15: B/-20: C) °C + H		Hipótesis 4ª (Rotura de conductores) (-5: A) °C + V (-15: B/-20: C) °C + H		Distancia de Conductor. (m)	Distancia Lt. (m)
		V (daN)	L (daN)	V (daN)	Lt (daN)		
2	Amarre	218.8	643.7			0.83	1.1
3	Suspensión	338.6	343.3			0.96	1.1
4	Suspensión	346	343.3			0.96	1.1
5	Suspensión	446.7	343.3			0.96	1.1
6	Suspensión	200.8	343.3			1.06	1.3
9	Suspensión	405.3	343.3			0.96	1.1
10	Suspensión	303.1	343.3			0.96	1.1
11	Suspensión	421.3	343.3			0.96	1.1
12	Amarre	8.1	644			0.83	1.1
9	Fin Línea			142.6	1432.6	1.13	1.5

Finalmente, tras realizar los cálculos necesarios para determinar la tensión máxima que deberá soportar el apoyo, así como la flecha máxima y la flecha de tendido, se selecciona el tipo de apoyo adecuado. Este apoyo debe resistir la combinación de esfuerzos considerados en cada hipótesis. Los resultados de estos cálculos se presentan en la Tabla 2-12 para cada tipo de apoyo.

Tabla 2-12. Apoyo adoptado.

Apoyo	Tipo	Constitución	Coficiencia Segundo	Altura Total (m)	Esfuerzo Nominal (daN)	Esfuerzo punta de Torsión (daN)	Esfuerzo Vertical de Torsión (daN)	Esfuerzo Vertical de Torsión (daN)	Esfuerzo de Torsión (daN)	Distancia de Torsión (m)	Peso (daN)
2	Amarre	Celosía recta	Recta	10	850		900	600	670	1.1	
3	Suspensión	Celosía recta	Recta	12	600		900	600	670	1.1	
4	Suspensión	Celosía recta	Recta	12	600		900	600	670	1.1	
5	Suspensión	Celosía recta	Recta	12	600		900	600	670	1.1	
6	Suspensión	Celosía recta	Recta	13	600		900	600	670	1.1	
9	Suspensión	Celosía recta	Recta	12	600		900	600	670	1.1	
10	Suspensión	Celosía recta	Recta	12	600		900	600	670	1.1	
11	Suspensión	Celosía recta	Recta	12	600		900	600	670	1.1	
12	Amarre	Celosía recta	Recta	10	850		900	600	670	1.1	
9	Fin Línea	Celosía recta	Recta	12	7000	5000	5000	4500	2500	1.5	

Después de realizar los cálculos necesarios para los apoyos, se presentan en la Tabla 2-13 las características de los apoyos que se utilizarán para la línea de alta tensión. Se ha determinado que lo más adecuado es utilizar apoyos de celosía con esfuerzos útiles de 600N, 850N y 7000N, y alturas de 10, 12 y 13 metros. En la Figura 6 se muestra un apoyo de una línea de alta tensión con un esfuerzo útil de 850N mostrando el detalle del plano de uno de los tramos de la línea.

Tabla 2-13. Características de los apoyos de la línea de alta tensión

Constitución	Esfuerzo Útil (N)	Altura Total	Total (Ud.)
Celosía recta	600	12	6
Celosía recta	600	13	1
Celosía recta	850	10	1
Celosía recta	7000	12	1

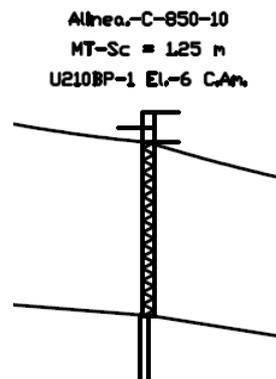


Figura 6. Detalle del plano de uno de los tramos de la línea de alta tensión con un esfuerzo útil de 850 N.

Para determinar la altura de los distintos apoyos, se deberán considerar las distancias mínimas de seguridad.

### 2.3.1 Medición de las crucetas

Para las crucetas que se deben utilizar en la línea de alta tensión, es fundamental considerar la distancia de seguridad entre los conductores. Esto garantiza un funcionamiento seguro y eficiente del sistema. Los distintos brazos se identifican como a, b, c, d, e y los resultados de los cálculos específicos necesarios para determinar estas distancias se presentan en la Tabla 2-14 , donde se muestran las medidas de las crucetas adoptadas.

Tabla 2-14. Crucetas adoptadas

Apoyo	Tipo	Constitución	Montaje	Distancia del conductor de la Cruceta (m)	a Brazo Superior (m)	b Brazo Medio (m)	c Brazo Inferior (m)	d Distancia Vertical de los Brazos (m)	e Altura Tirante (m)	Peso (daN)
				Cruceta (m)	Brazo Superior (m)	Brazo Medio (m)	Brazo Inferior (m)	D. Vert. Brazos (m)	Altura Tirante (m)	(daN)
2	Amarre	Celosía recta	Tresbolillo	1.25	1.1	1.1	1.1	0.62		100
3	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	2	1.1	1.1	1.1	1		100
4	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	2	1.1	1.1	1.1	1		100
5	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	2	1.1	1.1	1.1	1		100
6	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	3	1.3	1.3	1.3	1.5		100

Apoyo	Tipo	Constitución	Montaje	Distancia del conductor de la Cruceta (m)	a Brazo Superior (m)	b Brazo Medio (m)	c Brazo Inferior (m)	d Distancia Vertical de los Brazos (m)	e Altura Tirante (m)	Peso (daN)
				Cruceta (m)	Brazo Superior (m)	Brazo Medio (m)	Brazo Inferior (m)	D. Vert. Brazos (m)	Altura Tirante (m)	(daN)
9	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	2	1.1	1.1	1.1	1		100
10	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	2	1.1	1.1	1.1	1		100
11	Suspensión	Celosía recta	Tresbolillo	2	1.1	1.1	1.1	1		100
12	Amarre	Celosía recta	Tresbolillo	1.25	1.1	1.1	1.1	0.62		100
9	Fin Línea	Celosía recta	Montaje O A.	1.5	1.5				0.5	52

En función de las diferentes crucetas, se procederá a calcular la distancia D entre conductores utilizando estas crucetas, basándose en la siguiente ecuación:

$$D = k \cdot \sqrt{(F + L)} + k' \cdot D_{pp} (m)$$

Siendo:

k = Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

L = Longitud de la cadena de suspensión (m). Si la cadena es de amarre L=0.

F = Flecha máxima (m).

k' = 0,75.

D<sub>pp</sub> = Distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido.

Se procederá a calcular la distancia entre conductores utilizando estas variables. Los resultados se presentan en la Tabla 2-15, donde se muestra la constitución de las diferentes crucetas y la distancia entre conductores obtenida con cada una de ellas.

Tabla 2-15. Constitución de las crucetas de la línea de alta tensión y distancia entre conductores.

Constitución	Esfuerzo Max.	D (m)	Total (Ud.)
Montaje O R.	13000	1.5	1
Tresbolillo S.	4500	1.25	2
Tresbolillo S.	4500	2	6
Tresbolillo S.	4500	3	1

### 2.3.2 Medición de las cimentaciones

Tras diseñar las crucetas, se deben diseñar las cimentaciones de los apoyos, optando por hacerlo mediante zapatas. Para la construcción de las zapatas de los distintos apoyos de la línea de alta

tensión, se deben calcular las dimensiones y características necesarias para soportar los esfuerzos y momentos correspondientes.

Para calcular el momento debido al esfuerzo en punta "Mep" se usará la expresión:

$$1. \quad Mep = Ep \cdot Hrc$$

Se puede observar que factores que influyen en el momento del esfuerzo en punta, Mep, son Esfuerzo en punta, Ep, medido en daN, y la altura de la resultante de los conductores, Hrc medido den metros (m).

Por otro lado, el momento debido al viento sobre el apoyo (Mev) se calcula a partir del esfuerzo del viento sobre el apoyo (Eva), medido en daN, y de la altura del punto de aplicación del esfuerzo del viento (Hv), medida en metros, mediante el producto de ambas magnitudes.

$$2. \quad Mev = Eva \cdot Hv$$

Hemos de tener en cuenta que el esfuerzo del viento sobre el apoyo, Eva, depende del tipo de apoyo utilizado:

- Si el apoyo es de celosía,  $Eva = 170 \cdot \left(\frac{v}{120}\right)^2 \cdot h \cdot S$
- En el caso de apoyos con superficies planas  $Eva = 100 \cdot \left(\frac{v}{120}\right)^2 \cdot S$
- Y si los apoyos son con superficies cilíndricas  $Eva = 70 \cdot \left(\frac{v}{120}\right)^2 \cdot S$

Donde  $v$  es la Velocidad del viento (Km/h),  $S$  es la superficie definida por la silueta del apoyo ( $m^2$ ) y  $h$  es el coeficiente de opacidad, esto es, la relación entre la superficie real de la cara y el área definida por su silueta.

Asimismo, la altura del punto de aplicación del esfuerzo del viento (Hv) depende de la altura total del apoyo (H), la anchura del apoyo en el empotramiento ( $d1$ ), y la anchura del apoyo en la cogolla ( $d2$ ), a través de la siguiente expresión, donde todas las dimensiones están en metros.

$$Hv = \frac{H}{3} \cdot \frac{(d1 + 2 \cdot d2)}{(d1 + d2)} (m)$$

Las cimentaciones se realizarán mediante zapatas monobloque o aisladas. En ambos casos, se genera un esfuerzo en punta y otro debido al viento sobre el apoyo. Estos esfuerzos se sitúan horizontalmente en el centro del apoyo y verticalmente al nivel del suelo. Los resultados obtenidos tras realizar los cálculos precisos se muestran en la Tabla 2-16 Las zapatas monobloque están formadas por macizos de hormigón en un solo bloque.

Es esencial considerar que para que un apoyo permanezca en equilibrio, el momento creado por las fuerzas exteriores debe ser absorbido por la cimentación. Por lo tanto, se debe calcular el momento de fallo al vuelco o momento absorbido por la cimentación (Mf), a partir del momento producido por el esfuerzo en punta (Mep) y el momento producido por el esfuerzo del viento sobre el apoyo (Mev). Para que permanezca en su posición de equilibrio se debe cumplir que  $Mf \geq 1,65 \cdot (Mep + Mev)$ , donde todas las dimensiones están expresadas en daN·m.

Asimismo, es importante tener en cuenta que el momento absorbido por la cimentación (Mf) se calcula utilizando la fórmula de Sulzberger:

$$Mf = [139 \cdot C_2 \cdot a \cdot h^4] + \left[ a^3 \cdot (h + 0,20) \cdot 2420 \cdot \left( 0,5 - \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\left( 1,1 \cdot \frac{h}{a} \cdot \frac{1}{10} \cdot C_2 \right)} \right) \right]$$

Siendo:

$C_2$  = Coeficiente de compresibilidad del terreno a la profundidad de 2 m (daN/cm3).

a = Anchura del cimiento (m).

h = Profundidad del cimiento (m).

Tabla 2-16. Cálculo de cimentaciones

Apoyo	Tipo	Esfuerzo útil Punta (daN)	Altura Res. conduc. (m)	Momento Producido por el conductor (daN.m)	Esfuerzo de Viento de Apoyo (daN)	Altura de Vientos de Apoyo (m)	Momento Producido Viento Apoyos (daN.m)	Momento Total Fuerzas externas (daN.m)
2	Amarre	850	7.88	6693.8	211.3	3.88	819.9	7513.6
3	Suspensión	600	9.09	5454	267.7	4.73	1266.6	6720.6
4	Suspensión	600	9.09	5454	267.7	4.73	1266.6	6720.6
5	Suspensión	600	9.09	5454	267.7	4.73	1266.6	6720.6
6	Suspensión	600	9.15	5490	293.3	5.13	1504.9	6994.9
9	Suspensión	600	9.09	5454	267.7	4.73	1266.6	6720.6
10	Suspensión	600	9.09	5454	267.7	4.73	1266.6	6720.6
11	Suspensión	600	9.09	5454	267.7	4.73	1266.6	6720.6
12	Amarre	850	7.88	6693.8	211.3	3.88	819.9	7513.6
9	Fin Línea	7000	9.5	66500	484.9	4.53	2196.6	68696.6

Para el diseño de las zapatas aisladas, comenzaremos con los datos presentados en la Tabla 2.17. En esta etapa, se deben calcular varios parámetros cruciales, incluyendo la fuerza de rozamiento de las tierras ( $F_{rt}$ ), el peso de la tierra desplazada ( $P_t$ ), el volumen del macizo de hormigón ( $V_h$ ), el esfuerzo vertical generado por el esfuerzo en punta ( $F_{ep}$ ), así como los esfuerzos verticales debidos a los pesos ( $F_v$ ). Finalmente, se evalúa el esfuerzo total actuante sobre la zapata y se verifican las zapatas calculando el coeficiente de seguridad y la resistencia del terreno para garantizar la estabilidad estructural adecuada.

Cuando la zapata intenta levantar un volumen de tierra, esta tierra opone una resistencia, cuyo valor se conoce como fuerza de rozamiento de las tierras ( $F_{rt}$ ) que se calcula a partir de la expresión:

$$F_{rt} = d_t \cdot \alpha (g^2 \cdot L) \cdot tg \left[ \frac{f}{2} \right]$$

donde  $d_t$  es la densidad de las tierras de que se trata (típicamente  $1600 \text{ daN/m}^3$ ),  $g$  son las longitudes parciales del macizo en m,  $L$  es Perímetro de la superficie de contacto en m y  $f$  es el Angulo de las tierras (generalmente =  $45^\circ$ ).

El peso de la tierra levantada viene dado por la expresión  $P_t = V_t \cdot d_t$ , donde  $V_t$  representa el volumen de tierra levantada en  $\text{m}^3$  y  $d_t$  es la densidad de la tierra en  $\text{daN/m}^3$ .

$V_h = \sum V_{hi}$ ; los volúmenes “ $V_{hi}$ ” pueden ser cubos, pirámides o troncos de pirámide, en  $\text{m}^3$ .

El volumen de tierra levantada, que corresponde a un tronco de pirámide, en  $\text{m}^3$  será

$$V_t = \frac{1}{3} \cdot h \cdot (S_s + S_i + \sqrt{(S_s \cdot S_i)})$$

siendo  $h$  la Altura del tronco de pirámide de la tierra levantada en m,  $S_s$  la Superficie superior del tronco de pirámide de la tierra levantada en  $\text{m}^2$  y  $S_i$  la Superficie inferior del tronco de

pirámide de la tierra levantada en  $m^2$ .

A este volumen de tierra  $V_t$  habrá que quitarle el volumen del macizo de hormigón de la zapata que hay enterrado siendo el peso del macizo de hormigón  $Ph = Vh \cdot d h$ , en daN.

Siendo  $d h$  la Densidad del macizo de hormigón en daN/  $m^3$  y  $Vh$  el volumen del hormigón en  $m^3$ .

Asimismo, se calcula el esfuerzo vertical que tiene que soportar la zapata debido al esfuerzo en punta,  $Fep = 0,5 \cdot (Mep + Mev \cdot f) / Base$ , en daN.

Siendo:

$Mep$  = Momento producido por el esfuerzo en punta, en daN  $\cdot$  m.

$Mev$  = Momento producido por el esfuerzo del viento sobre el apoyo, en daN  $\cdot$  m.

$f$  = Factor que vale 1 si el coeficiente de seguridad del apoyo es normal y 1,25 si el coeficiente de seguridad es reforzado.

Base = Base del apoyo, en m.

Por último, dado que sobre la zapata actuarán esfuerzos verticales debidos a los pesos, se debe calcular el esfuerzo vertical debido a los pesos cuyo valor vendrá dado por:

$$FV = \frac{TV}{4} + Pa \frac{TV}{4} + Pt + Ph \quad \text{en daN.}$$

Siendo:

$TV$  = Esfuerzos verticales del cálculo de los apoyos, en daN.

$Pa$  = Peso del apoyo, en daN.

$Pt$  = Peso de la tierra levantada, en daN.

$Ph$  = Peso del hormigón de la zapata, en daN.

A partir de todos estos cálculos ya se puede calcular el esfuerzo total que actúa sobre la zapata:

$$FT = Fep + FV, \text{ en daN.}$$

Siendo  $Fep$  el Esfuerzo debido al esfuerzo en punta en daN y  $FV$  el Esfuerzo debido a los esfuerzos verticales medido también en daN.

Una vez completado el diseño de las zapatas, es crucial realizar dos comprobaciones importantes. Primero, si el esfuerzo total actuante sobre la zapata sugiere que hay una tendencia a levantar el macizo de hormigón, se debe verificar el coeficiente de seguridad ( $Cs$ ). Segundo, si el esfuerzo total actuante sobre la zapata indica una tendencia a hundir el macizo de hormigón, es necesario comprobar que el terreno posee la resistencia adecuada ( $Rt$ ).

$$Cs = \frac{(FV + Frt)}{Fep} > 1,5.$$
$$Rt = \frac{FT}{S}, \text{ en daN/cm}^2.$$

Siendo:

$FV$  = Esfuerzo debido a los esfuerzos verticales, en daN.

$Frt$  = Esfuerzo de rozamiento de las tierras, en daN.

$Fep$  = Esfuerzo debido al esfuerzo en punta, en daN.

$FT$  = Esfuerzo total sobre la zapata, en daN.

$S$  = Superficie de la base del macizo, en  $cm^2$ .

Tabla 2-17. Cálculo de las zapatas aisladas

Apoyo	Tipo	Ancho Cimentación A (m)	Alto Cimentación H (m)	MONOBLOQUE	
				Coficiente de compresión	Momento Absorbido Por la cimentación (daN.m)
2	Amarre	0.88	1.75	10	12763.1
3	Suspensión	0.98	1.65	10	11758.2
4	Suspensión	0.98	1.65	10	11758.2
5	Suspensión	0.98	1.65	10	11758.2
6	Suspensión	1.01	1.65	10	12267.6
9	Suspensión	0.98	1.65	10	11758.2
10	Suspensión	0.98	1.65	10	11758.2
11	Suspensión	0.98	1.65	10	11758.2
12	Amarre	0.88	1.75	10	12763.1
9	Fin Línea	1.36	2.75	10	115019.8

A partir de estos cálculos se obtienen los resultados de la excavación para las zapatas de los apoyo, que se muestran en la Tabla 2-18 y en la Tabla 2-19.

Tabla 2-18. Excavación para las zapatas de los apoyo de la línea de alta tensión

Apoyo	Excavación de Pozo para Zapatas. (m <sup>3</sup> )	Nº Zapatas
2	1.36	1
3	1.57	1
4	1.57	1
5	1.57	1
6	1.68	1
9	1.57	1
10	1.57	1
11	1.57	1
12	1.36	1
8	5.06	1

Tabla 2-19. Metros cúbicos de hormigón necesarios para las zapatas de los apoyos

Apoyo	Volumen de Hormigón para Zapatas. (m <sup>3</sup> )	Nº Zapatas
2	1.57	1
3	1.84	1
4	1.84	1
5	1.84	1
6	1.96	1
9	1.84	1
10	1.84	1
11	1.84	1

Apoyo	Volumen de Hormigón para Zapatas. (m <sup>3</sup> )	Nº Zapatas
12	1.57	1
8	5.59	1

Como se puede observar existen diferencias entre los metros cúbicos excavados y el hormigón utilizado para rellenar esa zapata. Esto se debe a que, para cumplir con las normativas de seguridad respecto a la tensión de paso y contacto, es necesario construir una acera perimetral de 1 metro alrededor de cada apoyo.

#### **2.4 Presupuesto del diseño de la línea de media tensión**

En la Tabla 2-20 se incluye el presupuesto requerido para nuestra instalación de media tensión, abarcando tanto los costos de mano de obra como los de maquinaria necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Tabla 2-20. Presupuesto de mano de obra y maquinaria.

Artículo	Precio unitario	Nº Artículos	Total
<b>MANO DE OBRA Y MAQUINARIA</b>			
Oficial de 1ª	10,00 €	40	400,00 €
Peón de obra	7,00 €	40	280,00 €
Seguridad social	100,00 €	10	1.000,00 €
Grúa	50,00 €	15	750,00 €
Retro excavadora	35,00 €	9	315,00 €
Mano de obra del maquinista	8,00 €	9	72,00 €
Excavación, extracción y retirada a la escombrera (m3) de los apoyos	1,40 €	18,08	25,31 €
Excavación, extracción y retirada a la escombrera (m3) del tramo subterráneo	1,40 €	2,24	3,14 €
Hormigón H m 300 (m3)	62,34 €	21,73	1.354,65 €
<b>LÍNEA AEREA</b>			
Conductor LA110	10,08 €	1000,81	10.088,16 €
Cadenas de amarre de vidrio U-70BS	33,00 €	3	99,00 €
Cadenas de suspensión de vidrio U-40BS	25,00 €	7	175,00 €
Pica de tierra de 1,5m	11,57 €	10	115,70 €
Seccionador unipolar de fusibles de 20kv	1.220,00 €	1	1.220,00 €
Conductor unipolar de 240mm2 de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	8,30 €	21	174,30 €
<b>APOYOS METALICOS DE CELOSIA</b>			
Apoyo C-600 h=12m	856,00 €	6	5.136,00 €
Apoyo C600 h=13m	900,00 €	1	900,00 €
Apoyo C-850 h=16m	1.105,00 €	2	2.210,00 €
Apoyo C-7000 h=12m	1.856,00 €	1	1.856,00 €

	Subtotal	26.174,26 €
IVA	21,00%	54,97 €

<b>TOTAL</b>	<b>26.229,23 €</b>
--------------	--------------------

## Capítulo 3 Diseño de los centros de transformación del polígono industrial

En este capítulo se detallará el diseño de los centros de transformación del polígono industrial, cumpliendo con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la normativa vigente. El objetivo es obtener la Autorización Administrativa y de Ejecución de la instalación, además de proporcionar una base sólida para la implementación de la red.

Se diseñarán centros de transformación de 20 KV que alimentarán en baja tensión al polígono industrial. Se establecerán y justificarán todos los datos constructivos necesarios para la ejecución de la instalación, demostrando ante los Organismos Competentes que dichos centros cumplen con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la normativa vigente, y sirviendo como referencia para la ejecución de la red.

Este diseño incluye las características de los materiales, los cálculos que justifican su empleo y la metodología de ejecución de las obras, cumpliendo así con las normas, especialmente en lo relativo al diseño de los centros de transformación, que se mencionan a continuación:

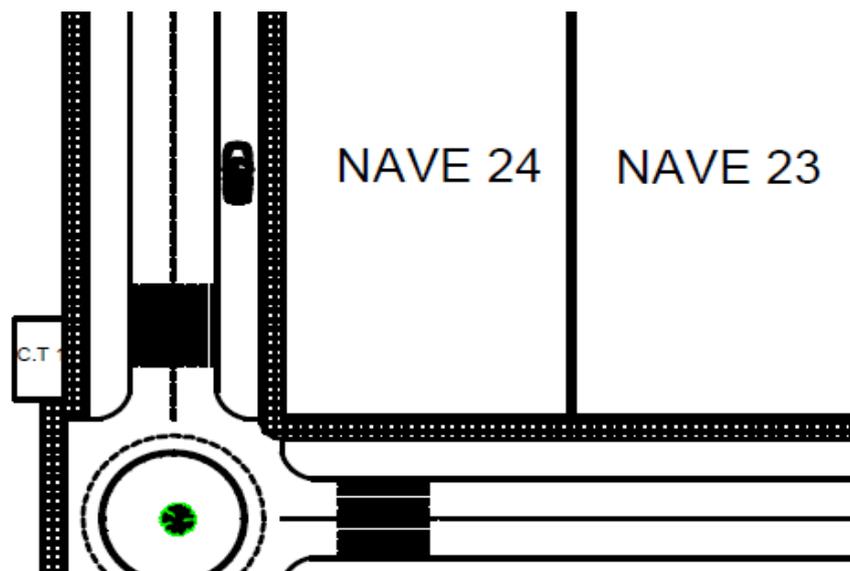
- Real Decreto 3275/1982 de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, así como las Ordenes de 6 de julio de 1984, de 18 de octubre de 1984 y de 27 de noviembre de 1987, por las que se aprueban y actualizan las Instrucciones Técnicas Complementarias sobre dicho reglamento.
- Orden de 10 de marzo de 2000, modificando ITC MIE RAT en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- 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.
- 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 ITC.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002).
- Normas Tecnológicas de la Edificación NTE IER.
- Ley 10/1996, de 18 de marzo sobre Expropiación Forzosa y sanciones en materia de instalaciones eléctricas y Reglamento para su aplicación, aprobado por Decreto 2619/1966 de 20 de octubre.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1.997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.

- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

### 3.1 Características generales del Centro de Transformación de acuerdo con el pliego de condiciones

En esta sección se explicará el diseño de los centros de transformación del polígono industrial, conforme al pliego de condiciones establecido. El objetivo es garantizar que el diseño cumpla con las normativas vigentes y que se obtengan las autorizaciones administrativas necesarias para la ejecución de la instalación. Asimismo, este diseño servirá como base para la implementación de la red. El diseño se basará en el 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 ITC. Este reglamento establece las características mínimas que deben cumplirse en el diseño de los centros de transformación. A continuación, se especificarán las normas que se utilizarán para cumplir con los criterios técnicos y de seguridad requeridos.

Los centros de transformación estarán ubicados en el polígono industrial y se accederá a ellos directamente desde una vía pública o, excepcionalmente, desde una vía privada con la correspondiente servidumbre de paso, tal como se ilustra en la Figura 7.



*Figura 7. Detalle del plano de situación del Centro de transformación*

El centro de transformación objeto del presente proyecto será prefabricado de tipo interior,

empleando para su aparellaje celdas prefabricadas bajo envolvente metálica. La acometida al mismo será subterránea y el suministro de energía se efectuará a una tensión de servicio de 20 kV y a una frecuencia de 50 Hz, siendo la Compañía Eléctrica la suministradora de Electricidad. Las celdas a emplear serán modulares de aislamiento y corte en hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

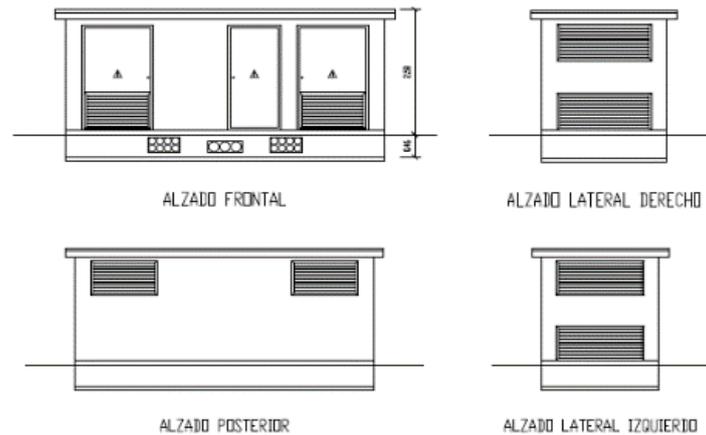
El suministro de energía eléctrica requerido para alimentar al polígono industrial será a una tensión de 400/230 V, con una potencia máxima demandada de 2.0 MW. Para satisfacer estas necesidades, la potencia total instalada en este centro de transformación será de 630 kVA.

El Centro estará ubicado en una caseta o envolvente independiente destinada únicamente a este propósito, en la que se instalará toda la aparamenta y demás equipos eléctricos. En el diseño de este centro de transformación se han observado todas las normativas pertinentes, considerando las distancias necesarias para pasillos, accesos, etc.

El edificio será prefabricado de hormigón, compuesto por las siguientes partes principales:

- Una parte que une la base y las paredes, otra que forma la solera y la tercera que forma el techo. Para garantizar la estanqueidad se empleará juntas de goma esponjosa.
- Estas piezas serán construidas en hormigón armado, con una resistencia característica de 300 kg/cm<sup>2</sup>. La armadura metálica se unirá entre sí mediante latiguillos de cobre y a un colector de tierras, formando una superficie equipotencial que envuelve completamente al centro.
- Las puertas y rejillas están aisladas eléctricamente, presentando una resistencia de 10.000 ohmios respecto de la tierra de la envolvente.
- Ningún elemento metálico unido al sistema equipotencial será accesible desde el exterior. Eliminando así las conexiones a tierra de las puertas metálicas del centro.
- Las piezas metálicas expuestas al exterior están tratadas adecuadamente contra la corrosión.
- En la base de la envolvente se dispondrán, tanto en el lateral como en la solera, los orificios para la entrada de cables de alta tensión, baja tensión y tomas de tierra.

De acuerdo con estas características, se planificará gráficamente la construcción del edificio. Tal y como se ve en el detalle del plano del centro de transformación de la Figura 8, para la colocación del centro de transformación prefabricado, se realizará una excavación cuyas dimensiones dependerán del modelo específico. Sobre el fondo de esta excavación se extenderá una capa de arena compactada y nivelada de aproximadamente 10 cm de espesor. Todos estos elementos están fabricados en una sola pieza de hormigón armado. En el hueco destinado al transformador se dispondrán dos perfiles en forma de "U", ajustables según la distancia entre las ruedas del transformador. En la parte inferior de las paredes frontal y posterior se ubicarán los agujeros para los cables de media tensión (MT), baja tensión (BT) y las tierras exteriores.



*Figura 8. Detalle del plano del centro de transformación*

En la pared frontal se situarán las puertas de acceso para peatones, puertas del transformador y rejillas de ventilación, todos fabricados en chapa de acero galvanizado. Las puertas de acceso contarán con un sistema de cierre seguro y estarán abisagradas para poder abrirse 180° hacia el exterior, con la posibilidad de mantenerlas en posición de 90° mediante un retenedor metálico. Las rejillas estarán compuestas por lamas en forma de "V" invertida para evitar la entrada de agua de lluvia, además de incluir una rejilla mosquitera para impedir el acceso de insectos. La cubierta está formada por piezas de hormigón armado, diseñadas específicamente para prevenir filtraciones y la acumulación de agua sobre su superficie. Para proteger las superficies exteriores contra la corrosión causada por los agentes atmosféricos, se aplicará un acabado de pintura acrílica o epoxy, que proporciona una alta resistencia.

El índice de protección (IP) del edificio y las rejillas se especifica como sigue:

- Edificio prefabricado: IP 23, indicando un nivel de protección que resguarda contra la penetración de objetos sólidos mayores a 12 mm de diámetro y protege contra el agua proyectada en ángulo de hasta 60 grados desde la vertical.
- Rejillas: IP 33, lo que significa que están protegidas contra la penetración de objetos sólidos mayores a 2.5 mm de diámetro y resisten la penetración de agua pulverizada desde cualquier dirección a baja presión.

Las sobrecargas admisibles para el edificio son las siguientes:

- Sobrecarga de nieve: hasta 250 kg/m<sup>2</sup>, lo que indica la carga máxima de nieve que el techo puede soportar sin comprometer su integridad estructural.
- Sobrecarga de viento: hasta 100 kg/m<sup>2</sup> (equivalente a una velocidad de viento de 144 km/h), que especifica la presión del viento máxima que el edificio puede soportar sin dañarse.
- Sobrecarga en el piso: hasta 400 kg/m<sup>2</sup>, lo que determina la carga máxima que el piso puede soportar sin sufrir deformaciones o fallos estructurales.

### **3.2 Instalación de red eléctrica y aparamenta de A.T.**

La red que alimenta el centro de transformación es del tipo subterráneo, con una tensión de 20 kV, nivel de aislamiento según lista 2 (MIE-RAT 12), y una frecuencia de 50 Hz. La potencia de

cortocircuito máxima de la red de alimentación será de 2.52 MVA, según datos proporcionados por la Compañía suministradora.

Las celdas son modulares extensibles con aislamiento y corte en SF<sub>6</sub>, cuyos embarrados se conectan de forma totalmente apantallada e inalterables a las condiciones externas. La parte frontal incluye en su parte superior la placa de características, la mirilla para el manómetro, el esquema eléctrico de la celda y los accesos a los accionamientos del mando, y en la parte inferior se encuentran las tomas para las lámparas de señalización de tensión y panel de acceso a los cables y fusibles. En su interior hay una pletina de cobre a lo largo de toda la celda, permitiendo la conexión a la misma del sistema de tierras y de las pantallas de los cables.

El embarrado de las celdas está diseñado para soportar los esfuerzos dinámicos sin sufrir deformaciones permanentes, incluso en situaciones de cortocircuito. Las celdas cuentan con un dispositivo de evacuación de gases que, en caso de arco interno, permite su salida hacia la parte trasera de la celda, evitando así su incidencia sobre las personas, cables o aparata del centro de transformación. Los interruptores de las celdas tienen tres posiciones: conectado, seccionado y puesto a tierra, y sus mandos pueden ser operados manualmente o de forma motorizada desde la parte frontal.

Los sistemas de enclavamiento garantizan que no se pueda conectar el seccionador de puesta a tierra con el aparato principal cerrado, ni cerrar el aparato principal si el seccionador de puesta a tierra está conectado. Asimismo, impiden quitar la tapa frontal si el seccionador de puesta a tierra está abierto, y viceversa, no permiten abrir el seccionador de puesta a tierra cuando la tapa frontal ha sido extraída.

En las celdas de protección de transformador, los fusibles se montan sobre unos carros que se introducen en los tubos portafusibles de resina aislante. Estos tubos son completamente estancos tanto respecto al gas interno como al exterior. El disparo de los fusibles se produce cuando uno de ellos se funde, o si la presión dentro de los tubos portafusibles aumenta debido a un fallo en los fusibles o al calentamiento excesivo de éstos.

Las características generales de las celdas, incluyendo detalles específicos según la tensión nominal (Un), se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

*Tabla 3-1. Características generales de las celdas en función de la tensión nominal*

Tensión Nominal (UN)	Tensión Asignada (kV)	Tensión Soportada a Frecuencia Industrial (1 minuto) (kV)	Tensión Soportada a Impulsos Tipo Rayo (valor de cresta) (kV)
Un ≤ 20 kV	24	A tierra y entre fases: 50.	A tierra y entre fases: 125
		A la distancia de seccionamiento: 60	A la distancia de seccionamiento: 145
20 kV < Un ≤ 30 kV	36	A tierra y entre fases: 70	A tierra y entre fases: 170
		A la distancia de seccionamiento: 80	A la distancia de seccionamiento: 195

Como se puede observar, en el caso de las celdas con Un ≤ 20 kV, la tensión asignada es de 24 kV. Estas celdas pueden soportar hasta 50 kV a tierra y entre fases, así como 60 kV a la distancia de seccionamiento, durante un minuto a frecuencia industrial. Para los impulsos tipo rayo, la capacidad de estas celdas es de 125 kV a tierra y entre fases, y 145 kV a la distancia de

seccionamiento.

Por otro lado, para las celdas con  $20 \text{ kV} < U_n \leq 30 \text{ kV}$ , la tensión asignada es de 36 kV. Estas celdas tienen una mayor capacidad de soportar tensiones, con valores de 70 kV a tierra y entre fases, y 80 kV a la distancia de seccionamiento, durante un minuto a frecuencia industrial. Para los impulsos tipo rayo, la capacidad es aún mayor, con valores de 170 kV a tierra y entre fases, y 195 kV a la distancia de seccionamiento.

El transformador es trifásico reductor de tensión, con neutro accesible en el secundario y refrigeración natural en aceite. Para proteger el transformador, se utiliza una rejilla metálica. La conexión entre las celdas de alta tensión (A.T.) y el transformador se realiza mediante conductores unipolares de aluminio, con aislamiento seco y terminales enchufables. Estas características y el plano detallado de las celdas de alta tensión se pueden encontrar en la Figura 9.

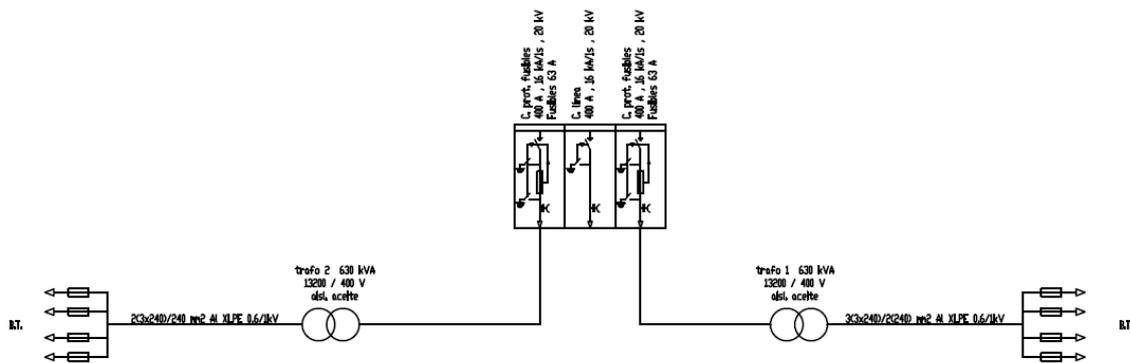


Figura 9. Plano de las celdas de Alta tensión

El cuadro de baja tensión cuenta en su zona superior con un compartimento para la acometida y conexión con el transformador. En este compartimento, se encuentran cuatro pletinas deslizantes que pueden ser seccionadas. Más abajo, se ubican el embarrado y los elementos de protección para cada circuito de salida. La protección de estos circuitos se realiza mediante fusibles en bases trifásicas con capacidad de apertura y cierre en carga.

Cuando son necesarias más de cinco salidas en baja tensión se permite ampliar el cuadro reseñado mediante módulos de las mismas características, pero sin compartimento superior de acometida. La conexión entre el transformador y el cuadro de baja tensión se realiza mediante conductores unipolares de aluminio, de aislamiento seco 0,6/1 kV sin armadura. Las secciones mínimas necesarias de los cables estarán de acuerdo con la potencia del transformador y corresponderán a las intensidades de corriente máximas permanentes soportadas por los cables. El circuito se realizará con cables de 240 mm<sup>2</sup>. Además, se instalará un equipo de alumbrado que garantice la visibilidad adecuada para realizar las maniobras y revisiones necesarias en las celdas de alta tensión.

### 3.3 Elementos del sistema de puesta a tierra de los centros de transformación

En cada centro de transformación, es esencial contar con dos sistemas de conexión a tierra, uno de ellos destinado a la protección y el otro al servicio tal y como podemos ver en la Figura 10.

El sistema de puesta a tierra de protección asegura la seguridad al conectar directamente a tierra las partes conductoras de la instalación que normalmente no están bajo tensión eléctrica, pero que podrían estarlo debido a fallos o contactos accidentales. Este sistema tiene como objetivo principal proteger a las personas de posibles contactos con tensiones peligrosas. Así pues, se conectarán a tierra todas las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente como son las envolventes de las celdas y cuadros de baja tensión, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, entre otros, así como la armadura del edificio. Sin embargo, no se conectarán a tierra las rejillas y puertas metálicas del centro si son accesibles desde el exterior. Para garantizar una conexión adecuada, las celdas contarán con una pletina de tierra que las interconectará, formando así el colector de tierras de protección. La tierra interior de protección se realizará con cable de 50 mm<sup>2</sup> de cobre desnudo formando un anillo, y conectará a tierra los elementos descritos anteriormente.

El sistema de puesta a tierra de servicio, por otro lado, se compone de la línea de tierra y sus electrodos correspondientes, los cuales tienen la función de conectar directamente a tierra el neutro de baja tensión. Para prevenir tensiones de fuga en baja tensión, ocasionadas por fallos en la red de alta tensión, se conectará el neutro del sistema de baja tensión a una toma de tierra independiente del sistema de alta tensión. Esto se realiza con el fin de evitar cualquier influencia de la red general de tierra. La tierra interior de servicio se realizará con cable de cobre aislado de 50 mm<sup>2</sup> y 0,6/1 kV.

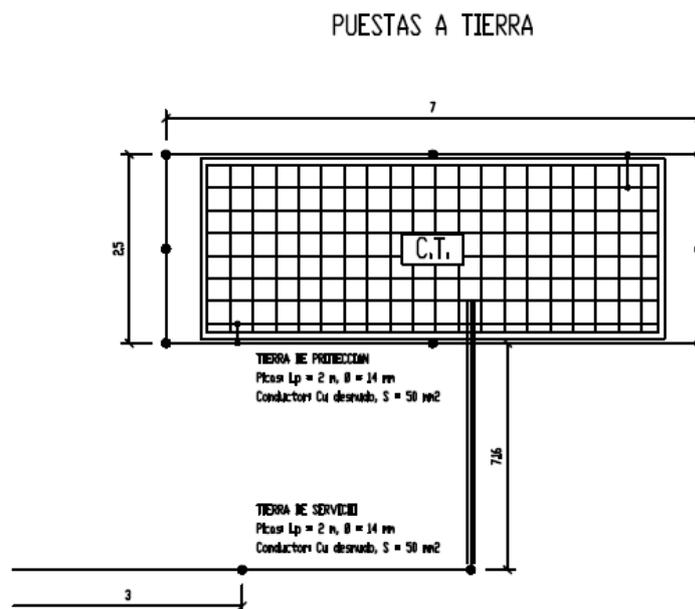


Figura 10. Puestas a Tierra del centro de transformación

### 3.4 Instalaciones secundarias del Centro de Transformación

El centro de transformación deberá contar, como mínimo, con una instalación de alumbrado adecuada, un sistema de protección contra incendios y una instalación que garantice una ventilación adecuada del centro. Estos sistemas son esenciales para asegurar la operatividad y seguridad del centro en todas las condiciones de funcionamiento.

En el interior del centro, se instalará al menos un punto de luz con capacidad para proporcionar un nivel de iluminación mínimo de 150 lux, lo que permitirá la realización de

comprobaciones y maniobras de los equipos con facilidad. Los focos luminosos estarán colocados estratégicamente sobre soportes rígidos para asegurar una iluminación uniforme, y se facilitará la sustitución de lámparas de forma segura, evitando cualquier riesgo de contacto con elementos en tensión. El interruptor de la iluminación estará ubicado cerca de la puerta de entrada, asegurando que su activación no represente un peligro debido a su proximidad a la alta tensión. Además, se instalará un punto de luz de emergencia autónomo para señalar los accesos al centro en caso de necesidad.

Dado que el centro de transformación no se considera un local de pública concurrencia, no es requerida una instalación automática de extinción de incendios. En su lugar, la responsabilidad de protección contra incendios recaerá en la compañía suministradora. Esta entidad será responsable de implementar las medidas adecuadas para prevenir y controlar cualquier eventualidad de incendio dentro del centro de transformación.

Por último, la ventilación del centro se realizará de forma natural mediante rejillas de entrada y salida del flujo de aire dispuestas para tal efecto en la caseta prefabricada de hormigón. Estas rejillas estarán diseñadas para impedir la entrada de pequeños animales y agua de lluvia. Además, no estarán conectadas a tierras para evitar contactos accidentales.

### **3.5 Medidas de seguridad del Centro de Transformación**

Con el objetivo de garantizar la seguridad en el Centro de Transformación, se han implementado una serie de enclavamientos mecánicos que aseguran un funcionamiento adecuado:

- Para cerrar el interruptor, es imprescindible que el interruptor de tierra esté abierto y que el panel de acceso esté cerrado.
- El seccionador de puesta a tierra solo puede cerrarse cuando el interruptor está abierto.
- La apertura del panel de acceso al compartimento de cables sólo será posible con el seccionador de puesta a tierra cerrado.

Con el panel delantero retirado, será posible abrir el seccionador de puesta a tierra para realizar el ensayo de cables, pero no será posible cerrar el interruptor. Además, se ha diseñado el acceso a las bornas de conexión de cables y fusibles para que sean fácilmente accesibles para los operarios durante las operaciones de mantenimiento, asegurando una visibilidad adecuada. Los mandos de la aparatada están ubicados frente al operario durante las operaciones y el diseño de la aparatada protege al operario de los gases en caso de un eventual arco interno, con la parte trasera de la celda como el punto más débil.

El diseño de las celdas impedirá la incidencia de los gases de escape, producidos en el caso de un arco interno, sobre los cables de media tensión y baja tensión. Por ello, esta salida de gases no debe estar enfocada en ningún caso hacia el foso de cables. La puerta de acceso al Centro de Transformación llevará el Lema Corporativo y estará cerrada con llave.

Tanto las puertas de acceso al centro como las pantallas de protección llevan un cartel con la señal triangular distintiva de riesgo eléctrico. Se colocará un cartel con instrucciones de primeros auxilios en un lugar visible del centro en caso de accidente. Si las instrucciones de maniobra no están disponibles en los propios aparatos, se ubicará un cartel con estas instrucciones en un lugar visible del centro de transformación.

Todos los materiales serán de los tipos "aceptados" por la Compañía Suministradora de

Electricidad. El aislamiento de los materiales de la instalación estará dimensionado como mínimo para la tensión más elevada de la red (Aislamiento pleno) asegurando así que se cumplen las normas de seguridad.

### 3.6 Presupuesto de los centros de transformación del polígono industrial

Basándonos en el diseño completo del centro de transformación y considerando todas sus especificaciones, se ha elaborado un presupuesto que refleja los materiales necesarios para su construcción y equipamiento. En la Tabla 3-2 se incluye el presupuesto requerido para los materiales del centro de transformación, abarcando tanto los costos de mano de obra como los de maquinaria necesarios para llevar a cabo el proyecto.

*Tabla 3-2. Presupuesto de materiales del centro de transformación*

Artículo	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Transformador 630KVA	18.000,00 €	4	72.000,00 €
Centro de transformación completo con instalación incluida	10.000,00 €	2	20.000,00 €
Conductor unipolar de 240mm <sup>2</sup> de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica	8,30 €	120	46.812,00 €
Terminal preaislado de 240mm <sup>2</sup>	6,10 €	40	219,60 €
Cable de 35mm <sup>2</sup> de cobre desnudo para toma de tierra de las farolas	3,78 €	15	567,00 €
Pica de tierra de 2m	8,00 €	5	1.104,00 €
Brida para pica de tierra	1,28 €	30	176,64 €
Mano de obra de la instalación	14,00 €	40	33.600,00 €
	Subtotal		174.479,24 €
	IVA	21,00%	36.640,64 €
	<b>TOTAL</b>		<b>211.119,88 €</b>

## Capítulo 4 Diseño de las líneas de baja tensión del polígono industrial

En este capítulo se explica cómo se ha realizado el diseño de las líneas de baja tensión que alimentan al polígono industrial, cumpliendo con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la reglamentación vigente. El objetivo es obtener la Autorización Administrativa y la de Ejecución de la instalación, y servir de base para la ejecución de dicha red.

Se han diseñado las líneas de baja tensión de 400V que alimentará al polígono industrial, justificando todos los datos constructivos necesarios para su ejecución. Esto permite demostrar ante los Organismos Competentes que la red cumple con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la normativa vigente, además de servir como guía para su implementación. Este diseño incluye las características de los materiales, los cálculos justificativos y la metodología de ejecución de las obras, asegurando el cumplimiento de las normativas, específicamente en relación con las siguientes disposiciones:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002).
- Normas UNE 20.324 y UNE-EN 50.102 sobre Cuadros de Protección, Medida y Control.
- Real Decreto 401/1989 de 14 de abril, que modifica determinados artículos del Real Decreto anterior (B.O.E. de 26-4-89).
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre, que regula las Actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de Autorización de Instalaciones de Energía Eléctrica.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.
- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Además, se consideran las condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados y las Ordenanzas Municipales para garantizar el cumplimiento de los criterios técnicos y de seguridad del diseño de las líneas de baja tensión de nuestro polígono industrial.

#### 4.1 Características generales de las líneas de baja tensión del polígono industrial de acuerdo con el pliego de condiciones

En el diseño de la línea de baja tensión para el polígono industrial, se ha utilizado como base el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y las Instrucciones Técnicas Complementarias, establecidas en el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002. Este reglamento define las características mínimas que debe cumplir el diseño de la línea de baja tensión, asegurando tanto la eficiencia técnica como la seguridad de la instalación.

##### 4.1.1 Criterios de diseño

Las canalizaciones subterráneas de baja tensión, detalladas en la Figura 11 del Plano de Canalizaciones Subterráneas, serán de 160 mm de diámetro. Estas canalizaciones se instalarán preferentemente bajo las aceras y en terrenos públicos y delimitados. El trazado de las canalizaciones será rectilíneo, utilizando referencias fijas como fachadas o bordillos para asegurar su correcta ubicación. Se minimizarán los cambios de dirección en los tubos siempre que sea posible.

En los puntos donde sea necesario realizar empalmes para las Cajas de cliente, se colocarán arquetas con tapas registrables de 70 cm x 60 cm. Estas arquetas permitirán un acceso fácil para el mantenimiento y la inspección de las conexiones. Este diseño asegura una instalación ordenada y accesible, cumpliendo con las normativas de seguridad y funcionalidad.

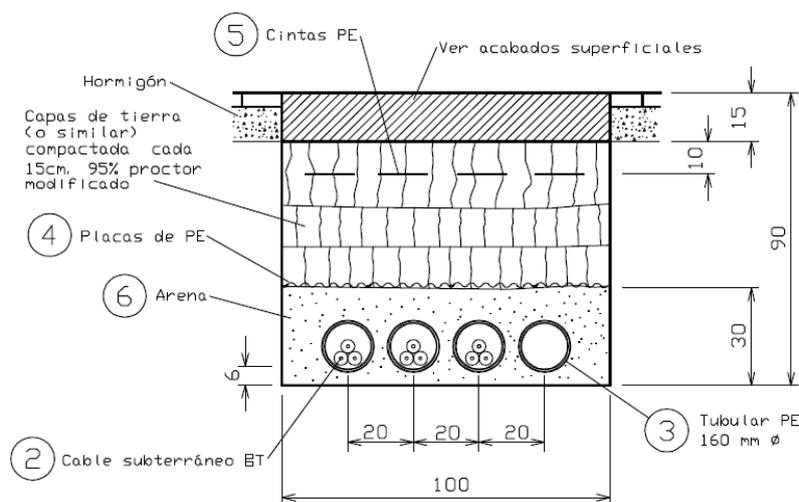


Figura 11. Plano de las canalizaciones subterráneas de baja tensión

Las canalizaciones tendrán medidas de 40 x 80 cm. Tanto las arquetas como las zanjas se realizarán según la normativa vigente establecida en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002). Los tubos protectores utilizados cumplirán con lo establecido en la norma UNE-EN 50.086 2-4.

Las características mínimas de los tubos protectores serán las siguientes:

- Resistencia a la compresión: 250 N para tubos embebidos en hormigón; 450 N para tubos en suelo ligero; 750 N para tubos en suelo pesado.
- Resistencia al impacto: Grado Ligero para tubos embebidos en hormigón; Grado Normal para tubos en suelo ligero o suelo pesado.
- Resistencia a la penetración de objetos sólidos: Protegido contra objetos  $D > 1$  mm.
- Resistencia a la penetración del agua: Protegido contra el agua en forma de lluvia.
- Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos: Protección interior y exterior media.

Este diseño asegura que las canalizaciones subterráneas sean robustas y seguras, cumpliendo con todas las normativas técnicas y de seguridad vigentes, garantizando una instalación duradera y fiable.

#### **4.1.2 Conductores de las naves**

Según la Norma ENDESA CNL001 y Especificaciones Técnicas de ENDESA Referencias 6700026, 6700027 y 6700028, Las secciones de los conductores a emplear serán de 240 y 95mm<sup>2</sup> para las fases, siendo la sección del neutro de 150 y 50mm<sup>2</sup>, respectivamente.

El cálculo de la sección de los conductores se realizará teniendo en cuenta que el valor máximo de la caída de tensión no sea superior a un 5,5% de la tensión nominal y verificando que la máxima intensidad admisible de los conductores quede garantizada en todo momento. La máxima caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto será menor o igual que el 3 %.

#### **4.1.3 Empalmes y conexiones para líneas de las naves**

Estos conectores cumplirán las Especificaciones Técnicas de ENDESA Referencias 6702175 a 6702187, según corresponda en cada caso. La reconstitución del aislamiento se realizará con recubrimiento mediante elementos prefabricados termorretráctiles o retráctiles en frío, que cumplirán las Especificaciones Técnicas de ENDESA Referencias 6700078 6700079 y 6702241, según corresponda en cada caso.

Los empalmes y conexiones de los conductores se efectuarán siguiendo métodos o sistemas que garanticen una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento. Asimismo, deberá quedar perfectamente asegurada su estanquidad y resistencia contra la corrosión que pueda originar el terreno. Un método apropiado para la realización de empalmes y conexiones puede ser mediante el empleo de tenaza hidráulica y la aplicación de un revestimiento a base de cinta vulcanizable. Los empalmes serán de 240 y 95mm<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Cruzamientos y paralelismos

Los cables se colocarán dentro de tubos recubiertos por una capa de hormigón de 15 cm de espesor a lo largo de toda su extensión, a una profundidad mínima de 0,80 m. Siempre que sea posible, los cruces con calles y carreteras se realizarán de forma perpendicular al eje del vial. Además, se dejará un tubo de reserva para futuras necesidades.

Siempre que sea factible, se procurará que los cables de baja tensión discurren por encima de los cables de alta tensión. Las distancias mínimas de seguridad entre cables serán las siguientes: 0,25 m entre un cable de baja tensión y cables de alta tensión, y 0,10 m entre cables de baja tensión. Además, la distancia desde el punto de cruce hasta los empalmes será superior a 1 metro, garantizando así una instalación segura y ordenada.

En caso de cruzamientos con canalizaciones de agua, los cables se instalarán por encima de dichas canalizaciones, manteniendo una distancia mínima de 20 centímetros, de acuerdo con la normativa vigente. Esto asegura que la infraestructura eléctrica no interfiera con las conducciones de agua y se mantenga la seguridad de ambas instalaciones.

#### 4.2 Estado de las mediciones

Se detalla aquí la forma en la que se va a calcular las mediciones necesarias para la red subterránea

Para determinar la sección adecuada de los conductores en el proyecto es necesario realizar varios cálculos: el cálculo de la potencia eléctrica, el cálculo de la intensidad de corriente y el cálculo de la caída de tensión.

El cálculo de la potencia se utiliza para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para operar todos los equipos y sistemas eléctricos. Esta potencia se mide en kilovatios (kW) y es esencial para diseñar y dimensionar adecuadamente la instalación eléctrica, asegurar el funcionamiento seguro y eficiente de los equipos, y planificar el consumo energético.

Esta potencia compleja  $S$  será

$$S = I^* \cdot V$$

Donde  $I$  es la intensidad de corriente en amperios (A) y  $V$  es la tensión en voltios (V).

Siendo la potencia real  $P = I \cdot V \cdot \cos \phi$  en vatios (W)

Y la potencia reactiva  $Q = I \cdot V \cdot \sin \phi$  en voltiamperios reactivos (VAR)

Siendo el  $\cos \phi$  el factor de potencia (FP) que será quien nos mida el rendimiento eléctrico al relacionar la potencia real o activa ( $P$ ) con la potencia aparente ( $|S| = P_p$ ).

Al planificar una nueva nave industrial, es fundamental calcular la potencia requerida para asegurar que la instalación eléctrica sea capaz de soportar la carga de todos los equipos y maquinaria que se instalarán. Esto incluye maquinaria de producción, sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), equipos de oficina, entre otros. Por otro lado, conocer la potencia total requerida ayuda a garantizar que los componentes de la instalación (cables, interruptores, tableros de distribución, etc.) se seleccionen adecuadamente para evitar sobrecargas y reducir el riesgo de incendios o fallos eléctricos.

Un cálculo preciso de la potencia permite optimizar el consumo energético, lo que puede resultar en ahorro de costos y una operación más sostenible desde el punto de vista medioambiental. Al planificar la capacidad de suministro, es esencial coordinar con la compañía

suministradora de energía eléctrica para asegurar que la red de distribución local pueda proporcionar la energía necesaria sin dificultades.

Teniendo en cuenta que una instalación adecuada protege tanto a las personas como a los equipos en la nave industrial, se habrán de dimensionar adecuadamente los cables, seleccionar los dispositivos de protección y asegurar la eficiencia y seguridad de la instalación eléctrica. Para ello es fundamental calcular la intensidad de la corriente eléctrica que fluye a través de los circuitos de nuestra nave en el polígono industrial y asegurarnos de que los cables utilizados en la instalación sean capaces de soportar la corriente prevista sin sobrecalentarse. Si la intensidad calculada es muy alta, será necesario utilizar cables de mayor sección. Calcular correctamente la intensidad eléctrica es vital para prevenir sobrecargas y cortocircuitos, que podrían provocar incendios o daños en los equipos.

Además, la elección de los dispositivos de protección, como interruptores automáticos y fusibles, debe basarse en la corriente que circula por el circuito. Si seleccionamos dispositivos con una capacidad de corriente insuficiente, podrían dispararse o fundirse innecesariamente. Por otro lado, una sobrecapacidad podría no brindar una protección adecuada al circuito.

El factor de potencia (FP) es crucial para calcular la intensidad con precisión. Un bajo factor de potencia implica un mayor consumo de corriente para la misma cantidad de potencia activa, lo que puede aumentar las pérdidas en el sistema y elevar los costos de energía. Mejorar el factor de potencia puede reducir la intensidad necesaria, optimizando el uso de energía.

La fórmula para el cálculo de la intensidad eléctrica en una nave de un polígono industrial se usa para determinar la corriente eléctrica (I) que fluye a través de un circuito eléctrico. Este cálculo es esencial para dimensionar adecuadamente los cables, seleccionar los dispositivos de protección y asegurar la eficiencia y seguridad de la instalación eléctrica.

$$P_p = 3 \cdot R_L \cdot L \cdot I^2$$

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi)$$

Siendo:

P<sub>p</sub>: Potencia perdida en KW.

P: Potencia a transportar en KW.

I: Intensidad de la línea en Amperios.

V: Tensión de la línea en KV.

L: Longitud de la línea en km

R<sub>L</sub>: Resistencia del conductor en (Ω/km)

$$P_p = (R_L \cdot L \cdot P^2) / (V^2 \cdot \cos^2\phi)$$

$$P_p\% = R_L / (10 \cdot V^2 \cdot \cos^2\phi)$$

En el contexto de una nave industrial en un polígono, es crucial calcular con precisión la caída de tensión. Esta caída se refiere a la disminución del voltaje en nuestro circuito eléctrico debido a la resistencia del conductor por el cual fluye la corriente. Dado que las distancias entre los puntos de suministro de energía y los equipos pueden ser significativas, este cálculo se convierte en una consideración crítica en la planificación y diseño de sistemas eléctricos, especialmente en entornos industriales.

Los equipos eléctricos están diseñados para funcionar dentro de un rango específico de voltajes. Una caída de tensión excesiva puede afectar su eficiencia o incluso dañarlos. Por lo tanto, debemos asegurarnos de que los cables utilizados en la instalación sean capaces de soportar la corriente prevista sin sobrecalentarse. Si la intensidad calculada es muy alta, será necesario utilizar cables de mayor sección.

Además, las normativas eléctricas y regulaciones locales suelen especificar límites máximos para la caída de tensión en instalaciones eléctricas. Esto garantiza un funcionamiento seguro y eficiente en nuestra red.

Para calcular la caída de tensión (e) en nuestra instalación, utilizaremos la siguiente expresión:

$$e(\%) = \frac{L * P}{C * S * V^2} * 100$$

donde

L= longitud del circuito o tramo

P= potencia activa

C= conductividad

S= sección

V= tensión de la red

Una vez realizados estos cálculos, se pueden determinar las secciones mínimas de las líneas de baja tensión del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial. Los resultados se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** donde se observa que los cálculos que obtenemos cumplen la caída de tensión máxima admisible para el alumbrado público según la normativa. Asimismo, se pueden ver los cálculos que se obtienen de cada circuito y tramo. Teniendo en cuenta un reparto de cargas equitativas. En esta tabla también podemos ver los distintos circuitos y tramos de las líneas de baja tensión.

Tabla 4-1. Cálculos de las líneas de baja tensión del polígono industrial

Tensión	Nº Nav es	Potencia a Nav es (W)	Potencia. Total (W)	Intensidad (A)	Longitud (M)	Sección	F.P	Conductividad	C.T (V)	C.T %	C.T por Línea	Int. Total	Cir cui to	Tra mo
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	1	1
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	34,24	240	0,8	56	1,32	0,33	0,33	299,96	1	2
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	58,65	240	0,8	56	1,70	0,43	0,43	224,97	1	3
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	33,36	240	0,8	56	0,97	0,24	0,24	224,97	1	4
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	21	240	0,8	56	0,20	0,05	0,05	74,99	1	5
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	33,36	240	0,8	56	0,32	0,08	0,08	74,99	1	6
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	21	240	0,8	56	0,20	0,05	0,05	74,99	1	7
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	2	1
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	34,24	240	0,8	56	0,66	0,17	0,17	149,98	2	2
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	33,36	240	0,8	56	0,64	0,16	0,16	149,98	2	6
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	23,81	240	0,8	56	0,46	0,12	0,12	149,98	2	8
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	33,36	240	0,8	56	0,64	0,16	0,16	149,98	2	9
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	21	240	0,8	56	0,41	0,10	0,10	149,98	2	10
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	54,31	240	0,8	56	1,05	0,26	0,26	149,98	2	11
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	21	240	0,8	56	0,20	0,05	0,05	74,99	2	12
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	3	1
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	23,81	240	0,8	56	0,92	0,23	0,23	299,96	3	8

400	4	23091,2	166.256,64	299,96	33,36	240	0,8	56	1,29	0,32	0,32	299,96	3	9
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	21	240	0,8	56	0,61	0,15	0,15	224,97	3	10
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	54,31	240	0,8	56	0,52	0,13	0,13	74,99	3	11
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	4	1
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	23,81	240	0,8	56	0,92	0,23	0,23	299,96	4	8
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	57,84	240	0,8	56	2,24	0,56	0,56	299,96	4	13
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	33,36	240	0,8	56	1,29	0,32	0,32	299,96	4	14
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	21	240	0,8	56	0,81	0,20	0,20	299,96	4	15
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	54,32	240	0,8	56	1,57	0,39	0,39	224,97	4	16
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	21	240	0,8	56	0,20	0,05	0,05	74,99	4	17
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	2	240	0,8	56	0,04	0,01	0,01	149,98	5	1
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	23,81	240	0,8	56	0,46	0,12	0,12	149,98	5	8
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	57,84	240	0,8	56	1,12	0,28	0,28	149,98	5	13
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	33,36	240	0,8	56	0,64	0,16	0,16	149,98	5	14
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	6	18
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	52	240	0,8	56	2,01	0,50	0,50	299,96	6	25
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	34	240	0,8	56	1,31	0,33	0,33	299,96	6	26
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	20	240	0,8	56	0,77	0,19	0,19	299,96	6	27
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	54	240	0,8	56	2,09	0,52	0,52	299,96	6	28
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	20	240	0,8	56	0,77	0,19	0,19	299,96	6	29
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	54	240	0,8	56	1,57	0,39	0,39	224,97	6	30
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	21	240	0,8	56	0,20	0,05	0,05	74,99	6	31
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	7	18
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	54	240	0,8	56	2,09	0,52	0,52	299,96	7	25
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	34	240	0,8	56	1,31	0,33	0,33	299,96	7	26
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	20	240	0,8	56	0,58	0,14	0,14	224,97	7	27
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	54	240	0,8	56	1,04	0,26	0,26	149,98	7	28
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	8	18
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	54	240	0,8	56	0,52	0,13	0,13	74,99	8	25
400	1	23091,2	41.564,16	74,99	34	240	0,8	56	0,33	0,08	0,08	74,99	8	26
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	34	240	0,8	56	0,99	0,25	0,25	224,97	8	19
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	20	240	0,8	56	0,58	0,14	0,14	224,97	8	20
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	54	240	0,8	56	1,57	0,39	0,39	224,97	8	21
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	20	240	0,8	56	0,58	0,14	0,14	224,97	8	22
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	54	240	0,8	56	1,57	0,39	0,39	224,97	8	23
400	3	23091,2	124.692,48	224,97	21	240	0,8	56	0,61	0,15	0,15	224,97	8	24
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	2	240	0,8	56	0,08	0,02	0,02	299,96	9	18
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	34	240	0,8	56	1,31	0,33	0,33	299,96	9	19
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	20	240	0,8	56	0,77	0,19	0,19	299,96	9	20
400	4	23091,2	166.256,64	299,96	54	240	0,8	56	2,09	0,52	0,52	299,96	9	21
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	20	240	0,8	56	0,39	0,10	0,10	149,98	9	22
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	2	240	0,8	56	0,04	0,01	0,01	149,98	10	18
400	2	23091,2	83.128,32	149,98	34	240	0,8	56	0,66	0,16	0,16	149,98	10	19

Como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se tiene en cuenta la caída de tensión máxima admisible y la intensidad máxima admisible de los conductores para una línea subterránea. En la misma tabla también podemos ver los distintos circuitos y tramos de las líneas de baja tensión.

La distribución de los circuitos lo podemos ver en la Figura 12 y Figura 13.

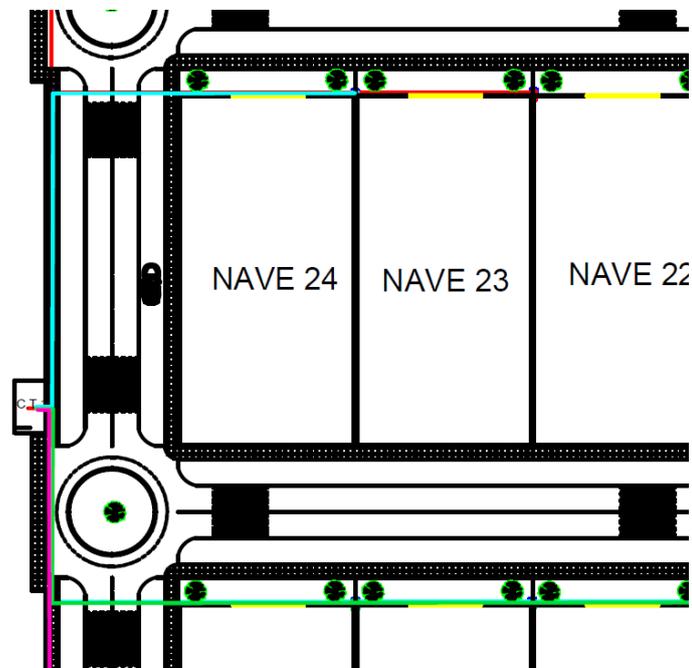


Figura 12. Plano de los circuitos del centro de transformación 1 en el polígono

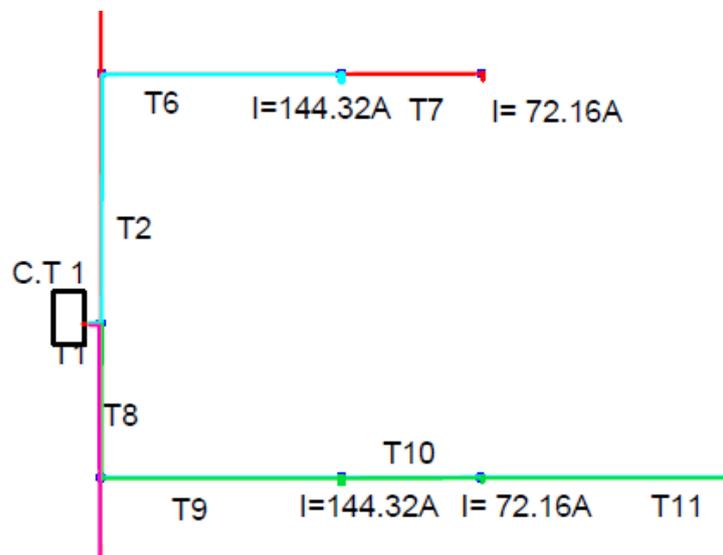


Figura 13. plano de los circuitos del centro de transformación 1

#### 4.3 Presupuesto de las líneas de baja tensión del polígono industrial

Basado en el diseño completo de las líneas de baja tensión del polígono industrial y considerando todas sus especificaciones, se ha elaborado un presupuesto detallado que refleja

los materiales necesarios para su construcción y equipamiento. En la Tabla 4-2 se presenta el desglose completo de los costos asociados a cada componente y aspecto del centro de transformación, proporcionando una visión clara y precisa de los recursos financieros requeridos para llevarlo a cabo.

*Tabla 4-2. Presupuesto de las líneas de baja tensión del polígono industrial*

<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Arqueta empotrada A1 de 60x70cm de hormigón de 15cm de grosor	50,00 €	31	1.550,00 €
Marco de chapa galvanizada con tapa galvanizada de 60x70 A1	35,00 €	31	1.085,00 €
Arqueta empotrada de 40x40cm de hormigón de 15cm de grosor	45,00 €	253	11.385,00 €
Marco de chapa galvanizada con tapa galvanizada de 40x40 A1	32,00 €	253	8.096,00 €
Tubo doble pared rojo canalización de do PVC de 160mm	3,87 €	2134	8.258,58 €
Tubo doble pared rojo canalización de PVC de 63mm	1,11 €	7600	8.436,00 €
Conductor unipolar de 240mm <sup>2</sup> de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	8,30 €	5640	46.812,00 €
Conductor unipolar de 150mm <sup>2</sup> de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	5,21 €	4806	25.039,26 €
Conductor unipolar de cobre de 6mm <sup>2</sup> de RZ1-K 0,6/1KV XLPE	6,49 €	1400	9.086,00 €
Empalme de 240mm <sup>2</sup>	6,10 €	36	219,60 €
Empalme de 10mm <sup>2</sup>	0,80 €	14	11,20 €
Empalme de 20mm <sup>2</sup>	1,23 €	70	86,10 €
Empalme de 16mm <sup>2</sup>	0,90 €	19	17,10 €
Empalme de 150mm <sup>2</sup>	5,26 €	4	21,04 €
Conductor unipolar de 20mm <sup>2</sup> de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	10,35 €	500	5.175,00 €
Conductor unipolar de 16mm <sup>2</sup> de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	9,20 €	6.660,00	61.272,00 €
Conductor unipolar de 10mm <sup>2</sup> de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	7,50 €	1890	14.175,00 €
Cable de 35mm <sup>2</sup> de cobre desnudo para toma de tierra de las farolas	3,78 €	150	567,00 €
Pica de tierra de 2m	8,00 €	138	1.104,00 €

DESIGNACIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Brida para pica de tierra	1,28 €	138	176,64 €
Zanja de (0,4m3), excavación, extracción y retirada a la escombrera	1,27 €	7600	9.652,00 €
Zanja de (0,48m3), excavación, extracción y retirada a la escombrera	1,40 €	2134	2.987,60 €
Retroexcavadora	35,00 €	32	1.120,00 €
Hormigón H m 200 para zanja	50,00 €	100	5.000,00 €
C.G.P de 250A	180,00 €	40	7.200,00 €
Mano de obra de la instalación	14,00 €	480	33.600,00 €
	Subtotal		262.132,12 €
	IVA	21,00%	55.047,75 €
	<b>TOTAL</b>		<b>317.179,87 €</b>

## Capítulo 5 Diseño del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial

En este capítulo se detalla el diseño de las líneas de baja tensión destinadas a alimentar el alumbrado público y los servicios generales del polígono industrial, cumpliendo con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la reglamentación vigente. El objetivo es obtener la Autorización Administrativa y la de Ejecución de la instalación, así como proporcionar una base sólida para la ejecución de la red.

Se han diseñado líneas de baja tensión de 400V para alimentar el alumbrado público y los servicios generales del polígono industrial. Este diseño establece y justifica todos los datos constructivos necesarios para la ejecución de la instalación, demostrando ante los Organismos Competentes que la red eléctrica de baja tensión cumple con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la normativa vigente. Además, sirve como base para la implementación de la red.

El presente diseño incluye las características de los materiales, los cálculos que justifican su uso y la metodología de ejecución de las obras. Esto asegura el cumplimiento de las normas anteriores y, en particular, de las disposiciones específicas para el diseño de las líneas de baja tensión que se especifican a continuación:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002).
- Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de Alumbrado Exterior e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre de 2008).
- Instrucciones para Alumbrado Público Urbano editadas por la Gerencia de Urbanismo del Ministerio de la Vivienda en el año 1.965.
- Normas Tecnológicas de la Edificación NTE IEE – Alumbrado Exterior (B.O.E. 12.8.78).
- Norma UNE-EN 60921 sobre Balastos para lámparas fluorescentes.
- Norma UNE-EN 60923 sobre Balastos para lámparas de descarga, excluidas las fluorescentes.
- Norma UNE-EN 60929 sobre Balastos electrónicos alimentados por c.a. para lámparas fluorescentes.
- Normas UNE 20.324 y UNE-EN 50.102 referentes a Cuadros de Protección, Medida y Control.
- Normas UNE-EN 60.598-2-3 y UNE-EN 60.598-2-5 referentes a luminarias y proyectores para alumbrado exterior.

- Real Decreto 2642/1985 de 18 de diciembre (B.O.E. de 24-1-86) sobre Homologación de columnas y báculos.
- Real Decreto 401/1989 de 14 de abril, por el que se modifican determinados artículos del Real Decreto anterior (B.O.E. de 26-4-89).
- Orden de 16 de mayo de 1989, que contiene las especificaciones técnicas sobre columnas y báculos (B.O.E. de 15-7-89).
- 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.
- Normas particulares y de normalización de la Cía. Suministradora de Energía Eléctrica.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1.997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.
- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

### **5.1 Características generales del alumbrado y servicios generales de acuerdo con el pliego de condiciones**

En el diseño de la línea de baja tensión se utilizará el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y las Instrucciones Técnicas Complementarias, establecidas en el Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002. Este reglamento define las características mínimas que deben cumplirse en el diseño de las líneas de baja tensión para el alumbrado y los servicios generales del polígono industrial.

A continuación, se especifican las normas que se utilizarán para asegurar el cumplimiento de los criterios mínimos técnicos y de seguridad:

- Sistemas y materiales: Se emplearán sistemas y materiales similares a los utilizados en las redes subterráneas de distribución reguladas en la ITC-BT-07.

- Disposición de los cables: Los cables se colocarán en canalizaciones enterradas bajo tubo, a una profundidad mínima de 0,7 m desde el nivel del suelo hasta la cota inferior del tubo. El diámetro del tubo no será inferior a 63 mm para el circuito de alumbrado. No se instalará más de un circuito por tubo y se dejará un tubo de reserva.
- Características de los tubos: Los tubos deberán tener un diámetro de 63 mm, lo que permitirá un fácil alojamiento y extracción de los cables o conductores aislados. El diámetro exterior mínimo de los tubos, en función del número y la sección de los conductores, se obtendrá de la tabla 9 de la ITC-BT-21. Para el circuito de alumbrado, se dispondrá una zanja de 40x70 cm hasta la parte superior del tubo, con dos tubos de 63 mm, uno de los cuales será de reserva.
- Normativa de los tubos protectores: Los tubos protectores cumplirán con lo establecido en la norma UNE-EN 50.086 2-4. Esta normativa garantiza la resistencia y durabilidad de los tubos frente a diferentes condiciones ambientales y de uso.

Este enfoque asegura que el diseño de la línea de baja tensión no solo cumpla con todas las regulaciones técnicas y de seguridad, sino que también facilite el mantenimiento y futuras expansiones de la red. Las características mínimas que se considerarán incluyen:

- Resistencia a la compresión: 250 N para tubos embebidos en hormigón; 450 N para tubos en suelo ligero; 750 N para tubos en suelo pesado.
- Resistencia al impacto: Grado Ligero para tubos embebidos en hormigón; Grado Normal para tubos en suelo ligero o suelo pesado.
- Resistencia a la penetración de objetos sólidos: Protegido contra objetos  $D > 1$  mm.
- Resistencia a la penetración del agua: Protegido contra el agua en forma de lluvia.
- Resistencia a la corrosión de tubos metálicos y compuestos: Protección interior y exterior media.

Se instalará una cinta de señalización para advertir sobre la presencia de cables de alumbrado exterior. Esta cinta estará situada a una distancia mínima de 0,10 m del nivel del suelo y a 0,25 m por encima del tubo que contiene los cables. Además, se asegurará que la cinta esté completamente hormigonada a lo largo de todo su tramo para una mayor durabilidad y visibilidad.

Con el objetivo de hacer completamente registrable la instalación, cada uno de los soportes llevará adosada una arqueta de fábrica de ladrillo cerámico macizo (cítara) adosada. Estas arquetas estarán enfoscadas en su interior y contarán con una tapa de fundición de 40x40 cm para la línea de alumbrado. Además, se ubicarán arquetas en cada cruce, derivación o cambio de dirección de la instalación. Esta disposición garantiza un acceso fácil y seguro a la infraestructura subterránea en todo momento.

## 5.2 Cruzamientos y paralelismos

En la planificación de la instalación de alumbrado público y servicios generales, se debe prestar especial atención a los cruzamientos y paralelismos de los cables para garantizar la seguridad y

eficiencia de la red. Cuando los cables atraviesan calles y carreteras, se aplican medidas específicas para minimizar riesgos y facilitar el mantenimiento. En estos casos, los cables se alojan en tubos recubiertos de una capa de hormigón de 15 cm de espesor a lo largo de toda su longitud, enterrados a una profundidad mínima de 0,80 m. Se prefiere que los cruces se realicen de manera perpendicular al eje del vial para evitar interferencias con otras infraestructuras subterráneas. Además, se deja un tubo de reserva para futuras expansiones o reparaciones, asegurando la adaptabilidad de la instalación a las necesidades cambiantes.

En cuanto a los cruces con otros cables de energía eléctrica, se busca mantener una distancia mínima para prevenir interferencias y riesgos de cortocircuitos. En la medida de lo posible, los cables de baja tensión se disponen por encima de los cables de alta tensión para reducir riesgos de interferencia electromagnética. Se establece una distancia mínima de 0,25 m con cables de alta tensión y de 0,10 m con cables de baja tensión. Además, se garantiza que la distancia del punto de cruce a los empalmes sea superior a 1 m para facilitar el acceso y la manipulación de los cables durante el mantenimiento.

En el caso de los cruzamientos o paralelismos con canalizaciones de agua, se sigue la normativa vigente que indica que los cables deben instalarse por encima de las canalizaciones de agua. Se mantiene una distancia mínima de 20 cm para prevenir posibles daños en las conducciones de agua y asegurar la integridad de ambas infraestructuras. Estas medidas garantizan un despliegue seguro y eficiente de la instalación, minimizando riesgos de daños y facilitando su mantenimiento a largo plazo.

### 5.3 Instalaciones de enlace

Para completar el panorama del diseño de alumbrado público y servicios generales, es fundamental abordar las instalaciones de enlace que juegan un papel crucial en su funcionamiento eficiente y seguro. Entre estas instalaciones se destacan la caja de protección y medida, la derivación individual y los receptores de alumbrado.

La caja de protección y medida actúa como un punto central de control y protección de la instalación, donde se concentran los dispositivos de protección y medida necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Esta caja asegura que la energía suministrada cumpla con los estándares de seguridad y calidad requeridos, además de facilitar la medición del consumo energético y la detección de posibles fallos o sobrecargas.

La derivación individual es el punto de conexión entre la red pública de distribución eléctrica y la instalación de alumbrado público y servicios generales. Esta derivación permite la distribución eficiente de la energía hacia los diferentes receptores de alumbrado y servicios, garantizando un suministro adecuado y estable en todo el sistema.

Los receptores de alumbrado, por su parte, son los elementos finales de la instalación que transforman la energía eléctrica en iluminación, proporcionando luz en las áreas designadas. Estos receptores pueden ser lámparas, farolas u otros dispositivos de iluminación, cuya ubicación y distribución se planifican cuidadosamente para asegurar una cobertura adecuada y uniforme de la zona a iluminar. En conjunto, estas instalaciones de enlace desempeñan un papel fundamental en el diseño y funcionamiento de las instalaciones de alumbrado público y servicios generales, garantizando su eficiencia, seguridad y calidad de servicio. Su correcta planificación y ejecución son clave para lograr un sistema de iluminación

urbana y servicios públicos confiable y eficaz.

### 5.3.1 Caja de protección y medida

En el caso de suministros destinados a un único usuario, donde no existe una línea general de alimentación, se empleará un único dispositivo que combine la función de caja general de protección y equipo de medida, denominado caja de protección y medida. Esta caja concentra el fusible de seguridad, que coincide con el fusible que integra la caja general de protección (CGP). Se prefiere ubicar estas cajas en las fachadas exteriores de los edificios, garantizando así un acceso libre y permanente acordado entre la propiedad y la empresa suministradora.

Estas cajas de protección y medida se instalarán en nichos en la pared, los cuales se cerrarán con puertas preferiblemente metálicas, con grado de protección IK 10 según la normativa UNE-EN 50.102, adaptadas al entorno y protegidas contra la corrosión. Se asegurarán con cerraduras o candados normalizados por la empresa suministradora. Los dispositivos de lectura de los equipos de medida se colocarán a una altura entre 0,70 y 1,80 m, conforme a las especificaciones detalladas en la Figura 14.

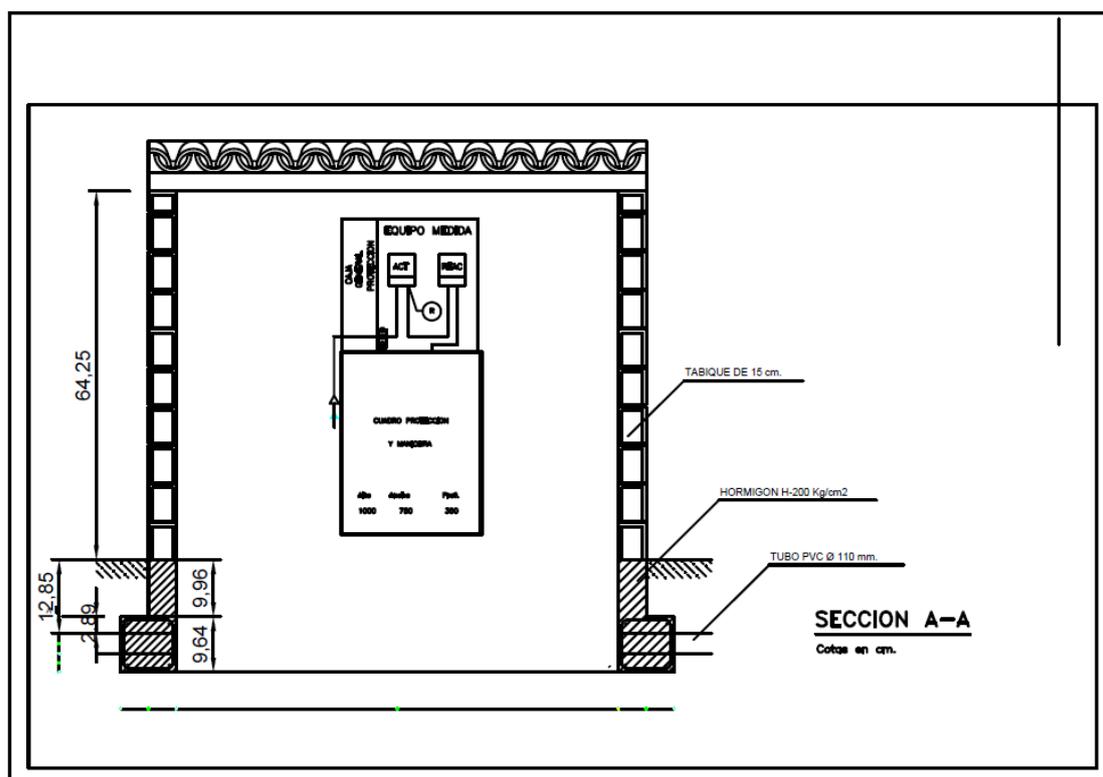


Figura 14. Plano de la caseta de alumbrado público

En estos nichos se prevén los orificios necesarios para alojar los conductos de entrada de la acometida. Si la fachada no colinda con la vía pública, la caja general se ubicará en el límite entre las propiedades públicas y privadas. Las cajas de protección y medida utilizadas se ajustarán a uno de los tipos definidos en las especificaciones técnicas de la empresa

suministradora, aprobadas por la Administración Pública competente, considerando el número y tipo de suministro. Adicionalmente, se instalarán cortacircuitos fusibles en todos los conductores de fase o polares, con poder de corte al menos igual a la corriente de cortocircuito prevista en el punto de instalación.

Las cajas de protección y medida cumplirán todo lo que sobre el particular se indica en la Norma UNE-EN 60.439 -1 y tendrán el grado de inflamabilidad según se indica en la norma UNE-EN 60.439 -3. Una vez instaladas, contarán con un grado de protección IP43 según la norma UNE 20.324 y IK 09 según UNE-EN 50.102, además de ser precintables. La envolvente dispondrá de ventilación interna adecuada para evitar la formación de condensación, y el material transparente para la lectura será resistente a los rayos ultravioleta. Las disposiciones generales de estas cajas se encuentran descritas en la ITC-BT-13.

### 5.3.2 Derivación individual

La derivación individual, partiendo de la caja de protección y medida, es la parte esencial de la instalación que suministra energía eléctrica a una instalación de usuario. Esta sección abarca los fusibles de seguridad, el conjunto de medida y los dispositivos generales de mando y protección, regulados por la ITC-BT-15. A continuación, detallamos los aspectos que conciernen a nuestra instalación.

Las derivaciones individuales estarán constituidas por conductores aislados en el interior de tubos enterrados. Los conductores empleados son de cobre, aislados y generalmente unipolares, con una tensión asignada mínima de 450/750 V. En el caso de cables multiconductores o derivaciones individuales en tubos enterrados, el aislamiento de los conductores es de 0,6/1 kV. La sección mínima de los cables polares, neutro y protección es de 6 mm<sup>2</sup>, mientras que para el hilo de mando (utilizado para aplicaciones de diferentes tarifas) es de 1,5 mm<sup>2</sup> y se identifica en color rojo.

Los cables utilizados no propagan incendios y tienen una emisión de humos y opacidad reducida. Cumplen con estas especificaciones aquellos cables que presentan características equivalentes a las establecidas en la norma UNE 21.123, parte 4 o 5, o en la norma UNE 211002. En el caso de derivaciones individuales en suministros para un único usuario, donde no existe línea general de alimentación, la caída de tensión máxima admisible es del 1,5 %.

### 5.3.3 Receptores de alumbrado

Las luminarias utilizadas cumplirán con los requisitos establecidos en las normas de la serie UNE-EN 60598. En el caso de luminarias suspendidas excepcionalmente de cables flexibles, su masa no deberá exceder los 5 kg. Las partes metálicas accesibles de las luminarias, que no pertenezcan a la Clase II o Clase III, deberán contar con un dispositivo de conexión a tierra, el cual se conectará de forma segura y permanente al conductor de protección del circuito.

Los circuitos de alimentación se diseñarán para soportar la carga proveniente de los receptores, sus componentes asociados y las corrientes armónicas y de arranque. Para los receptores que empleen lámparas de descarga, la carga mínima prevista en voltiamperios será 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas. En distribuciones monofásicas, la sección del conductor neutro será igual a la de los conductores de fase. Se puede considerar un coeficiente

diferente para calcular la sección de los conductores, siempre y cuando el factor de potencia de cada receptor sea igual o mayor a 0,9, y se conozca la carga de cada elemento asociado a las lámparas y sus corrientes de arranque. En tal caso, se aplicará el coeficiente resultante. En el caso de receptores con lámparas de descarga, será obligatoria la compensación del factor de potencia hasta alcanzar un valor mínimo de 0,9.

#### 5.4 Luminarias

El sistema de iluminación adoptado se adapta a las necesidades específicas de cada área, contemplando una variedad de luminarias diseñadas para distintos propósitos:

- Luminarias de Proyección Vertical para Iluminación de Vías: Estas farolas, ubicadas a una altura de 10 metros y con una separación de 30 metros entre ellas, están equipadas con lámparas de vapor de sodio de alta presión, con una potencia unitaria de 150W. Su diseño proporciona una iluminación uniforme y eficiente a lo largo de las vías.
- Luminarias para la Iluminación de Zonas Verdes: Diseñadas específicamente para áreas verdes, estas farolas de 4 metros de altura cuentan con lámparas de vapor de sodio de alta presión, con una potencia de 100W. Su iluminación suave y difusa resalta la belleza de los espacios verdes, creando ambientes acogedores y seguros.
- Focos para la Iluminación de Pistas Deportivas: Para garantizar una iluminación óptima en las pistas de fútbol, baloncesto y tenis, se utilizan focos de vapor de sodio de alta presión con una potencia de 400W. Estos focos proporcionan una iluminación potente y uniforme que permite la práctica deportiva en condiciones ideales.

El sistema de iluminación se caracteriza por su alta calidad y durabilidad, cumpliendo con los siguientes requisitos:

- Térmicas: Se garantiza una adecuada gestión térmica para proteger los componentes de la luminaria y prolongar su vida útil, así como para preservar la integridad de las lámparas y accesorios en el caso de altas temperaturas.
- Resistencia mecánica: Tanto de sus componentes, como del ensamblaje del conjunto y de la fijación de éste al soporte. La resistencia al impacto en los casos normales de alumbrado público deberá ser de grado 3. En casos poco comprometidos puede admitirse el grado 2 y en caso de exigencia elevada (antivandálicas) será de grado 5.
- Resistencia a la corrosión: Teniendo en cuenta las elevadas solicitudes a que está sometida la luminaria, los materiales de construcción deben ser elegidos en función de la agresividad ambiental. También debe evitarse la acción de pares galvánicos entre componentes.
- Operativas: Las operaciones de montaje y desmontaje de la luminaria y las posteriores deben realizarse con facilidad y sin posibilidad de alterar posiciones de enfoque, fijación, etc.

Con respecto a la iluminaria, se dispone de 4 tipos de iluminarias para la iluminación, entre las opciones se describen los siguientes tipos de farolas:

Farola 1, es una lámpara de vapor de sodio, es eficiente para diferentes zonas y por su uso energética, además proporciona una buena iluminaria y tiene larga vida de utilidad, ver Figura 15:

- Tipo: Lámpara de vapor de sodio de alta presión
- Potencia nominal (W):150w
- Temperatura del color (k): 2000
- Flujo luminoso (lumen): 15000
- Eficiencia energética (lm/w):99
- Factor de utilización de la instalación:1,8

En la Figura 15, podemos ver el tipo de farola que se podría utilizar para iluminar las áreas más amplias en la zona de estudio.



*Figura 15. Farola Tipo1*

Farola 2, es una opción para lugares que necesitan mayor iluminación, sitios como la zona industrial o almacén, ver Figura 16:

- Tipo: Lámpara de vapor de sodio de alta presión
- Potencia nominal (W):100w
- Temperatura del color (k): 1500
- Flujo luminoso (lumen): 18500
- Eficiencia energética (lm/w):99
- Factor de utilización de la instalación:1,8

En la Figura 16, podemos ver el tipo de farola que se puede utilizar.



*Figura 16. Farola Tipo2.*

Foco 3, tiene aplicaciones específicas para interiores, pero su uso es para exteriores, ver Figura 17:

- Tipo: Lámpara de vapor de sodio de alta presión
- Potencia nominal (W):2000w
- Temperatura del color (k): 4000
- Flujo luminoso (lumen): 18500
- Eficiencia energética (lm/w):150
- Factor de utilización de la instalación:1,8

En la Figura 17, podemos ver el tipo de farola que se podría utilizar, dependiendo el sitio o lugar.



*Figura 17. Foco 3.*

#### 5.4.1.1 Soportes

Las luminarias descritas en el apartado anterior irán sujetas sobre columnas-soporte de forma tronco-cónica de 10m y 4m de altura, que se ajustarán a la normativa vigente. En el caso de que sean de acero deberán cumplir el RD 2642/85, RD 401/89 y OM de 16/5/89. Serán de materiales

resistentes a la intemperie o estarán debidamente protegidas, sin permitir la entrada de agua de lluvia ni la acumulación del agua de condensación. Los soportes, sus anclajes y cimentaciones se dimensionarán resistiendo las sollicitaciones mecánicas, considerando la acción del viento, con un coeficiente de seguridad inferior a 2,5.

Las columnas irán provistas de puertas de registro de acceso para la manipulación de sus elementos de protección y maniobra, por lo menos a 0,30 m. del suelo, dotada de una puerta o trampilla con grado de protección IP 44 según UNE 20.324 (EN 60529) e IK10 según UNE-EN 50.102, que sólo se pueda abrir mediante el empleo de útiles especiales. En su interior se ubicará una tabla de conexiones de material aislante, provista de alojamiento para los fusibles y de fichas para la conexión de los cables.

La sujeción a la cimentación se hará mediante placa de base a la que se unirán los pernos anclados en la cimentación, mediante arandela, tuerca y contratuerca.

#### 5.4.2 Especificaciones de los materiales y de la ejecución

Todos los materiales empleados deben cumplir con los estándares aceptados por la Compañía Suministradora de Electricidad. Además, el aislamiento de los materiales de la instalación debe estar dimensionado como mínimo para la tensión más alta de la red garantizando un aislamiento completo.

Asimismo, en la ejecución del diseño de las líneas de baja tensión, es imprescindible considerar las disposiciones legales y las normas específicas aplicables a la instalación.

#### 5.5 Estado de las mediciones

Se detalla aquí la forma en la que se va a calcular las mediciones necesarias para la red subterránea

Para determinar la sección adecuada de los conductores en el proyecto es necesario realizar varios cálculos: el cálculo de la potencia eléctrica, el cálculo de la intensidad de corriente y el cálculo de la caída de tensión.

El cálculo de la potencia se utiliza para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para operar todos los equipos y sistemas eléctricos. Esta potencia se mide en kilovatios (kW) y es esencial para diseñar y dimensionar adecuadamente la instalación eléctrica, asegurar el funcionamiento seguro y eficiente de los equipos, y planificar el consumo energético.

Esta potencia compleja  $S$  será

$$S = I^* \cdot V$$

Donde  $I$  es la intensidad de corriente en amperios (A) y  $V$  es la tensión en voltios (V).

Siendo la potencia real  $P = I \cdot V \cdot \cos \phi$  en vatios (W)

Y la potencia reactiva  $Q = I \cdot V \cdot \sin \phi$  en voltiamperios reactivos (VAR)

Siendo el  $\cos \phi$  el factor de potencia (FP) que será quien nos mida el rendimiento eléctrico al relacionar la potencia real o activa ( $P$ ) con la potencia aparente ( $|S| = P_p$ ).

Al planificar una nueva nave industrial, es fundamental calcular la potencia requerida para asegurar que la instalación eléctrica sea capaz de soportar la carga de todos los equipos y

maquinaria que se instalarán. Esto incluye maquinaria de producción, sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), equipos de oficina, entre otros. Por otro lado, conocer la potencia total requerida ayuda a garantizar que los componentes de la instalación (cables, interruptores, tableros de distribución, etc.) se seleccionen adecuadamente para evitar sobrecargas y reducir el riesgo de incendios o fallos eléctricos.

Un cálculo preciso de la potencia permite optimizar el consumo energético, lo que puede resultar en ahorro de costos y una operación más sostenible desde el punto de vista medioambiental. Al planificar la capacidad de suministro, es esencial coordinar con la compañía suministradora de energía eléctrica para asegurar que la red de distribución local pueda proporcionar la energía necesaria sin dificultades.

Teniendo en cuenta que una instalación adecuada protege tanto a las personas como a los equipos en la nave industrial, se habrán de dimensionar adecuadamente los cables, seleccionar los dispositivos de protección y asegurar la eficiencia y seguridad de la instalación eléctrica. Para ello es fundamental calcular la intensidad de la corriente eléctrica que fluye a través de los circuitos de nuestra nave en el polígono industrial y asegurarnos de que los cables utilizados en la instalación sean capaces de soportar la corriente prevista sin sobrecalentarse. Si la intensidad calculada es muy alta, será necesario utilizar cables de mayor sección. Calcular correctamente la intensidad eléctrica es vital para prevenir sobrecargas y cortocircuitos, que podrían provocar incendios o daños en los equipos.

Además, la elección de los dispositivos de protección, como interruptores automáticos y fusibles, debe basarse en la corriente que circula por el circuito. Si seleccionamos dispositivos con una capacidad de corriente insuficiente, podrían dispararse o fundirse innecesariamente. Por otro lado, una sobrecapacidad podría no brindar una protección adecuada al circuito.

El factor de potencia (FP) es crucial para calcular la intensidad con precisión. Un bajo factor de potencia implica un mayor consumo de corriente para la misma cantidad de potencia activa, lo que puede aumentar las pérdidas en el sistema y elevar los costos de energía. Mejorar el factor de potencia puede reducir la intensidad necesaria, optimizando el uso de energía.

La fórmula para el cálculo de la intensidad eléctrica en una nave de un polígono industrial se usa para determinar la corriente eléctrica (I) que fluye a través de un circuito eléctrico. Este cálculo es esencial para dimensionar adecuadamente los cables, seleccionar los dispositivos de protección y asegurar la eficiencia y seguridad de la instalación eléctrica.

$$P_p = 3 \cdot R_L \cdot L \cdot I^2$$

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi)$$

Siendo:

P<sub>p</sub>: Potencia perdida en KW.

P: Potencia a transportar en KW.

I: Intensidad de la línea en Amperios.

V: Tensión de la línea en KV.

L: Longitud de la línea en km

R<sub>L</sub>: Resistencia del conductor en (Ω/km)

$$P_p = (R_L \cdot L \cdot P^2) / (V^2 \cdot \cos^2\phi)$$

$$Pp\% = RL/(10 \cdot V^2 \cdot \cos^2 \phi)$$

En el contexto de una nave industrial en un polígono, es crucial calcular con precisión la caída de tensión. Esta caída se refiere a la disminución del voltaje en nuestro circuito eléctrico debido a la resistencia del conductor por el cual fluye la corriente. Dado que las distancias entre los puntos de suministro de energía y los equipos pueden ser significativas, este cálculo se convierte en una consideración crítica en la planificación y diseño de sistemas eléctricos, especialmente en entornos industriales.

Los equipos eléctricos están diseñados para funcionar dentro de un rango específico de voltajes. Una caída de tensión excesiva puede afectar su eficiencia o incluso dañarlos. Por lo tanto, debemos asegurarnos de que los cables utilizados en la instalación sean capaces de soportar la corriente prevista sin sobrecalentarse. Si la intensidad calculada es muy alta, será necesario utilizar cables de mayor sección.

Además, las normativas eléctricas y regulaciones locales suelen especificar límites máximos para la caída de tensión en instalaciones eléctricas. Esto garantiza un funcionamiento seguro y eficiente en nuestra red.

Para calcular la caída de tensión (e) en nuestra instalación, utilizaremos la siguiente expresión:

$$e(\%) = \frac{L * P}{C * S * V^2} * 100$$

donde  
L= longitud del circuito o tramo  
P= potencia activa  
C= conductividad  
S= sección  
V= tensión de la red

Una vez realizados estos cálculos, se pueden determinar las secciones mínimas de las líneas de baja tensión del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial. Los resultados se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se observa que los cálculos que obtenemos cumplen la caída de tensión máxima admisible para el alumbrado público según la normativa. Asimismo, se pueden ver los cálculos que se obtienen de cada circuito y tramo. Teniendo en cuenta un reparto de cargas equitativas. En esta tabla también podemos ver los distintos circuitos y tramos de las líneas de baja tensión.

*Tabla 5-1. Cálculos de las líneas de baja tensión del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial.*

Tensión	Nº Farolas grandes	Potencia F.Grandes	Potencia total	Intensidad	Longitud	Sección	Factor de potencia	Factor arranque	Conductividad	Caída tensión	Caída tensión %	C.T por Línea	Tramo	Longitud total circuito	Circuitos
400	14	150	3.780	6,82	30	6	0,8	1,8	56	1,05	0,26		1		C1
400	13	150	3.510	6,33	34	6	0,8	1,8	56	1,11	0,28		2		C1
400	12	150	3.240	5,85	30	6	0,8	1,8	56	0,90	0,23		3		C1
400	11	150	2.970	5,36	32	6	0,8	1,8	56	0,88	0,22		4		C1
400	10	150	2.700	4,87	36	6	0,8	1,8	56	0,90	0,23		5		C1
400	9	150	2.430	4,38 3,90	35	6	0,8	1,8	56	0,79	0,20		6		C1

400	8	150	2.160	3,41	30	6	0,8	1,8	56	0,60	0,15		7		C1
400	7	150	1.890	2,92	33,5	6	0,8	1,8	56	0,59	0,15		8		C1
400	6	150	1.620	2,44	34	6	0,8	1,8	56	0,51	0,13		9		C1
400	5	150	1.350	1,95	33	6	0,8	1,8	56	0,41	0,10		10		C1
400	4	150	1.080	1,46	34	6	0,8	1,8	56	0,34	0,09		11		C1
400	3	150	810	0,97	36	6	0,8	1,8	56	0,27	0,07		12		C1
400	2	150	540	0,49	33	6	0,8	1,8	56	0,17	0,04		13		C1
400	1	150	270	9,26	34	6	0,8	1,8	56	0,09	0,02	2,16	14	1393,5	C1
400	19	150	5.130	8,77	33	10	0,8	1,8	56	0,94	0,24		15		C2
400	18	150	4.860	8,28	34	10	0,8	1,8	56	0,	0,23		16		C2
400	17	150	4.590	7,79	35	10	0,8	1,8	56	0,90	0,22		17		C2
400	16	150	4.320	7,31	34	10	0,8	1,8	56	0,82	0,20		18		C2
400	15	150	4.050	6,82	36	10	0,8	1,8	56	0,81	0,20		19		C2
400	14	150	3.780	6,33	34	10	0,8	1,8	56	0,72	0,18		20		C2
400	13	150	3.510	5,85	33	10	0,8	1,8	56	0,65	0,16		21		C2
400	12	150	3.240	5,36	32	10	0,8	1,8	56	0,58	0,14		22		C2
400	11	150	2.970	4,87	31	10	0,8	1,8	56	0,51	0,13		23		C2
400	10	150	2.700	4,38	30	10	0,8	1,8	56	0,45	0,11		24		C2
400	9	150	2.430	3,90	33,5	10	0,8	1,8	56	0,45	0,11		25		C2
400	8	150	2.160	3,41	32	10	0,8	1,8	56	0,39	0,10		26		C2
400	7	150	1.890	2,92	34	10	0,8	1,8	56	0,36	0,09		27		C2
400	6	150	1.620	2,44	33	10	0,8	1,8	56	0,30	0,07		28		C2
400	5	150	1.350	1,95	34	10	0,8	1,8	56	0,26	0,06		29		C2
400	4	150	1.080	1,46	33	10	0,8	1,8	56	0,20	0,05		30		C2
400	3	150	810	0,97	32	10	0,8	1,8	56	0,14	0,04		31		C2
400	2	150	540	0,49	30	10	0,8	1,8	56	0,09	0,02		32		C2
400	1	150	270	17,54	35	10	0,8	1,8	56	0,05	0,01	2,39	33	1885,5	C2
400	36	150	9.720	17,05	23	16	0,8	1,8	56	0,78	0,19		1		C3
400	35	150	9.450	16,56	26	16	0,8	1,8	56	0,86	0,21		2		C3
400	34	150	9.180	16,08	28	16	0,8	1,8	56	0,90	0,22		3		C3
400	33	150	8.910	15,59	27	16	0,8	1,8	56	0,84	0,21		4		C3
400	32	150	8.640	15,10	32	16	0,8	1,8	56	0,96	0,24		5		C3
400	31	150	8.370	14,61	28	16	0,8	1,8	56	0,82	0,20		6		C3
400	30	150	8.100	14,13	28	16	0,8	1,8	56	0,79	0,20		7		C3

400	29	150	7.830	1,46	29	16	0,8	1,8	56	0,79	0,20		8		C3
400	3	150	810	0,97	28	16	0,8	1,8	56	0,08	0,02		9		C3
400	2	150	540	0,49	27	16	0,8	1,8	56	0,05	0,01		10		C3
400	1	150	270	12,18	29	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		11		C3
400	25	150	6.750	11,69	25	16	0,8	1,8	56	0,59	0,15		12		C3
400	24	150	6.480	11,20	17	16	0,8	1,8	56	0,38	0,10		13		C3
400	23	150	6.210	10,72	28	16	0,8	1,8	56	0,61	0,15		14		C3
400	22	150	5.940	0,97	28	16	0,8	1,8	56	0,58	0,15		15		C3
400	2	150	540	0,97	30	16	0,8	1,8	56	0,06	0,01		16		C3
400	1	150	270	0,49	32	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		17		C3
400	19	150	5.130	9,26	28	16	0,8	1,8	56	0,50	0,13		18		C3
400	18	150	4.860	8,77	12	16	0,8	1,8	56	0,20	0,05		19		C3
400	17	150	4.590	8,28	25	16	0,8	1,8	56	0,40	0,10		20		C3
400	16	150	4.320	7,79	28	16	0,8	1,8	56	0,42	0,11		21		C3
400	2	150	540	0,97	30	16	0,8	1,8	56	0,06	0,01		22		C3
400	1	150	270	0,49	28	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		23		C3
400	13	150	3.510	6,33	25	16	0,8	1,8	56	0,31	0,08		24		C3
400	12	150	3.240	5,85	14	16	0,8	1,8	56	0,16	0,04		25		C3
400	4	150	1.080	1,95	28	16	0,8	1,8	56	0,11	0,03		26		C3
400	3	150	810	1,46	28	16	0,8	1,8	56	0,08	0,02		27		C3
400	2	150	540	0,97	30	16	0,8	1,8	56	0,06	0,01		28		C3
400	1	150	270	0,49	28	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		29		C3
400	6	150	1.620	2,92	28	16	0,8	1,8	56	0,16	0,04		30		C3
400	5	150	1.350	2,44	28	16	0,8	1,8	56	0,13	0,03		31		C3
400	4	150	1.080	1,95	27	16	0,8	1,8	56	0,10	0,03		32		C3
400	3	150	810	1,46	15	16	0,8	1,8	56	0,04	0,01		33		C3
400	2	150	540	0,97	28	16	0,8	1,8	56	0,05	0,01		34		C3
400	1	150	270	0,49	23	16	0,8	1,8	56	0,02	0,01	3,0	35	2754	C3
400	35	150	9.450	17,05	28	16	0,8	1,8	56	0,92	0,23		1		C4
400	34	150	9.180	16,56	16	16	0,8	1,8	56	0,51	0,13		2		C4
400	33	150	8.910	16,08	36	16	0,8	1,8	56	1,12	0,28		3		C4
400	32	150	8.640	15,59	21	16	0,8	1,8	56	0,63	0,16		4		C4
400	2	150	540	0,97	53	16	0,8	1,8	56	0,10	0,02		5		C4
400	1	150	270	0,49	37	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		6		C4
400	29	150	7.830	14,13	29	16	0,8	1,8	56	0,79	0,20		7		C4
400	28	150	7.560	13,64	17	16	0,8	1,8	56	0,45	0,11		8		C4
400	4	150	1.080	1,95	39	16	0,8	1,8	56	0,15	0,04		9		C4

400	3	150	810	1,46	31	16	0,8	1,8	56	0,09	0,02		10		C4
400	2	150	540	0,97	54	16	0,8	1,8	56	0,10	0,03		11		C4
400	1	150	270	0,49	36	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		12		C4
400	23	150	6.210	11,20	12	16	0,8	1,8	56	0,26	0,06		13		C4
400	22	150	5.940	10,72	48	16	0,8	1,8	56	0,99	0,25		14		C4
400	21	150	5.670	10,23	38	16	0,8	1,8	56	0,75	0,19		15		C4
400	9	150	2.430	4,38	38	16	0,8	1,8	56	0,32	0,08		16		C4
400	8	150	2.160	3,90	31	16	0,8	1,8	56	0,23	0,06		17		C4
400	7	150	1.890	3,41	27	16	0,8	1,8	56	0,18	0,04		18		C4
400	6	150	1.620	2,92	16	16	0,8	1,8	56	0,09	0,02		19		C4
400	5	150	1.350	2,44	38	16	0,8	1,8	56	0,18	0,04		20		C4
400	4	150	1.080	1,95	18	16	0,8	1,8	56	0,07	0,02		21		C4
400	3	150	810	1,46	32	16	0,8	1,8	56	0,09	0,02		22		C4
400	2	150	540	0,97	36	16	0,8	1,8	56	0,07	0,02		23		C4
400	1	150	270	0,49	32	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01		24		C4
400	11	150	2.970	5,36	12	16	0,8	1,8	56	0,12	0,03		25		C4
400	10	150	2.700	4,87	60	16	0,8	1,8	56	0,57	0,14		26		C4
400	9	150	2.430	4,38	34	16	0,8	1,8	56	0,29	0,07		27		C4
400	8	150	2.160	3,90	35	16	0,8	1,8	56	0,26	0,07		28		C4
400	7	150	1.890	3,41	30	16	0,8	1,8	56	0,20	0,05		29		C4
400	6	150	1.620	2,92	25	16	0,8	1,8	56	0,14	0,04		30		C4
400	5	150	1.350	2,44	15	16	0,8	1,8	56	0,07	0,02		31		C4
400	4	150	1.080	1,95	35	16	0,8	1,8	56	0,13	0,03		32		C4
400	3	150	810	1,46	47	16	0,8	1,8	56	0,13	0,03		33		C4
400	2	150	540	0,97	42	16	0,8	1,8	56	0,08	0,02		34		C4
400	1	150	270	0,49	37	16	0,8	1,8	56	0,03	0,01	2,56	35	3405	C4
400	1	150	27.720	50,01	164	20	0,8	1,8	56	12,68	3,17	3,17	1	492	C5

En base a los cálculos mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se realiza el plano de los circuitos de alumbrado público del centro de transformación 1 en el polígono que se detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y el plano de los circuitos del centro de transformación 1 de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

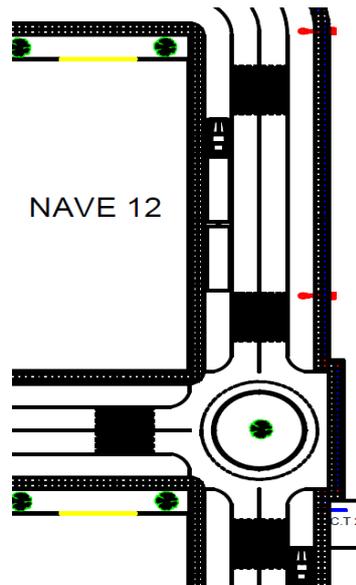


Figura 18. Plano de los circuitos de alumbrado público del centro de transformación 1 en el polígono.

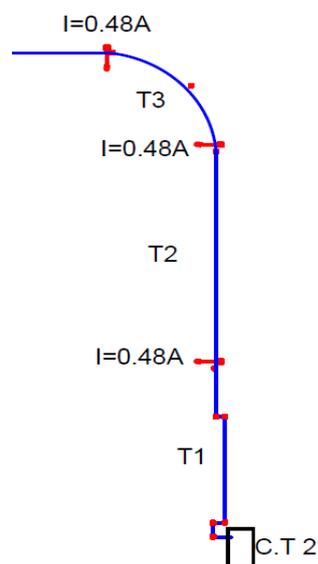


Figura 19. Plano de los circuitos del centro de transformación 1

## 5.6 Presupuesto del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial

Basado en el diseño completo del alumbrado público y los servicios generales del polígono industrial y considerando todas sus especificaciones, se ha elaborado un presupuesto detallado que refleja los materiales necesarios para su construcción y equipamiento. En la Tabla 5-2 se presenta el desglose completo de los costos asociados a cada componente y aspecto del centro de transformación, proporcionando una visión clara y precisa de los recursos financieros requeridos para llevarlo a cabo.

Tabla 5-2. Presupuesto del alumbrado público y servicios generales del polígono

DESIGNACIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Farola de 10m	350,00 €	103	36.050,00 €
Cabeza de la farola de 150w	37,52 €	103	3.864,56 €
Farola de 4m	175,00 €	35	6.125,00 €
Cabeza de la farola de 100w	37,52 €	35	1.313,20 €
Foco de 400W	50,53 €	6	303,18 €
Torreta de 4m	102,36 €	6	614,16 €
Lampara de descarga de 400W	30,25 €	6	181,50 €
Conductor unipolar de cobre de 6mm2 de RZ1-K 0,6/1KV XLPE	6,49 €	600	3.894,00 €
Lámparas de descarga de 150w	16,00 €	103	1.648,00 €
Lámparas de descarga de 100w	14,00 €	35	490,00 €
Empalme de 10mm2	0,80 €	14	11,20 €
Empalme de 20mm2	1,23 €	70	86,10 €
Empalme de 16mm2	0,90 €	19	17,10 €
Conductor unipolar de 20mm2 de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	10,35 €	492	5.092,20 €
Conductor unipolar de 16mm2 de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	9,20 €	6.160,00	56.672,00 €
Conductor unipolar de 10mm2 de RV-K 0,6/1KV XLPE cubierta termoplástica de a base de poliolefina	7,50 €	1885	14.137,50 €
Cable de 35mm2 de cobre desnudo para toma de tierra de las farolas	3,78 €	150	567,00 €
Pica de tierra de 2m	8,00 €	138	1.104,00 €
Brida para pica de tierra	1,28 €	138	176,64 €
Mano de obra de la instalación	14,00 €	200	14.000,00 €
	Subtotal		146.347,34 €
	IVA	21,00%	30.732,94 €
	Descuento	5%	7.317,37 €
	<b>TOTAL</b>		<b>177.080,28 €</b>

## Capítulo 6 Diseño de la electrificación de una nave del polígono industrial

En este capítulo se explicará cómo se ha realizado el diseño de la electrificación en baja tensión que alimentaran a las naves del polígono industrial con las condiciones y garantías mínimas exigidas por la reglamentación vigente, con el fin de obtener la Autorización Administrativa y la de Ejecución de la instalación, así como servir de base cuando se proceda a la ejecución de la red.

Se diseñará la electrificación en baja tensión de 400V que alimentará a las naves del polígono industrial y se establecerán y justificarán todos los datos constructivos que permitan la ejecución de la instalación y al mismo tiempo exponer ante los Organismos Competentes que la red eléctrica de baja tensión que nos ocupa reúne las condiciones y garantías mínimas exigidas por la reglamentación vigente, así como servir de base a la hora de proceder a la ejecución de dicha red.

El presente diseño recoge las características de los materiales, los cálculos que justifican su empleo y la forma de ejecución de las obras a realizar, dando con ello cumplimiento de las anteriores normas y específicamente para el diseño de las líneas de baja tensión de estas disposiciones:

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002).
- 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.
- Código Técnico de la Edificación, DB SI sobre Seguridad en caso de incendio.
- Código Técnico de la Edificación, DB HE sobre Ahorro de energía.
- Código Técnico de la Edificación, DB SU sobre Seguridad de utilización.
- Código Técnico de la Edificación, DB-HR sobre Protección frente al ruido.
- Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre)
- Normas Técnicas para la accesibilidad y la eliminación de barreras arquitectónicas, urbanísticas y en el transporte.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1.997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.

- Real Decreto 486/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 485/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

## 6.1 Pliego de condiciones

En el diseño de la electrificación de las naves del polígono industrial se utilizará el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002). Estableciendo así las características mínimas que se debe de cumplir en el diseño de la electrificación de las naves. A continuación, especificaremos las normas que específicamente utilizaremos para cumplir los criterios mínimos para cumplir las condiciones técnicas y garantías de seguridad.

### 6.1.1 Requisitos de diseño de la caja de protección de medida

Para el caso de suministros a un único usuario, al no existir línea general de alimentación, se colocará en un único elemento la caja general de protección y el equipo de medida; dicho elemento se denominará caja de protección y medida. En consecuencia, el fusible de seguridad ubicado antes del contador coincide con el fusible que incluye una CGP. Se instalará sobre la fachada exterior del edificio en un lugar de libre acceso.

Se instalará en un nicho en pared, que se cerrará con una puerta metálica, con grado de protección IK 10 según UNE-EN 50.102, revestida exteriormente según el entorno y protegida contra la corrosión, disponiendo de una cerradura o candado normalizado por la empresa suministradora. Los dispositivos de lectura de los equipos de medida se ubicarán a una altura de 0,70 a 1,80 m.

En el nicho se dejarán previstos los orificios necesarios para alojar los conductos de entrada de la acometida. Las cajas de protección y medida a utilizar corresponderán a uno de los tipos recogidos en las especificaciones técnicas de la empresa suministradora que hayan sido aprobadas por la Administración Pública competente, en función del número y naturaleza del suministro. Dentro de las mismas se instalarán cortocircuitos fusibles en todos los conductores de fase o polares, con poder de corte al menos igual a la corriente de cortocircuito prevista en el punto de su instalación.

Las cajas de protección y medida cumplirán todo lo que sobre el particular se indica en la Norma UNE-EN 60.439 -1, tendrán grado de inflamabilidad según se indica en la norma UNE-EN 60.439 -3, una vez instaladas tendrán un grado de protección IP43 según UNE 20.324 e IK 09 según UNE-EN 50.102 y serán precintables.

La envolvente dispondrá de la ventilación interna necesaria que garantice la no formación de condensaciones; el material transparente para la lectura será resistente a la acción de los rayos ultravioleta. Las disposiciones generales de este tipo de caja quedan recogidas en la ITC-BT-13.

### 6.1.2 Derivación individual

Es la parte de la instalación que, partiendo de la caja de protección y medida, suministra energía eléctrica a una instalación de usuario. Comprende los fusibles de seguridad, el conjunto de medida y los dispositivos generales de mando y protección. Está regulada por la ITC-BT-15. Mencionaremos las características que nos indica la ITC para nuestra instalación. Las derivaciones individuales estarán constituidas por conductores aislados en el interior de tubos enterrados.

Los conductores a utilizar serán de cobre, aislados y normalmente unipolares, siendo su tensión asignada 450/750 V como mínimo. Para el caso de cables multiconductores o para el caso de derivaciones individuales en el interior de tubos enterrados, el aislamiento de los conductores será de tensión asignada 0,6/1 kV. La sección mínima será de 6 mm<sup>2</sup> para los cables polares, neutro y protección y de 1,5 mm<sup>2</sup> para el hilo de mando (para aplicación de las diferentes tarifas), que será de color rojo.

Los cables serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida. Los cables con características equivalentes a las de la norma UNE 21.123 parte 4 ó 5 o a la norma UNE 211002 cumplen con esta prescripción. La caída de tensión máxima admisible será, para el caso de derivaciones individuales en suministros para un único usuario en que no existe línea general de alimentación, del 1,5 %.

### 6.1.3 Dispositivos generales e individuales de mando y protección

Los dispositivos generales de mando y protección se situarán lo más cerca posible del punto de entrada de la derivación individual. En establecimientos en los que proceda, se colocará una caja para el interruptor de control de potencia, inmediatamente antes de los demás dispositivos, en compartimento independiente y precintable. Dicha caja se podrá colocar en el mismo cuadro donde se coloquen los dispositivos generales de mando y protección.

Los dispositivos individuales de mando y protección de cada uno de los circuitos, que son el origen de la instalación interior, podrán instalarse en cuadros separados y en otros lugares. En locales de uso común o de pública concurrencia deberán tomarse las precauciones necesarias para que los dispositivos de mando y protección no sean accesibles al público en general. La altura a la cual se situarán los dispositivos generales e individuales de mando y protección de los circuitos, medida desde el nivel del suelo, estará comprendida entre 1 y 2 m.

Las envolventes de los cuadros se ajustarán a las normas UNE 20.451 y UNE-EN 60.439 -3, con un grado de protección mínimo IP 30 según UNE 20.324 e IK07 según UNE-EN 50.102. La envolvente para el interruptor de control de potencia será precintable y sus dimensiones estarán de acuerdo con el tipo de suministro y tarifa a aplicar. Sus características y tipo corresponderán a un modelo oficialmente aprobado.

El instalador fijará de forma permanente sobre el cuadro de distribución una placa,

impresa con caracteres indelebles, en la que conste su nombre o marca comercial, fecha en que se realizó la instalación, así como la intensidad asignada del interruptor general automático. Los dispositivos generales e individuales de mando y protección serán, como mínimo:

- Un interruptor general automático de corte omnipolar, de intensidad nominal mínima 25 A, que permita su accionamiento manual y que esté dotado de elementos de protección contra sobrecarga y cortocircuitos (según ITC-BT-22). Tendrá poder de corte suficiente para la intensidad de cortocircuito que pueda producirse en el punto de instalación, de 4,5 kA como mínimo. Este interruptor será independiente del interruptor de control de potencia.
- Un interruptor diferencial general, de intensidad asignada superior o igual a la del interruptor general, destinado a la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos (según ITC-BT-24)

Si por el tipo o carácter de la instalación se instalase un interruptor diferencial por cada circuito o grupo de circuitos, se podría prescindir del interruptor diferencial general, siempre que queden protegidos todos los circuitos. En el caso de que se instale más de un interruptor diferencial en serie, existirá una selectividad entre ellos.

Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra.

- Dispositivos de corte omnipolar, destinados a la protección contra sobrecargas y cortocircuitos de cada uno de los circuitos interiores (según ITC-BT-22).
- Dispositivo de protección contra sobretensiones, según ITC-BT-23, si fuese necesario.

#### 6.1.4 Instalaciones interiores de conductores

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002), los conductores y cables que se empleen en las instalaciones serán de cobre o aluminio y serán siempre aislados. La tensión asignada no será inferior a 450/750 V. La sección de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización sea menor del 3 % para alumbrado y del 5 % para los demás usos.

El valor de la caída de tensión podrá compensarse entre la de la instalación interior (3-5 %) y la de la derivación individual (1,5 %), de forma que la caída de tensión total sea inferior a la suma de los valores límites especificados para ambas (4,5-6,5 %). Para instalaciones que se alimenten directamente en alta tensión, mediante un transformador propio, se considerará que la instalación interior de baja tensión tiene su origen a la salida del transformador, siendo también en este caso las caídas de tensión máximas admisibles del 4,5 % para alumbrado y del 6,5 % para los demás usos.

En instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas debidas a cargas no lineales y posibles desequilibrios, salvo justificación por cálculo, la sección del conductor neutro será como mínimo igual a la de las fases. No se utilizará un mismo conductor neutro para varios circuitos. Las intensidades máximas admisibles, se regirán en su totalidad por lo indicado en la Norma UNE 20.460-5-523 y su anexo Nacional.

Así pues, se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la sección

mínima de los conductores de protección.

*Tabla 6-1. Sección mínima de los conductores de protección*

Sección conductores fase (mm <sup>2</sup> )	Sección conductores protección (mm <sup>2</sup> )
$S_f < 16$	$S_f$
$16 < S_f < 35$	16
$S_f > 35$	$S_f/2$

#### 6.1.5 Identificación de conductores

Los conductores de la instalación deberán ser fácilmente identificables, siendo el color azul para el neutro, y el color verde-amarillo para la tierra. Las fases serán identificadas por los colores marrón, negro o gris.

#### 6.1.6 Subdivisión de las instalaciones

Las instalaciones se subdividirán de forma que las perturbaciones originadas por averías que puedan producirse en un punto de ellas afecten solamente a ciertas partes de la instalación, por ejemplo, a un sector del edificio, a una planta, a un solo local, etc., para lo cual los dispositivos de protección de cada circuito estarán adecuadamente coordinados y serán selectivos con los dispositivos generales de protección que les precedan.

Toda instalación se dividirá en varios circuitos, según las necesidades, a fin de:

- Evitar las interrupciones innecesarias de todo el circuito y limitar las consecuencias de un fallo.
- Facilitar las verificaciones, ensayos y mantenimientos.
- Evitar los riesgos que podrían resultar del fallo de un solo circuito que pudiera dividirse, como por ejemplo si solo hay un circuito de alumbrado.

#### 6.1.7 Equilibrado de cargas

Para que se mantenga el mayor equilibrio posible en la carga de los conductores que forman parte de una instalación, se procurará que aquella quede repartida entre sus fases o conductores polares. El equilibrado de cargas consiste en distribuir de manera uniforme la demanda eléctrica entre las distintas fases de un sistema de corriente alterna trifásico. El objetivo principal es evitar sobrecargas en una fase específica y asegurar que todas las fases trabajen de manera equilibrada.

#### 6.1.8 Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica

Las instalaciones deberán presentar una resistencia de aislamiento al menos igual a los valores indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tensión nominal instalación	Tensión ensayo corriente continua (V)	Resistencia de aislamiento (M)
MBTS o MBTP	250	<0,25
<500 V	500	<0,50
> 500 V	1000	<1,00

*Tabla 6-2. Resistencia de aislamiento y rigidez dieléctrica.*

La rigidez dieléctrica será tal que, desconectados los aparatos de utilización (receptores), resista durante 1 minuto una prueba de tensión de  $2U + 1000$  V a frecuencia industrial, siendo U la tensión máxima de servicio expresada en voltios, y con un mínimo de 1.500 V.

Las corrientes de fuga no serán superiores, para el conjunto de la instalación o para cada uno de los circuitos en que ésta pueda dividirse a efectos de su protección, a la sensibilidad que presenten los interruptores diferenciales instalados como protección contra los contactos indirectos.

### 6.1.9 Conexiones

En ninguna situación está permitido la conexión de los conductores por simple retorcimiento entre ellos, sino que deben de realizarse utilizando siempre bornes de conexión. Utilizando cajas de empalme o derivación para la ubicación de estas conexiones; si se trata de conductores de varios alambres cableados, las conexiones se realizarán de forma que la corriente se reparta por todos los alambres componentes.

### 6.1.10 Sistemas de instalación: Preinscripciones generales, conductores aislados bajo tubos protectores y conductores aislados bajo canales protectoras

Varios circuitos pueden encontrarse en el mismo tubo o en el mismo compartimento de canal si todos los conductores están aislados para la tensión asignada más elevada, en caso de proximidad de canalizaciones eléctricas con otras no eléctricas, se dispondrán de forma que entre las superficies exteriores de ambas se mantenga una distancia mínima de 3 cm. En caso de proximidad con conductos de calefacción, de aire caliente, vapor o humo, las canalizaciones eléctricas se establecerán de forma que no puedan alcanzar una temperatura peligrosa y, por consiguiente, se mantendrán separadas por una distancia conveniente o por medio de pantallas calorífugas.

Las canalizaciones eléctricas no se podrán situar por debajo de otras canalizaciones que puedan dar lugar a condensaciones, tales como las destinadas a conducción de vapor, de agua, de gas, etc., a menos que se tomen las disposiciones necesarias para proteger las canalizaciones eléctricas contra los efectos de estas condensaciones. Las canalizaciones deberán estar dispuestas de forma que faciliten su maniobra, inspección y acceso a sus conexiones. Las canalizaciones eléctricas se establecerán de forma que, mediante la conveniente identificación de sus circuitos y elementos, se pueda proceder en todo momento a reparaciones, transformaciones, etc.

En toda la longitud de los pasos de canalizaciones a través de elementos de la

construcción, tales como muros, tabiques y techos, no se dispondrán empalmes o derivaciones de cables, estando protegidas contra los deterioros mecánicos, las acciones químicas y los efectos de la humedad. Las cubiertas, tapas o envolventes, mandos y pulsadores de maniobra de aparatos tales como mecanismos, interruptores, bases, reguladores, etc., instalados en los locales húmedos o mojados, serán de material aislante.

Los cables utilizados serán de tensión asignada no inferior a 450/750 V. El diámetro exterior mínimo de los tubos, en función del número y la sección de los conductores a conducir, se obtendrá la ITC-BT-21, así como las características mínimas según el tipo de instalación.

Para la ejecución de las canalizaciones bajo tubos protectores, se tendrán en cuenta las prescripciones generales siguientes que nos indica la normativa vigente:

- El trazado de las canalizaciones se hará siguiendo líneas verticales y horizontales o paralelas a las aristas de las paredes que limitan el local donde se efectúa la instalación.
- Los tubos se unirán entre sí mediante accesorios adecuados a su clase que aseguren la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores.
- Los tubos aislantes rígidos curvables en caliente podrán ser ensamblados entre sí en caliente, recubriendo el empalme con una cola especial cuando se precise una unión estanca.
- Las curvas practicadas en los tubos serán continuas y no originarán reducciones de sección inadmisibles. Los radios mínimos de curvatura para cada clase de tubo serán los especificados por el fabricante conforme a UNE-EN
- Será posible la fácil introducción y retirada de los conductores en los tubos después de colocarlos y fijados éstos y sus accesorios, disponiendo para ello los registros que se consideren convenientes, que en tramos rectos no estarán separados entre sí más de 15 metros. El número de curvas en ángulo situadas entre dos registros consecutivos no será superior a 3. Los conductores se alojarán normalmente en los tubos después de colocados éstos.
- Los registros podrán estar destinados únicamente a facilitar la introducción y retirada de los conductores en los tubos o servir al mismo tiempo como cajas de empalme o derivación.
- Las conexiones entre conductores se realizarán en el interior de cajas apropiadas de material aislante y no propagador de la llama. Si son metálicas estarán protegidas contra la corrosión. Las dimensiones de estas cajas serán tales que permitan alojar holgadamente todos los conductores que deban contener. Su profundidad será al menos igual al diámetro del tubo mayor más un 50 % del mismo, con un mínimo de 40 mm. Su diámetro o lado interior mínimo será de 60 mm. Cuando se quieran hacer estancas las entradas de los tubos en las cajas de conexión, deberán emplearse prensaestopas o racores adecuados.

Cuando los tubos se instalen en montaje superficial, se tendrán en cuenta, además, las siguientes prescripciones:

- Los tubos se fijarán a las paredes o techos por medio de bridas o abrazaderas protegidas contra la corrosión y sólidamente sujetas. La distancia entre éstas será, como máximo, de 0,50 metros. Se dispondrán fijaciones de una y otra parte en los cambios de dirección, en los empalmes y en la proximidad inmediata de las entradas en cajas o aparatos.

- Los tubos se colocarán adaptándose a la superficie sobre la que se instalan, curvándose o usando los accesorios necesarios.
- En alineaciones rectas, las desviaciones del eje del tubo respecto a la línea que une los puntos extremos no serán superiores al 2 por 100.
- Es conveniente disponer los tubos, siempre que sea posible, a una altura mínima de 2,50 metros sobre el suelo, con objeto de protegerlos de eventuales daños mecánicos.

Cuando los tubos se coloquen empotrados, se tendrán en cuenta, además, las siguientes prescripciones:

- En la instalación de los tubos en el interior de los elementos de la construcción, las rozas no pondrán en peligro la seguridad de las paredes o techos en que se practiquen. Las dimensiones de las rozas serán suficientes para que los tubos queden recubiertos por una capa de 1 centímetro de espesor, como mínimo. En los ángulos, el espesor de esta capa puede reducirse a 0,5 centímetros.
- No se instalarán entre forjado y revestimiento tubos destinados a la instalación eléctrica de las plantas inferiores.
- Para la instalación correspondiente a la propia planta, únicamente podrán instalarse, entre forjado y revestimiento, tubos que deberán quedar recubiertos por una capa de hormigón o mortero de 1 centímetro de espesor, como mínimo, además del revestimiento.
- En los cambios de dirección, los tubos estarán convenientemente curvados o bien provistos de codos o "T" apropiados, pero en este último caso sólo se admitirán los provistos de tapas de registro.
- Las tapas de los registros y de las cajas de conexión quedarán accesibles y desmontables una vez finalizada la obra. Los registros y cajas quedarán enrasados con la superficie exterior del revestimiento de la pared o techo cuando no se instalen en el interior de un alojamiento cerrado y practicable.
- En el caso de utilizarse tubos empotrados en paredes, es conveniente disponer los recorridos horizontales a 50 centímetros como máximo, de suelo o techos y los verticales a una distancia de los ángulos de esquinas no superior a 20 centímetros.

La canal protectora es un material de instalación constituido por un perfil de paredes perforadas o no, destinado a alojar conductores o cables y cerrado por una tapa desmontable. Los cables utilizados serán de tensión asignada no inferior a 450/750 V. Las canales protectoras tendrán un grado de protección IP4X y estarán clasificadas como "canales con tapa de acceso que sólo pueden abrirse con herramientas". En su interior se podrán colocar mecanismos tales como interruptores, tomas de corriente, dispositivos de mando y control, etc., siempre que se fijen de acuerdo con las instrucciones del fabricante. También se podrán realizar empalmes de conductores en su interior y conexiones a los mecanismos.

Las canales protectoras para aplicaciones no ordinarias deberán tener unas características mínimas de resistencia al impacto, de temperatura mínima y máxima de instalación y servicio, de resistencia a la penetración de objetos sólidos y de resistencia a la penetración de agua, adecuadas a las condiciones del emplazamiento al que se destina; asimismo las canales serán no propagadoras de la llama. Dichas características serán conformes

a las normas de la serie UNE-EN 50.085. El trazado de las canalizaciones se hará siguiendo preferentemente líneas verticales y horizontales o paralelas a las aristas de las paredes que limitan al local donde se efectúa la instalación.

Las canales con conductividad eléctrica deben conectarse a la red de tierra, su continuidad eléctrica quedará convenientemente asegurada. La tapa de las canales quedará siempre accesible.

#### **6.1.11 Protección contra sobreintensidades**

Todo circuito estará protegido contra los efectos de las sobreintensidades que puedan presentarse en el mismo, para lo cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará dimensionado para las sobreintensidades previsibles. Las sobreintensidades pueden estar motivadas por:

- Sobrecargas debidas a los aparatos de utilización o defectos de aislamiento de gran impedancia.
- Cortocircuitos.
- Descargas eléctricas atmosféricas.

En cuanto a la protección contra sobrecargas, el límite de intensidad de corriente admisible en un conductor ha de quedar en todo caso garantizada por el dispositivo de protección utilizado. El dispositivo de protección podrá estar constituido por un interruptor automático de corte omnipolar con curva térmica de corte, o por cortacircuitos fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas.

Si se habla de protección contra cortocircuitos, en el origen de todo circuito se establecerá un dispositivo de protección contra cortocircuitos cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su conexión. Se admite, no obstante, que cuando se trate de circuitos derivados de uno principal, cada uno de estos circuitos derivados disponga de protección contra sobrecargas, mientras que un solo dispositivo general pueda asegurar la protección contra cortocircuitos para todos los circuitos derivados. Se admiten como dispositivos de protección contra cortocircuitos los fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas y los interruptores automáticos con sistema de corte omnipolar.

La norma UNE 20.460 -4-43 recoge todos los aspectos requeridos para los dispositivos de protección. La norma UNE 20.460 -4-473 define la aplicación de las medidas de protección expuestas en la norma UNE 20.460 -4-43 según sea por causa de sobrecargas o cortocircuito, señalando en cada caso su emplazamiento u omisión.

#### **6.1.12 Protección y categorías contra las sobreintensidades**

Las categorías indican los valores de tensión soportada a la onda de choque de sobretensión que deben de tener los equipos, determinando, a su vez, el valor límite máximo de tensión residual que deben permitir los diferentes dispositivos de protección de cada zona para evitar el posible daño de dichos equipos. Se distinguen 4 categorías diferentes, indicando en cada caso el nivel de tensión soportada a impulsos, en kV, según la tensión nominal de la

instalación.

Las categorías de protección se establecen para asegurar que los equipos eléctricos puedan resistir tensiones de sobretensión transitorias sin sufrir daños. Estas tensiones pueden ser causadas por eventos como rayos, fallos de red o conmutaciones eléctricas. Cada categoría define el nivel de resistencia a los impulsos de tensión que los dispositivos deben tener, según la tensión nominal de la instalación.

La categoría I se aplica a los equipos muy sensibles a las sobretensiones y que están destinados a ser conectados a la instalación eléctrica fija (ordenadores, equipos electrónicos muy sensibles, etc.). En este caso, las medidas de protección se toman fuera de los equipos a proteger, ya sea en la instalación fija o entre la instalación fija y los equipos, con objeto de limitar las sobretensiones a un nivel específico.

La categoría II se aplica a los equipos destinados a conectarse a una instalación eléctrica fija (electrodomésticos, herramientas portátiles y otros equipos similares).

La categoría III se aplica a los equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica fija y a otros equipos para los cuales se requiere un alto nivel de fiabilidad (armarios de distribución, embarrados, aparatos: interruptores, seccionadores, tomas de corriente, etc., canalizaciones y sus accesorios: cables, caja de derivación, etc., motores con conexión eléctrica fija: ascensores, máquinas industriales, etc.

La categoría IV se aplica a los equipos y materiales que se conectan en el origen o muy próximos al origen de la instalación, aguas arriba del cuadro de distribución (contadores de energía, aparatos de telemedida, equipos principales de protección contra sobreintensidades, etc.).

La correcta clasificación y aplicación de estas categorías aseguran que los equipos eléctricos y electrónicos operen de manera segura y eficiente, minimizando el riesgo de daños por sobretensiones. Los dispositivos de protección, como los supresores de sobretensión, deben estar diseñados para limitar la tensión residual a un nivel que los equipos de la zona protegida puedan soportar sin sufrir daños.

### **6.1.13 Medidas para el control de las sobretensiones**

Las sobretensiones en un sistema eléctrico pueden causar daños graves a los equipos y comprometer la seguridad y estabilidad de la instalación. Para proteger los sistemas eléctricos de estos picos de tensión, es fundamental implementar medidas adecuadas de control de sobretensiones. Se pueden presentar dos situaciones diferentes:

- Situación natural: cuando no es preciso la protección contra las sobretensiones transitorias, pues se prevé un bajo riesgo de sobretensiones en la instalación (debido a que está alimentada por una red subterránea en su totalidad). En este caso se considera suficiente la resistencia a las sobretensiones de los equipos indicada en la tabla de categorías, y no se requiere ninguna protección suplementaria contra las sobretensiones transitorias.
- Situación controlada: cuando es preciso la protección contra las sobretensiones transitorias en el origen de la instalación, pues la instalación se alimenta por, o incluye, una línea aérea con conductores desnudos o aislados.

También se considera situación controlada aquella situación natural en que es conveniente incluir dispositivos de protección para una mayor seguridad (continuidad de servicio, valor económico de los equipos, pérdidas irreparables, etc.).

Los dispositivos de protección contra sobretensiones de origen atmosférico deben seleccionarse de forma que su nivel de protección sea inferior a la tensión soportada a impulso de la categoría de los equipos y materiales que se prevé que se vayan a instalar. Los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores, incluyendo el neutro o compensador y la tierra de la instalación.

#### **6.1.14 Selección de los materiales en la instalación**

Los equipos y materiales deben escogerse de manera que su tensión soportada a impulsos no sea inferior a la tensión soportada según su categoría. Los equipos y materiales que tengan una tensión soportada a impulsos inferior a la indicada se pueden utilizar en situaciones naturales cuando el riesgo sea aceptable o en situación controlada si la protección contra las sobretensiones es adecuada.

#### **6.1.15 Protección contra contactos directos e indirectos**

Las partes activas deberán estar recubiertas de un aislamiento que no pueda ser eliminado más que destruyéndolo. Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial-residual. Esta medida de protección está destinada solamente a complementar otras medidas de protección contra los contactos directos. El empleo de dispositivos de corriente diferencial-residual, cuyo valor de corriente diferencial asignada de funcionamiento sea inferior o igual a 30 mA, se reconoce como medida de protección complementaria en caso de fallo de otra medida de protección contra los contactos directos o en caso de imprudencia de los usuarios.

La protección contra contactos indirectos se conseguirá mediante "corte automático de la alimentación". Esta medida consiste en impedir, después de la aparición de un fallo, que una tensión de contacto de valor suficiente se mantenga durante un tiempo tal que pueda dar como resultado un riesgo. La tensión límite convencional es igual a 50 V, valor eficaz en corriente alterna, en condiciones normales y a 24 V en locales húmedos. Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra. El punto neutro de cada generador o transformador debe ponerse a tierra.

#### **6.1.16 Importancia de la instalación de puestas a tierra**

Las puestas a tierra se establecen principalmente con objeto de limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

La puesta o conexión a tierra es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección

alguna, de una parte, del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo, mediante una toma de tierra con un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo.

Mediante la instalación de puesta a tierra lo que se pretende es conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico. Así pues, la elección e instalación de los materiales que aseguren la puesta a tierra deben ser tales que el valor de la resistencia de puesta a tierra esté conforme con las normas de protección y de funcionamiento de la instalación y se mantenga de esta manera a lo largo del tiempo; las corrientes de defecto a tierra y las corrientes de fuga puedan circular sin peligro, particularmente desde el punto de vista de sollicitaciones térmicas, mecánicas y eléctricas; que la solidez o la protección mecánica quede asegurada con independencia de las condiciones estimadas de influencias externas, y que se contemplen los posibles riesgos debidos a electrólisis que pudieran afectar a otras partes metálicas.

Para la toma de tierra, se pueden utilizar diferentes tipos de electrodos, los cuales pueden estar formados por los siguientes elementos:

- Barras o tubos: Comúnmente utilizados debido a su facilidad de instalación y eficiencia en la dispersión de la corriente eléctrica.
- Pletinas y conductores desnudos: Son láminas de metal planas o cables sin aislamiento que se colocan directamente en contacto con el suelo.
- Placas: Superficies metálicas planas que se entierran para aumentar el área de contacto con el suelo y mejorar la efectividad de la toma de tierra.
- Anillos o mallas metálicas: Consisten en redes de conductores metálicos interconectados, formando estructuras circulares o de malla que se entierran para mejorar la distribución de la corriente.
- Armaduras de hormigón enterradas: Exceptuando las armaduras pretensadas, se pueden utilizar estructuras de hormigón reforzadas con metal que estén enterradas.
- Otras estructuras enterradas: Cualquier otra estructura que se demuestre que es apropiada para la toma de tierra.

Los conductores de cobre que se utilicen como electrodos deben cumplir con las especificaciones de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma UNE 21.022, garantizando que sean adecuados para su función y tengan la durabilidad necesaria para soportar las condiciones del entorno. El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra son factores cruciales para su efectividad. La instalación debe asegurar que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia de hielo u otros efectos climáticos no aumenten la resistencia de la toma de tierra más allá del valor previsto. Para garantizar una instalación adecuada, la profundidad mínima de enterramiento nunca debe ser inferior a 0,50 metros.

La sección de los conductores de tierra, cuando estén enterrados, deberá estar de acuerdo con los valores indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Además, la sección no debe ser inferior a la mínima exigida para los conductores de protección, asegurando así que los conductores tengan la capacidad suficiente para conducir la corriente eléctrica de manera segura y eficiente.

Tabla 6-3. Sección de los conductores de puesta a tierra

Tipo	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión Galvanizada	Igual a conductores protección apdo. 7.7.1	16 mm Cu 1 mm Acero
No protegido contra la corrosión	25 mm Cu 50 mm Hierro	25 mm Cu 50 mm Hierro

Nota: La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente.

Durante la ejecución de las uniones entre conductores de tierra y electrodos de tierra, debe extremarse el cuidado para que resulten eléctricamente correctas. Es fundamental asegurarse de que las conexiones no dañen ni a los conductores ni a los electrodos de tierra.

En toda instalación de puesta a tierra, debe preverse un borne principal de tierra al cual deben unirse los conductores de tierra, los conductores de protección, los conductores de unión equipotencial principal y los conductores de puesta a tierra funcional, si son necesarios. Además, debe instalarse un dispositivo sobre los conductores de tierra, en un lugar accesible, que permita medir la resistencia de la toma de tierra correspondiente. Este dispositivo puede estar combinado con el borne principal de tierra, debe ser desmontable necesariamente mediante el uso de una herramienta, tiene que ser mecánicamente seguro y debe asegurar la continuidad eléctrica.

Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación con el borne de tierra, con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos. Los conductores de protección deben tener una sección mínima conforme a lo fijado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 6-4. Sección mínima de los conductores de protección.

Sección conductores fase (mm <sup>2</sup> )	Sección conductores protección (mm <sup>2</sup> )
Sf < 16	Sf
16 < S f < 35	16
Sf > 35	Sf/2

En todos los casos, los conductores de protección que no forman parte de la canalización de alimentación serán de cobre con una sección, al menos de 2,5 mm<sup>2</sup> en el caso de que los conductores de protección dispongan de una protección mecánica y de 4 mm<sup>2</sup> si no disponen de una protección mecánica. Como conductores de protección pueden utilizarse conductores en los cables multiconductores, conductores aislados o desnudos que posean una envolvente común con los conductores activos o conductores separados desnudos o aislados.

Ningún aparato deberá ser intercalado en el conductor de protección. Las masas de los equipos a unir con los conductores de protección no deben ser conectadas en serie en un circuito de protección.

### 6.1.17 Conductores de equipotencialidad

El conductor principal de equipotencialidad debe tener una sección no inferior a la mitad

de la del conductor de protección de sección mayor de la instalación, con un mínimo de 6 mm<sup>2</sup>. Sin embargo, su sección puede ser reducida a 2,5 mm<sup>2</sup> si es de cobre. La unión de equipotencialidad suplementaria puede estar asegurada, bien por elementos conductores no desmontables, tales como estructuras metálicas no desmontables, bien por conductores suplementarios, o por combinación de los dos.

#### **6.1.18 Resistencia de las tomas de tierra**

El valor de resistencia de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor
- 50 V en los demás casos.

Si las condiciones de la instalación son tales que pueden dar lugar a tensiones de contacto superiores a los valores señalados anteriormente, se asegurará la rápida eliminación de la falta mediante dispositivos de corte adecuados a la corriente de servicio. La resistencia de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

#### **6.1.19 Tomas de tierra independientes**

Se considerará independiente una toma de tierra respecto a otra, cuando una de las tomas de tierra, no alcance, respecto a un punto de potencial cero, una tensión superior a 50 V cuando por la otra circula la máxima corriente de defecto a tierra prevista.

#### **6.1.20 Separación entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y de las masas de un centro de transformación**

Se verificará que las masas puestas a tierra en una instalación de utilización, así como los conductores de protección asociados a estas masas o a los relés de protección de masa, no están unidas a la toma de tierra de las masas de un centro de transformación, para evitar que, durante la evacuación de un defecto a tierra en el centro de transformación, las masas de la instalación de utilización puedan quedar sometidas a tensiones de contacto peligrosas. Si no se hace el control de independencia indicando anteriormente (50 V), entre la puesta a tierra de las masas de las instalaciones de utilización respecto a la puesta a tierra de protección o masas del centro de transformación, se considerará que las tomas de tierra son eléctricamente independientes cuando se cumplan todas y cada una de las condiciones siguientes:

- a) No exista canalización metálica conductora (cubierta metálica de cable no aislada especialmente, canalización de agua, gas, etc.) que una la zona de tierras del centro de transformación con la zona en donde se encuentran los aparatos de utilización.
- b) La distancia entre las tomas de tierra del centro de transformación y las tomas de tierra u otros elementos conductores enterrados en los locales de utilización es al menos igual a 15

metros para terrenos cuya resistividad no sea elevada (<100 ohmios·metro). Cuando el terreno sea muy mal conductor, la distancia deberá ser calculada.

- c) El centro de transformación está en un recinto aislado de los locales de utilización o bien, si esta contiguo a los locales de utilización o en su interior, está establecido de tal manera que sus elementos metálicos no están unidos eléctricamente a los constructivos de los locales de utilización.

Sólo se podrán unir la puesta a tierra de la instalación de utilización (edificio) y la puesta a tierra de protección (masas) del centro de transformación, si el valor de la resistencia de puesta a tierra única es lo suficientemente baja para que se cumpla que en el caso de evacuar el máximo valor previsto de la corriente de defecto a tierra ( $I_d$ ) en el centro de transformación, el valor de la tensión de defecto ( $V_d = I_d \times R_t$ ) sea menor que la tensión de contacto máxima aplicada.

#### 6.1.21 Revisión de las tomas de tierra

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad cualquier instalación de toma de tierra, deberá ser obligatoriamente comprobada por el director de la Obra o Instalador Autorizado en el momento de dar de alta la instalación para su puesta en marcha o en funcionamiento. Personal técnicamente competente efectuará la comprobación de la instalación de puesta a tierra, al menos anualmente, en la época en la que el terreno esté más seco. Para ello, se medirá la resistencia de tierra, y se repararán con carácter urgente los defectos que se encuentren. En los lugares en que el terreno no sea favorable a la buena conservación de los electrodos, éstos y los conductores de enlace entre ellos hasta el punto de puesta a tierra, se pondrán al descubierto para su examen, al menos una vez cada cinco años.

#### 6.1.22 Receptores de alumbrado

Las luminarias serán conformes a los requisitos establecidos en las normas de la serie UNE-EN 60598. La masa de las luminarias suspendidas excepcionalmente de cables flexibles no debe exceder de 5 kg. Los conductores, que deben ser capaces de soportar este peso, no deben presentar empalmes intermedios y el esfuerzo deberá realizarse sobre un elemento distinto del borne de conexión. Las partes metálicas accesibles de las luminarias que no sean de Clase II o Clase III, deberán tener un elemento de conexión para su puesta a tierra, que irá conectado de manera fiable y permanente al conductor de protección del circuito.

El uso de lámparas de gases con descargas a alta tensión (neón, etc.), se permitirá cuando su ubicación esté fuera del volumen de accesibilidad o cuando se instalen barreras o envolventes separadoras. En instalaciones de iluminación con lámparas de descarga realizadas en locales en los que funcionen máquinas con movimiento alternativo o rotatorio rápido, se deberán tomar las medidas necesarias para evitar la posibilidad de accidentes causados por ilusión óptica originada por el efecto estroboscópico. Los circuitos de alimentación estarán previstos para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados y a sus corrientes armónicas y de arranque. Para receptores con lámparas de descarga, la carga mínima prevista en voltiamperios será de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas. En el caso de distribuciones monofásicas, el conductor neutro tendrá la misma sección que los de fase. Será aceptable un coeficiente diferente para el cálculo de la sección de los conductores,

siempre y cuando el factor de potencia de cada receptor sea mayor o igual a 0,9 y si se conoce la carga que supone cada uno de los elementos asociados a las lámparas y las corrientes de arranque, que tanto éstas como aquéllos puedan producir. En este caso, el coeficiente será el que resulte.

En el caso de receptores con lámparas de descarga será obligatoria la compensación del factor de potencia hasta un valor mínimo de 0,9. En instalaciones con lámparas de muy baja tensión (por ejemplo 12 V) debe preverse la utilización de transformadores adecuados, para asegurar una adecuada protección térmica, contra cortocircuitos y sobrecargas y contra los choques eléctricos. Para los rótulos luminosos y para instalaciones que los alimentan con tensiones asignadas de salida en vacío comprendidas entre 1 y 10 kV se aplicará lo dispuesto en la norma UNE-EN 50.107.

### **6.1.23 Instalación de receptores a motor**

Los motores deben instalarse de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente. Los motores no deben estar en contacto con materias fácilmente combustibles y se situarán de manera que no puedan provocar la ignición de estas. Los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deben estar dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor. Los conductores de conexión que alimentan a varios motores deben estar dimensionados para una intensidad no inferior a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás.

Los motores deben estar protegidos contra cortocircuitos y contra sobrecargas en todas sus fases, debiendo esta última protección ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la falta de tensión en una de sus fases. En el caso de motores con arrancador estrella-triángulo, se asegurará la protección, tanto para la conexión en estrella como en triángulo. Los motores deben estar protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el arranque espontáneo del motor, como consecuencia del restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes, o perjudicar el motor, de acuerdo con la norma UNE 20.460 -4-45.

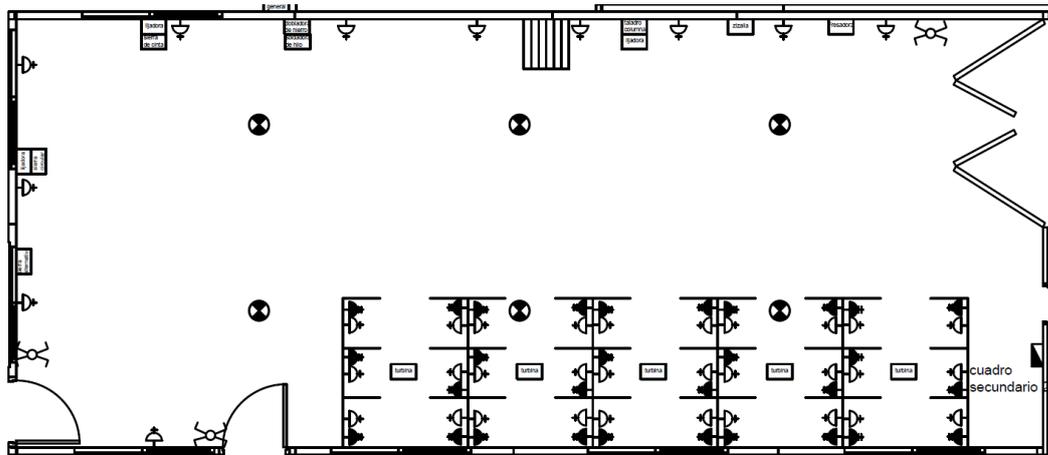
Los motores deben tener limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando se pudieran producir efectos que perjudicasen a la instalación u ocasionasen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otros receptores o instalaciones. En general, los motores de potencia superior a 0,75 kilovatios deben estar provistos de reóstatos de arranque o dispositivos equivalentes que no permitan que la relación de corriente entre el período de arranque y el de marcha normal que corresponda a su plena carga, según las características del motor que debe indicar su placa.

### **6.1.24 Descripción de las instalaciones en la nave: De soldadura, instalaciones eléctricas, entradas a la nave**

A continuación, se describe los componentes y distribución de la instalación eléctrica de la nave del polígono industrial. La nave de soldadura dispondrá de 1 puerta (P1), 2 puertas (P2), 1 puerta (P5) 7 ventanas (V3), 5 cabinas de trabajo con cada cabina 6 puestos de trabajo (en total 30

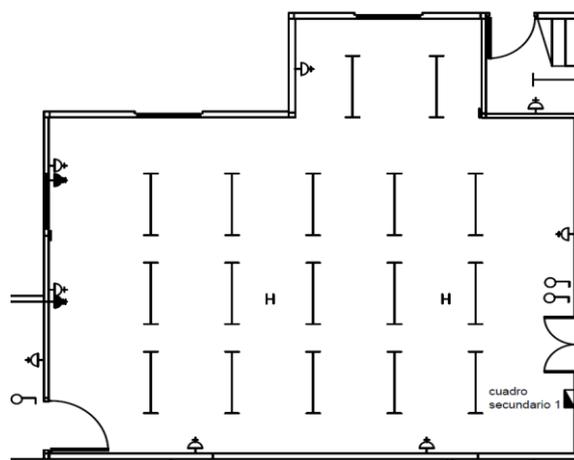
puestos de trabajo), unas escaleras para acceder al almacén que está situado en la planta de arriba (almacén 2). La instalación eléctrica consistirá en 11 máquinas de trabajo (soldadoras, taladros de columna, etc...) 1 turbina general, 1 turbina para cada cabina, 42 enchufes monofásicos 16A 2p/TT, 30 enchufes trifásicos 16<sup>a</sup> 3p/TT, 11 enchufes trifásicos 32A 3p/TT (los cuales se utilizarán para conectar las máquinas de trabajo), 6 lámparas de vapor de mercurio, 3 llaves de cruce, 1 cuadro de distribución (en el cual se albergará los elementos de mando y protección de la instalación).

Las luces de emergencias consistirán en 5 luces de emergencia de 300lx cada una para la salida de evacuación, 1 luz de emergencia de 300lx para la iluminación del cuadro de mando y protección, también se dispone de 1 extintor **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



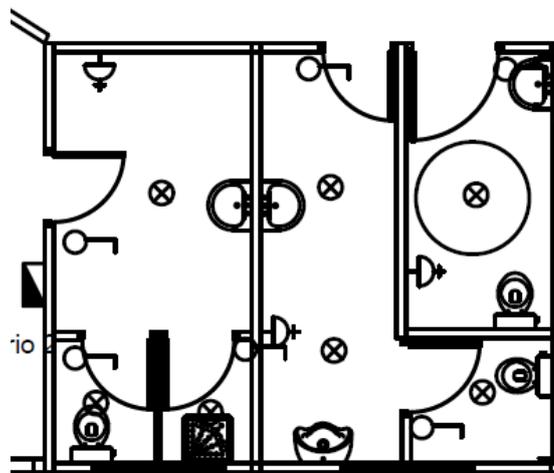
*Figura 20. Plano de la planta de abajo de la nave.*

La nave de electricidad dispondrá de 1 puerta (P3), 1 puerta (P2), 3 ventanas (V2). La instalación eléctrica consistirá en 6 enchufes monofásicos 16A 2p/TT, 2 enchufes trifásicos 16A 3p/TT, 2 interruptores, 17 pantallas de tubos fluorescentes, 1 cuadro de distribución (en el cual se albergará los elementos de mando y protección de la instalación). Las luces de emergencias consistirán en 5 luces de emergencia de 150lx cada una para la salida de evacuación, 1 luz de emergencia de 150lx para la iluminación del cuadro de mando y protección, también se dispone de 1 extintor **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



*Figura 21. Plano de la planta de abajo de la nave.*

El cuarto de baño 1 tendrá el acceso solo desde la nave de soldadura, dispondrá de 3 puertas (P5), 1 ventana (V1). La instalación eléctrica dispondrá de 1 enchufe monofásico 16A 2p/TT, 3 interruptores, 3 puntos de luz. Las luces de emergencias consistirán en 1 luz de emergencia de 40lx cada una para la salida de evacuación. El cuarto de baño 2 dispondrá de 2 puertas (P5), 1 ventana (V1). La instalación eléctrica consistirá en 1 enchufe monofásico 16A 2p/TT, 2 interruptores, 3 puntos de luz. Las luces de emergencias consistirán en 1 luz de emergencia de 40lx cada una para la salida de evacuación. El cuarto de baño 3 dispondrá de 1 puertas (P4), 1 ventana (V1). La instalación eléctrica consistirá en 1 enchufe monofásico 16A 2p/TT, 1 interruptores, 1 puntos de luz. Las luces de emergencias consistirán en 1 luz de emergencia de 40lx cada una para la salida de evacuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



*Figura 22. Plano de la planta de abajo de la nave.*

La entrada dispondrá de 1 puerta (P1), 1 puerta (P3), 1 puerta (P4), 1 puerta (P5). Las cuales son puertas de acceso a la nave de soldadura (P1), al pasillo de abajo (P3), al cuarto de baño 3 (P4) y al cuarto de baño 2 (P5). La instalación eléctrica consistirá en 1 enchufe monofásico 16A 2p/TT, 1 interruptor, 2 puntos de luz para lámparas de vapor de mercurio. El almacén 1 solo tendrá acceso desde la nave de electricidad y dispondrá de 1 puerta (P2), 2 ventanas (V2). La instalación eléctrica consistirá en 1 enchufe monofásico 16A 2p/TT, 1 interruptor y 2 pantallas de tubos fluorescentes. Las luces de emergencias consistirán en 1 luz de emergencia de 150lx cada una para la salida de evacuación.

El almacén 2 solo tendrá acceso desde la nave de soldadura a través de unas escaleras colocadas en dicha nave, dispondrá de 1 puerta (P5), 2 ventanas (V2). La instalación eléctrica consistirá en 2 enchufes monofásicos 16A 2p/TT, 1 interruptor y 2 pantallas de tubos fluorescentes. Las luces de emergencias consistirán en 1 luz de emergencia de 40lx cada una para la salida de evacuación. El aula 1 dispondrá de 1 puerta (P5), 3 ventanas (V3). La instalación eléctrica consistirá en 4 enchufes monofásicos 16A 2p/TT, 2 interruptor y 9 pantallas de tubos fluorescentes. Las luces de emergencias consistirán en 3 luces de emergencia de 150lx cada una para la salida de evacuación tal y como se aprecia en la Figura 23.

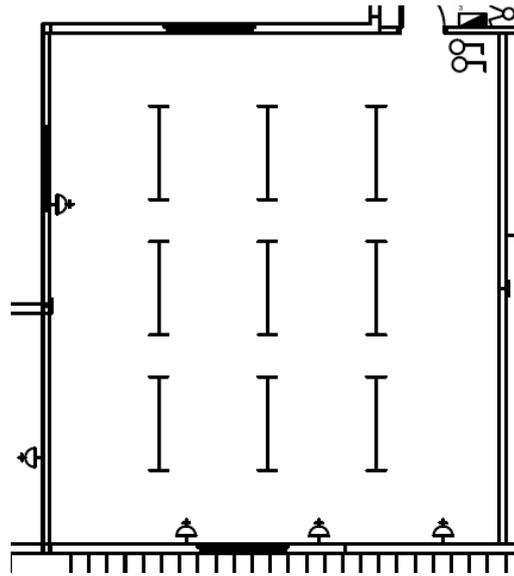


Figura 23. Plano de la planta de arriba de la nave.

El aula 2 dispondrá de 1 puerta (P5), 3 ventanas (V3). La instalación eléctrica consistirá en 4 enchufes monofásicos 16A 2p/TT, 2 interruptor y 9 pantallas de tubos fluorescentes. Las luces de emergencias consistirán en 3 luces de emergencia de 150lx cada una para la salida de evacuación tal y como se aprecia en la Figura 24.

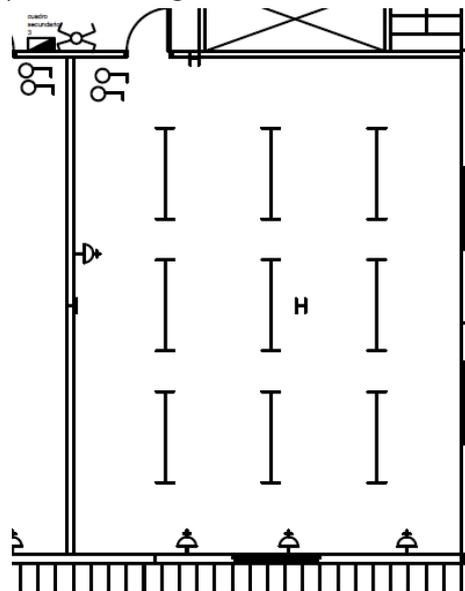


Figura 24. Plano de la planta de arriba de la nave.

El pasillo de la planta de abajo dispondrá de 1 puerta (P2) la cual servirá para acceder a un lateral de la nave, 2 puerta (P3) la cual servirá una para poder acceder a dicho pasillo, y la otra puerta para poder acceder a la nave de electricidad, una escalera para poder acceder a la planta de arriba. La instalación eléctrica consistirá en 3 enchufes monofásicos 16A 2p/TT, 2 llaves de cruce, 3 pantallas de tubos fluorescentes, 1 cuadro principal en el cual se albergará los elementos de mando y protección de la instalación. Las luces de emergencias consistirán en 2 luces de emergencia de 150lx cada una para la salida de evacuación, 1 luz de emergencia de 150 lx para la iluminación del cuadro de mando y protección de la instalación. El pasillo de la planta

de arriba dispondrá de 2 puertas (P5) las cuales servirán para poder acceder a las aulas, 2 ventanas (V2), una escalera la cual viene de la planta de abajo. La instalación eléctrica consistirá en 1 llaves de cruce, 3 pantallas de tubos fluorescentes, 1 cuadro principal en el cual se albergará los elementos de mando y protección de la instalación.

Las luces de emergencias consistirán en 1 luces de emergencia de 150lx cada una para la salida de evacuación, 1 luz de emergencia de 150 lx para la iluminación del cuadro de mando y protección de la instalación, y de un extintor.

### 6.1.25 Especificaciones de los materiales y de la ejecución

Todos los materiales empleados deben cumplir con los estándares aceptados por la Compañía Suministradora de Electricidad. Además, el aislamiento de los materiales de la instalación debe estar dimensionado como mínimo para la tensión más alta de la red garantizando un aislamiento completo.

Asimismo, en la ejecución del diseño de las líneas de baja tensión, es imprescindible considerar las disposiciones legales y las normas específicas aplicables a la instalación.

## 6.2 Estado de las mediciones

Se detalla aquí la forma en la que se va a calcular las mediciones necesarias para las instalaciones eléctricas.

Para determinar la sección adecuada de los conductores en el proyecto es necesario realizar varios cálculos: el cálculo de la potencia eléctrica, el cálculo de la intensidad de corriente y el cálculo de la caída de tensión.

El cálculo de la potencia en una nave de un polígono industrial se utiliza para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para operar todos los equipos y sistemas eléctricos dentro de la nave. Esta potencia se mide en kilovatios (kW) y es esencial para diseñar y dimensionar adecuadamente la instalación eléctrica, asegurar el funcionamiento seguro y eficiente de los equipos, y planificar el consumo energético.

Esta potencia compleja  $S$  será

$$S = I^* \cdot V$$

Donde  $I$  es la intensidad de corriente en amperios (A) y  $V$  es la tensión en voltios (V).

Siendo la potencia real  $P = I \cdot V \cdot \cos \phi$  en vatios (W)

Y la potencia reactiva  $Q = I \cdot V \cdot \sin \phi$  en voltiamperios reactivos (VAR)

Siendo el  $\cos \phi$  el factor de potencia (FP) que será quien nos mida el rendimiento eléctrico al relacionar la potencia real o activa ( $P$ ) con la potencia aparente ( $|S| = P_p$ ).

Al planificar una nueva nave industrial, es fundamental calcular la potencia requerida para asegurar que la instalación eléctrica sea capaz de soportar la carga de todos los equipos y maquinaria que se instalarán. Esto incluye maquinaria de producción, sistemas de iluminación, calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), equipos de oficina, entre otros. Por otro lado, conocer la potencia total requerida ayuda a garantizar que los componentes de la instalación (cables, interruptores, tableros de distribución, etc.) se seleccionen adecuadamente para evitar sobrecargas y reducir el riesgo de incendios o fallos eléctricos.

Un cálculo preciso de la potencia permite optimizar el consumo energético, lo que puede resultar en ahorro de costos y una operación más sostenible desde el punto de vista medioambiental. Al planificar la capacidad de suministro, es esencial coordinar con la compañía suministradora de energía eléctrica para asegurar que la red de distribución local pueda proporcionar la energía necesaria sin dificultades.

Teniendo en cuenta que una instalación adecuada protege tanto a las personas como a los equipos en la nave industrial, se habrán de dimensionar adecuadamente los cables, seleccionar los dispositivos de protección y asegurar la eficiencia y seguridad de la instalación eléctrica. Para ello es fundamental calcular la intensidad de la corriente eléctrica que fluye a través de los circuitos de nuestra nave en el polígono industrial y asegurarnos de que los cables utilizados en la instalación sean capaces de soportar la corriente prevista sin sobrecalentarse. Si la intensidad calculada es muy alta, será necesario utilizar cables de mayor sección. Calcular correctamente la intensidad eléctrica es vital para prevenir sobrecargas y cortocircuitos, que podrían provocar incendios o daños en los equipos.

Además, la elección de los dispositivos de protección, como interruptores automáticos y fusibles, debe basarse en la corriente que circula por el circuito. Si seleccionamos dispositivos con una capacidad de corriente insuficiente, podrían dispararse o fundirse innecesariamente. Por otro lado, una sobrecapacidad podría no brindar una protección adecuada al circuito.

El factor de potencia (FP) es crucial para calcular la intensidad con precisión. Un bajo factor de potencia implica un mayor consumo de corriente para la misma cantidad de potencia activa, lo que puede aumentar las pérdidas en el sistema y elevar los costos de energía. Mejorar el factor de potencia puede reducir la intensidad necesaria, optimizando el uso de energía.

$$P_p = 3 \cdot R_L \cdot L \cdot I^2$$

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi)$$

Siendo:

P: Potencia a transportar en KW.

I: Intensidad de la línea en Amperios.

V: Tensión de la línea en KV.

L: Longitud de la línea en km

R<sub>L</sub>: Resistencia del conductor en (Ω/km)

$$P_p = (R_L \cdot L \cdot P^2) / (V^2 \cdot \cos^2\phi)$$

$$P_p\% = R_L / (10 \cdot V^2 \cdot \cos^2\phi)$$

En el contexto de una nave industrial en un polígono, es crucial calcular con precisión la caída de tensión. Esta caída se refiere a la disminución del voltaje en nuestro circuito eléctrico debido a la resistencia del conductor por el cual fluye la corriente. Dado que las distancias entre los puntos de suministro de energía y los equipos pueden ser significativas, este cálculo se convierte en una consideración crítica en la planificación y diseño de sistemas eléctricos, especialmente en entornos industriales.

Los equipos eléctricos están diseñados para funcionar dentro de un rango específico de voltajes.

Una caída de tensión excesiva puede afectar su eficiencia o incluso dañarlos. Por lo tanto, debemos asegurarnos de que los cables utilizados en la instalación sean capaces de soportar la corriente prevista sin sobrecalentarse. Si la intensidad calculada es muy alta, será necesario utilizar cables de mayor sección.

Además, las normativas eléctricas y regulaciones locales suelen especificar límites máximos para la caída de tensión en instalaciones eléctricas. Esto garantiza un funcionamiento seguro y eficiente en nuestra red.

Para calcular la caída de tensión (e) en nuestra instalación, utilizaremos la siguiente expresión:

$$e(\%) = \frac{L * P}{C * S * V^2} * 100$$

donde

L= longitud del circuito o tramo

P= potencia activa

C= conductividad

S= sección

V= tensión de la red

Una vez realizados estos cálculos, se pueden determinar las secciones mínimas de los conductores para los distintos circuitos de las naves. Los resultados se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se puede observar que tenemos secciones muy inferiores a las mínimas que nos exige la normativa. Así pues, la instalación eléctrica de la nave se realizara con las secciones mínimas que nos indica la normativa.

*Tabla 6-5. Cálculos de las secciones mínimas de los conductores de los distintos circuitos de las naves*

Tensión	Potencia total	Intensidad	Longitud	Sección	Conductividad	Caída tensión	Caída tensión %	Circuito
400	15.200	21,94	10	1,13	56	6,00	1,50	Subcuadro de electricidad
400	91.200	131,64	15	10,18	56	6,00	1,50	Subcuadro de soldadura
230	9.200	23,09	20	4,14	56	3,45	1,50	Subcuadro de Planta de arriba
230	6.900	17,32	5	0,78	56	3,45	1,50	Subcuadro de las zonas comunes
400	122.500	176,81	10	9,11	56	6,00	1,50	Derivación Individual Cuadro General

### 6.3 Presupuesto de la electrificación de una nave del polígono industrial.

Basado en el diseño completo del alumbrado público y los servicios generales del polígono industrial y considerando todas sus especificaciones, se ha elaborado un presupuesto detallado

que refleja los materiales necesarios para su construcción y equipamiento. En la Tabla 6-6 se presenta el desglose completo de los costos asociados a cada componente y aspecto del centro de transformación, proporcionando una visión clara y precisa de los recursos financieros requeridos para llevarlo a cabo.

*Tabla 6-6. Presupuesto de la electrificación de una nave del polígono industrial*

Referencia	Designación	Precio unidad	Unidades	Precio TOTAL
U3.201.18	Interruptores Unipolar 10AX eunea única	2,31 €	15	34,65 €
U3.205.18	Llave de cruzamiento 10AX eunea única	7,19 €	6	43,14 €
EVK-11-300	Luz de emergencia Legrand 300Lx 11w/230V	50,00 €	5	250,00 €
EVK-11-150	Luz de emergencia Legrand 150Lx 8w/230V	38,00 €	19	722,00 €
EVK-11-040	Luz de emergencia Legrand 40Lx 4w/230V	20,00 €	3	60,00 €
U3.037.18	Toma de corriente 250V/16A eunea única	3,33 €	66	219,78 €
S2 4-22W	Cebador Phillips	0,94 €	55	51,70 €
TL-D54W/54-765	tubo fluorescente Phillips 58W	5,00 €	55	275,00 €
TL-P150	pantalla para tubos fluorescentes 1,5m	3,85 €	55	211,75 €
HF-B II 136 TLD1xTLD/PLL 36W	balastro electrónico	21,40 €	55	1.177,00 €
PAR25220P	condensador 4,5 F 250V	5,30 €	55	291,50 €
6510	Portalámparas R/N E-27 4A 250V. Solera	1,56 €	7	10,92 €
U8.002.18	Caja de superficie Para marco universal. eunea	3,26 €	87	283,62 €
38160	Caja de registro 160x115x75 eunea	5,10 €	50	255,00 €
31 61 221	Tubo ferplas 20Ø aemsa	1,78 €	693	1.233,54 €
31 61 227	Tubo ferplas 25Ø aemsa	2,13 €	382	813,66 €
31 61 229	Tubo ferplas 32Ø aemsa	2,30 €	128	294,40 €
31 61 249	Tubo ferplas 50Ø aemsa	2,89 €	10	28,90 €
31 61 260	Tubo ferplas 63Ø aemsa	3,47 €	20	69,40 €
31 61 272	Tubo ferplas 75Ø aemsa	3,78 €	25	94,50 €
31 61 238	Tubo ferplas 140Ø aemsa	5,64 €	5	28,20 €
A-976-60-75	bandeja perforada con tapa 75x60 Avanted	3,31 €	100	331,00 €
U2.002.18	Unica basic marco eunea 1 elemento	1,32 €	87	114,84 €
PAR25220P	condensador 22µF 250V 35x93.5	5,3	8	42,40 €
20891	Lampara de vapor de mercurio HSL-SC-125	13,1	8	104,80 €
UF-K8724	luminaria para lámparas de descarga	5,72	8	45,76 €

Referencia	Designación	Precio unidad	Unidades	Precio TOTAL
BHL 50/80 I407-	balastro vapor mercurio	15,1	8	120,80 €
U3.037.20	Toma de corriente 400V/16A 3p+1n+1tt	5,75	32	184,00 €
U3.040.20	Toma de corriente 400V/32A 3p+1n+1tt	8,65	11	95,15 €
1174106 M	Cable flexible general cable 1,5mm marrón	0,31 €	44	13,64 €
1174106 A	Cable flexible general cable 1,5mm azul	0,31 €	44	13,64 €
1174106 AV	Cable flexible general cable 1,5mm TT	0,31 €	44	13,64 €
1174107 M	Cable flexible general cable 2,5mm marrón	0,75 €	1796	1.347,00 €
1174107 A	Cable flexible general cable 2,5mm azul	0,75 €	1796	1.347,00 €
1174107 AV	Cable flexible general cable 2,5mm TT	0,75 €	1796	1.347,00 €
1174108 M	Cable flexible general cable 4mm marrón	1,14 €	293	334,02 €
1174108 A	Cable flexible general cable 4mm azul	1,14 €	293	334,02 €
1174108 AV	Cable flexible general cable 4mm TT	1,14 €	293	334,02 €
1174110 M	Cable flexible general cable 6mm marrón	3,04 €	180	547,20 €
1174110 A	Cable flexible general cable 6mm azul	3,04 €	180	547,20 €
1174110 AV	Cable flexible general cable 6mm TT	3,04 €	180	547,20 €
1174111 M	Cable flexible general cable 10mm marrón	5,35 €	428	2.289,80 €
1174111 A	Cable flexible general cable 10mm azul	5,35 €	428	2.289,80 €
1174111 AV	Cable flexible general cable 10mm TT	5,35 €	428	2.289,80 €
1174112 M	Cable flexible general cable 16mm marrón	7,97 €	72	573,84 €
1174112 A	Cable flexible general cable 16mm azul	7,97 €	72	573,84 €
1174112 AV	Cable flexible general cable 16mm TT	7,97 €	72	573,84 €
1174115 M	Cable flexible general cable 50mm marrón	15,27 €	55	839,85 €
1174115 A	Cable flexible general cable 50mm azul	15,27 €	55	839,85 €
1174115 AV	Cable flexible general cable 50mm TT	15,27 €	55	839,85 €
1174120 M	Cable flexible general cable 95mm marrón	20,01 €	141	2.821,41 €
1174120 A	Cable flexible general cable 95mm azul	20,01 €	141	2.821,41 €
1174120 AV	Cable flexible general cable 95mm TT	20,01 €	141	2.821,41 €
2174112 M	Cable flexible general cable 16mm marrón	5,98 €	5	29,90 €
1174112 A	Cable flexible general cable 16mm azul	5,98 €	5	29,90 €
1174112 AV	Cable flexible general cable 16mm TT	5,98 €	5	29,90 €
1174113 M	Cable flexible general cable 25mm marrón	8,75 €	15	131,25 €
1174113 A	Cable flexible general cable 25mm azul	8,75 €	15	131,25 €
1174113 AV	Cable flexible general cable 25mm TT	8,75 €	15	131,25 €
5SJ6 510-7FC	Interruptores magnetotérmicos 10A/230V siemens	11,74 €	3	35,22 €
6SJ6 510-7FC	Interruptores magnetotérmicos 10A/400V siemens	14,74 €	6	88,44 €
5SJ6 516-7FC	Interruptores magnetotérmicos 16A/400V siemens	16,00 €	2	32,00 €
5SJ6 520-7FC	Interruptores magnetotérmicos 20A/230V siemens	13,30 €	12	159,60 €
6SJ6 520-7FC	Interruptores magnetotérmicos 20A/400V siemens	17,30 €	1	17,30 €
6SJ6 525-7FC	Interruptores magnetotérmicos 25A/400V	17,53 €	2	35,06 €

Referencia	Designación	Precio unidad	Unidades	Precio TOTAL
	siemens			
6SJ6 532-7FC	interruptores magnetotérmicos 32A/400V siemens	45,52 €	2	91,04 €
5SJ6 540-7FC	interruptores magnetotérmicos 40A/400V siemens	50,52 €	2	101,04 €
5SJ6 563-7FC	interruptores magnetotérmicos 63A/230V siemens	70,52 €	1	70,52 €
6SJ6 563-7FC	interruptores magnetotérmicos 63A/400V siemens	75,52 €	1	75,52 €
6SJ6 540-7FC	interruptores magnetotérmicos 250/400V siemens	289,52 €	3	868,56 €
SPN 140R* 1P	Limitadores de sobretensión 40kA 275V 50/60 Hz	100,18 €	4	400,72 €
SPN 165R* 1P	Limitadores de sobretensión 65kA 275V 50/60 Hz	156,18 €	1	156,18 €
5SM3 314-0FC	Int. Diferencial 5SM3 40A/400V/30ma siemens	34,25 €	2	68,50 €
5SM3 314-0FC	Int. Diferencial 5SM3 40A/400V/300ma siemens	39,25 €	1	39,25 €
5SM3 314-0FC	Int. Diferencial 5SM3 63A/400V/30ma siemens	60,25 €	1	60,25 €
5SM3 314-0FC	Int. Diferencial 5SM3 250A/400V/300ma siemens	329,25 €	3	987,75 €
68052-51	Caja general de protección y medida 15-20 PIA	43,08 €	2	86,16 €
68052-31	Caja general de protección y medida 6-10 PIA	24,88 €	3	74,64 €
SCH-400-1M- 1A	cuadro de control de motores Schneider	384,00 €	11	4.224,00 €
	mano de obra	18,00 €	320	5.760,00 €
		Subtotal		47.702,89 €
Descuento (%)	Total descuento	Base imponible	IVA (%)	Total IVA
5	2.385,14 €	45.317,75 €	21	9.516,73 €
		<b>TOTAL FACTURA</b>		<b>54.834,47</b>

## Capítulo 7 Conclusiones y futuras líneas de trabajo

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado sobre la electrificación de un polígono industrial ha permitido alcanzar una serie de conclusiones importantes, tanto a nivel técnico como socioeconómico. A continuación, se detallan los puntos más relevantes obtenidos a lo largo del estudio:

**1-Evaluación de la Demanda Energética:** Se realizó una exhaustiva evaluación de la demanda energética actual y futura del polígono industrial. Este análisis permitió dimensionar adecuadamente la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de las empresas instaladas y prever futuras expansiones.

**2- Diseño de la Red Eléctrica:** El diseño de la red eléctrica se llevó a cabo considerando los principios de eficiencia energética, seguridad y sostenibilidad. La selección de materiales y equipos se hizo en función de su durabilidad y rendimiento, asegurando así una operación confiable y eficiente del sistema eléctrico.

**3-Incorporación de Energías Renovables:** La inclusión de fuentes de energía renovable, como paneles solares y turbinas eólicas, no solo contribuirá a la reducción de la huella de carbono del polígono, sino que también proporcionará una mayor independencia energética y estabilidad en el suministro eléctrico.

**4-Aspectos Regulatorios y Normativos:** El cumplimiento de las normativas y regulaciones vigentes en materia de electrificación industrial fue un aspecto fundamental en el desarrollo del proyecto. Esto garantizó que todas las etapas del diseño y la implementación cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia exigidos por la legislación.

**5-Impacto Económico y Ambiental:** La electrificación del polígono industrial tendrá un impacto económico positivo, al atraer nuevas inversiones y fomentar la creación de empleo. Además, la adopción de tecnologías limpias y eficientes contribuirá a la mejora de la calidad ambiental del área, beneficiando tanto a las empresas como a la comunidad local.

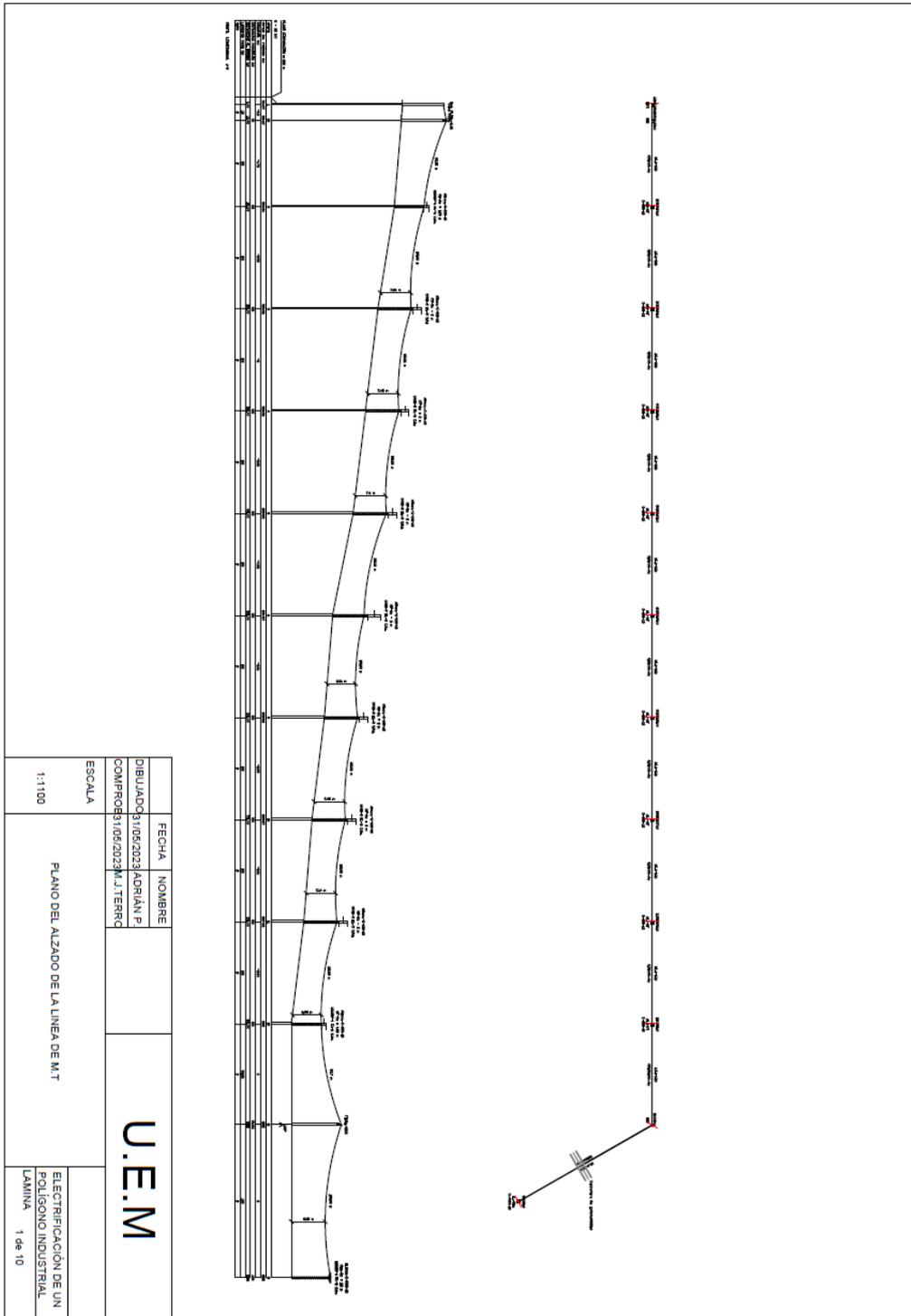
**6-Desafíos y Soluciones:** Se identificaron y abordaron diversos desafíos técnicos y logísticos, como la integración de energías renovables en la red existente y la gestión de la demanda energética variable. Las soluciones propuestas incluyeron la implementación de sistemas de almacenamiento de energía y la utilización de redes inteligentes para una gestión eficiente del suministro.

**7-Beneficios a Largo Plazo:** La electrificación del polígono industrial representa una inversión a largo plazo que no solo mejorará la competitividad de las empresas allí ubicadas, sino que también sentará las bases para un desarrollo sostenible y resiliente ante futuras demandas energéticas.

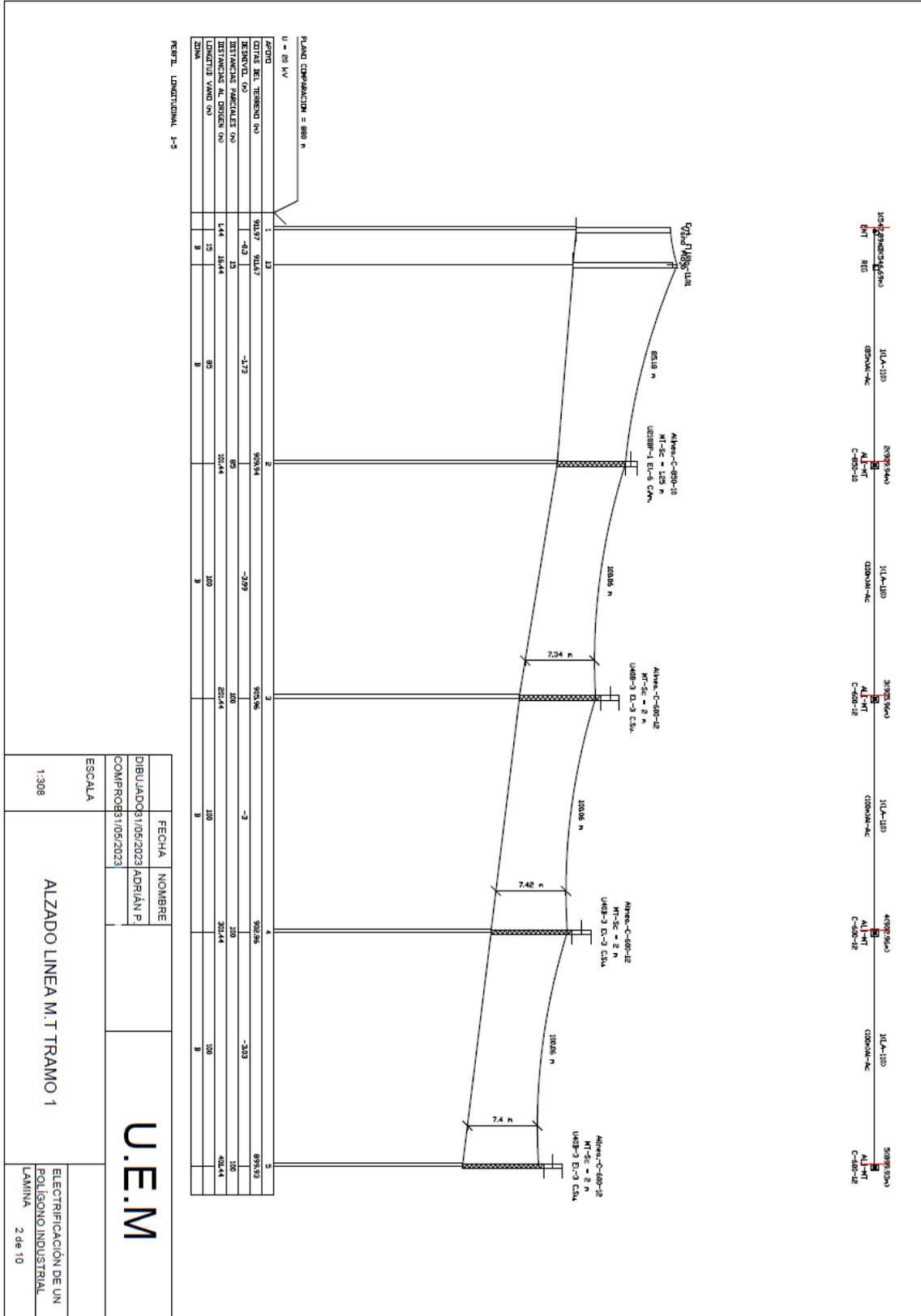
En resumen, este Trabajo de Fin de Grado ha permitido adquirir un conocimiento profundo sobre los diversos aspectos técnicos, económicos y ambientales relacionados con la electrificación de un polígono industrial. Los resultados obtenidos demuestran que es posible diseñar y ejecutar proyectos de electrificación eficientes y sostenibles, que no solo cumplen con las necesidades actuales, sino que también están preparados para adaptarse a los cambios y desafíos futuros.

## Capítulo 8 Planos.

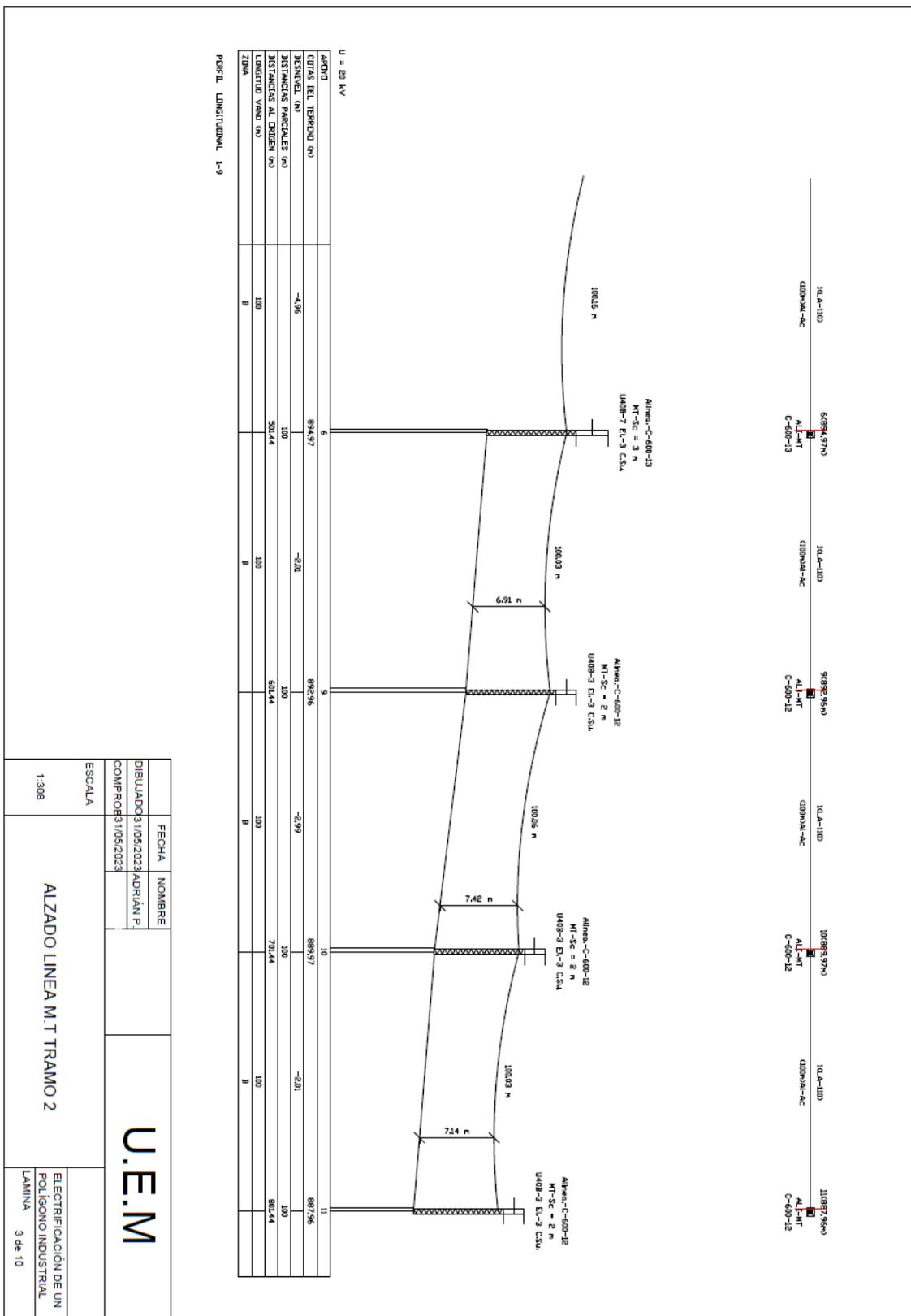
### 8.1 Planos del Diseño de la línea de media tensión del polígono industrial



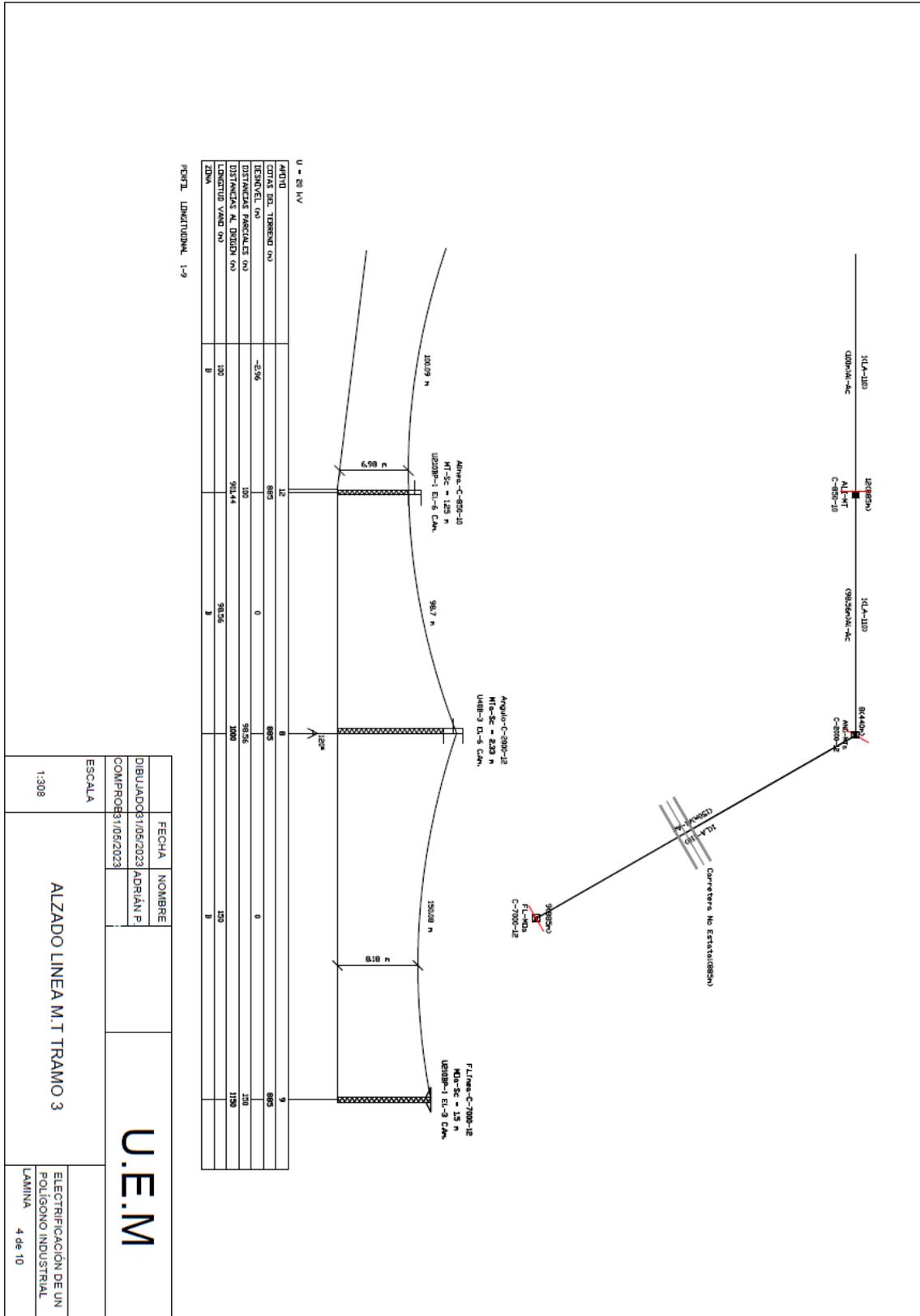
Plano 8-1 Plano del alzado de la línea de M.T (Media Tensión).



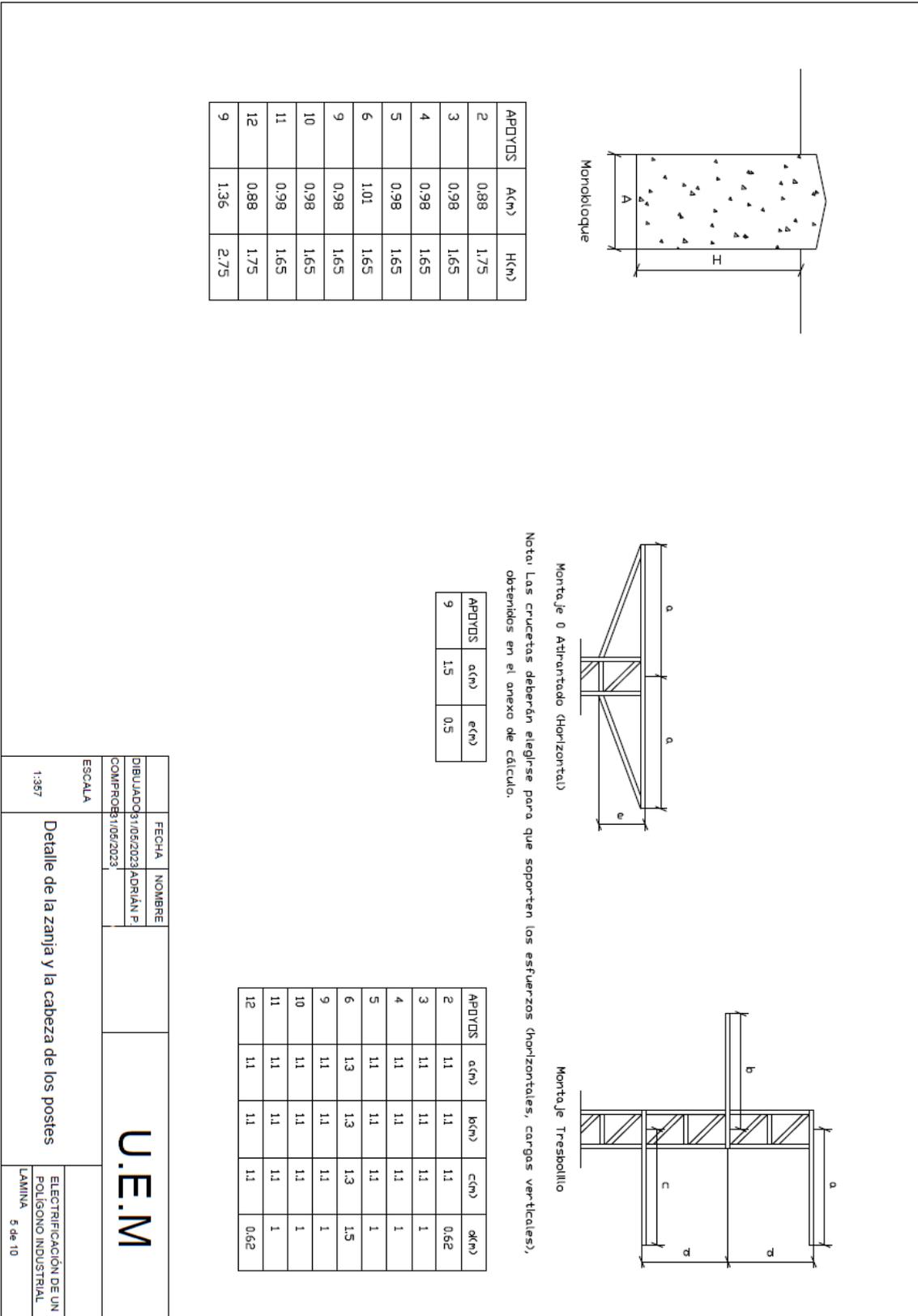
Plano 8-2. Plano del alzado de la línea de M.T. Tramo 1.



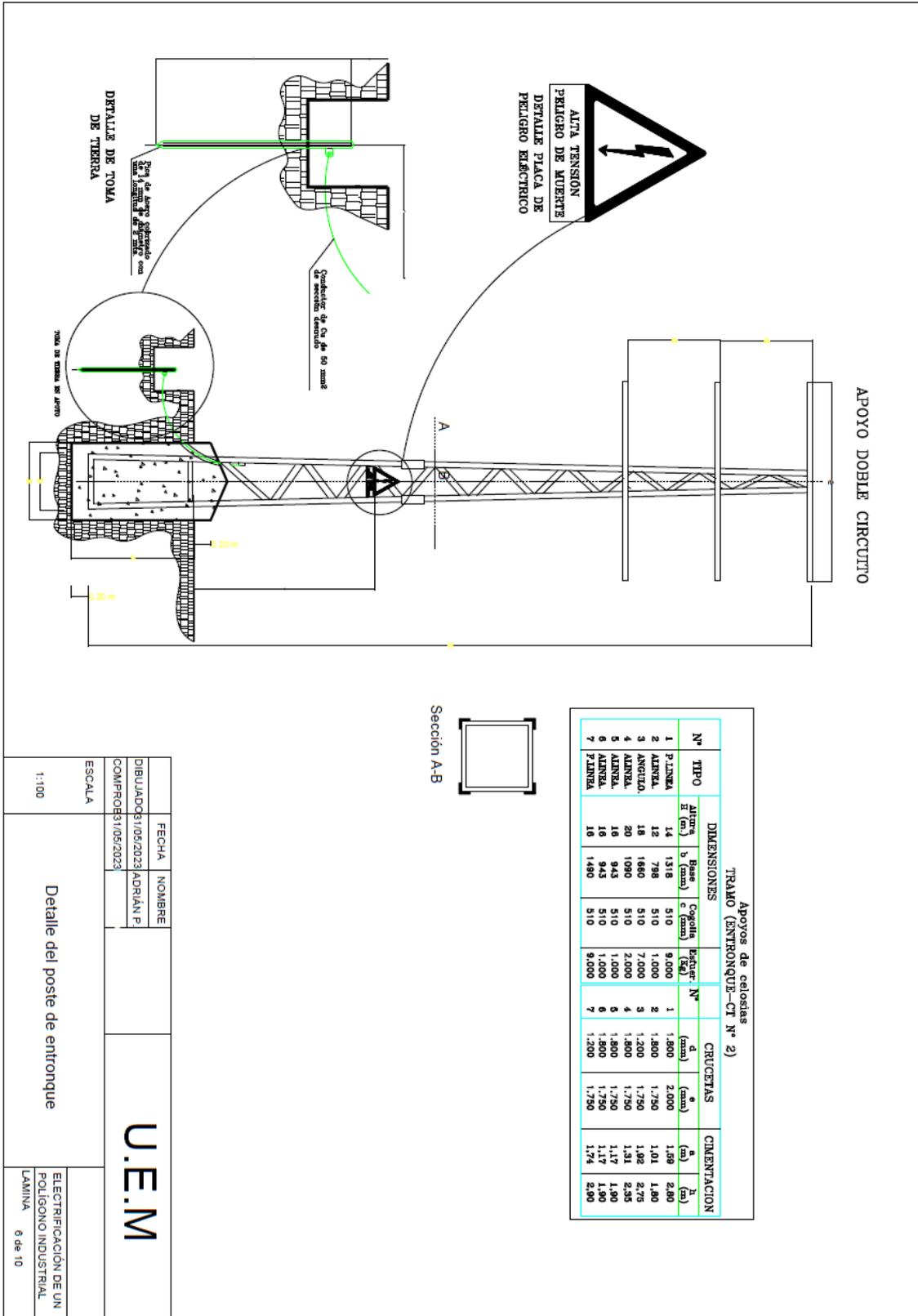
Plano 8-3. Plano del alzado de la línea de M.T. Tramo 2



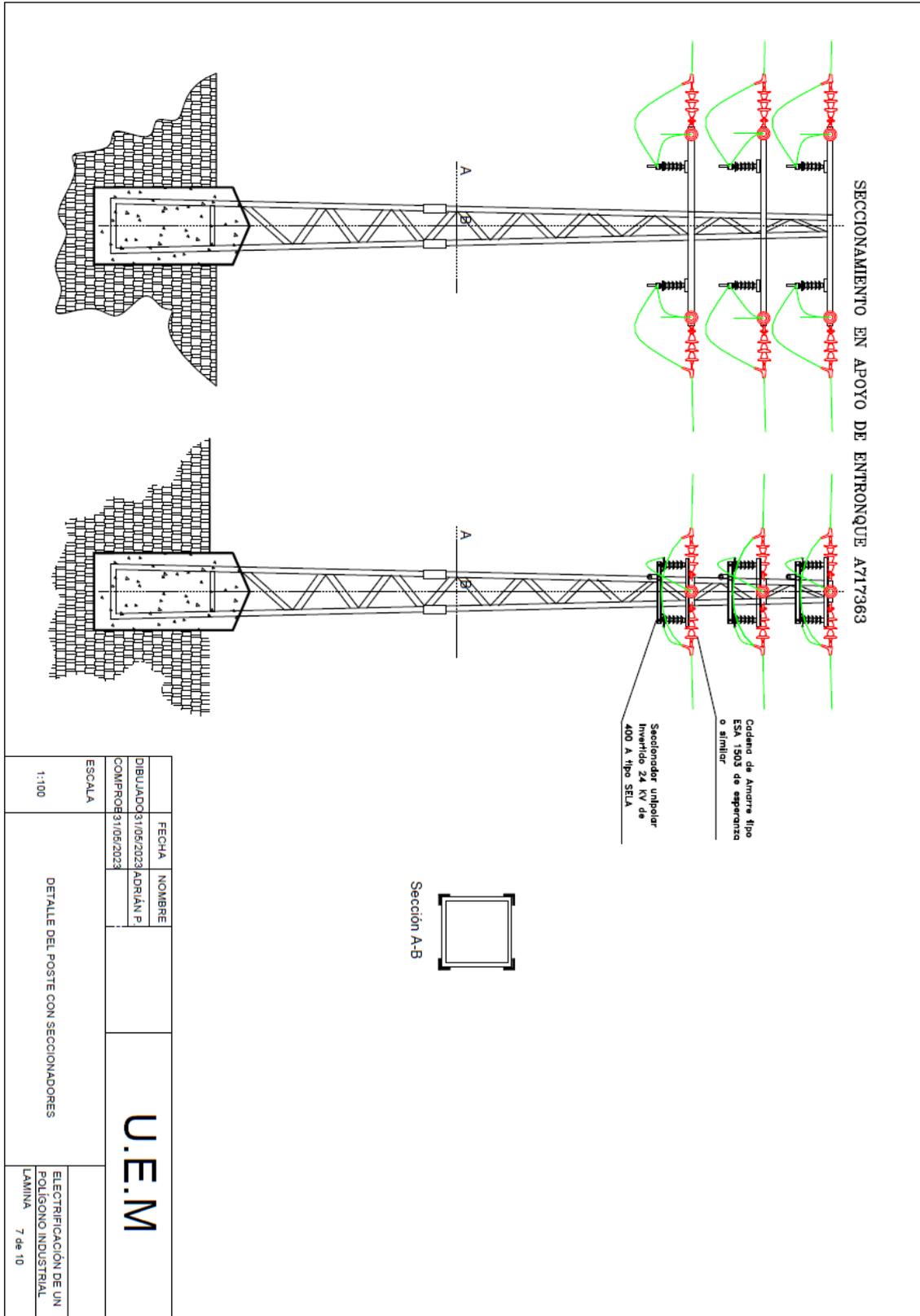
Plano 8-4. Plano del alzado de la línea de M.T. Tramo 3.



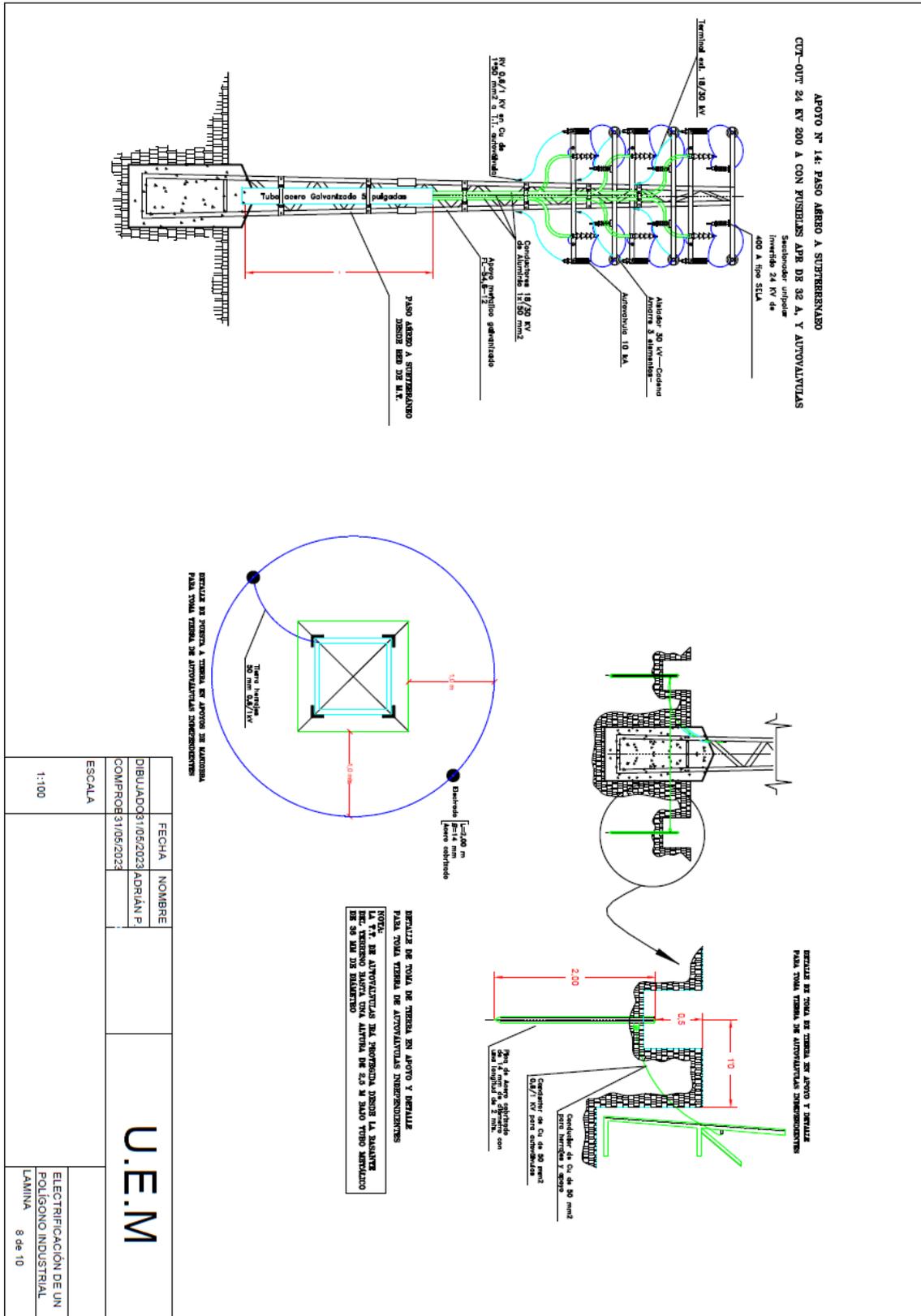
Plano 8-5. Plano de detalle de la zanja y la cabeza de los postes.



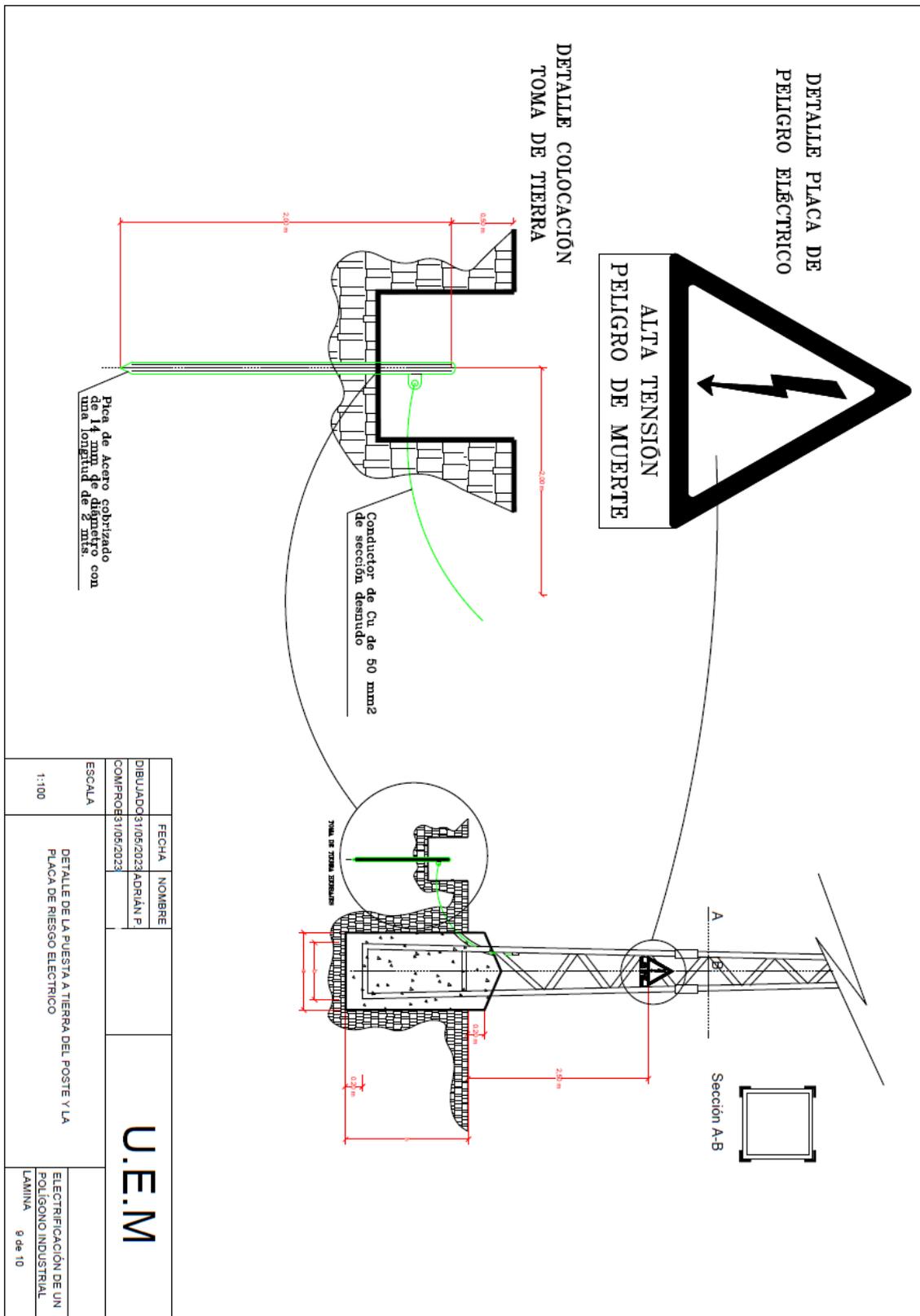
Plano 8-6. Plano de detalle del poste de entronque.



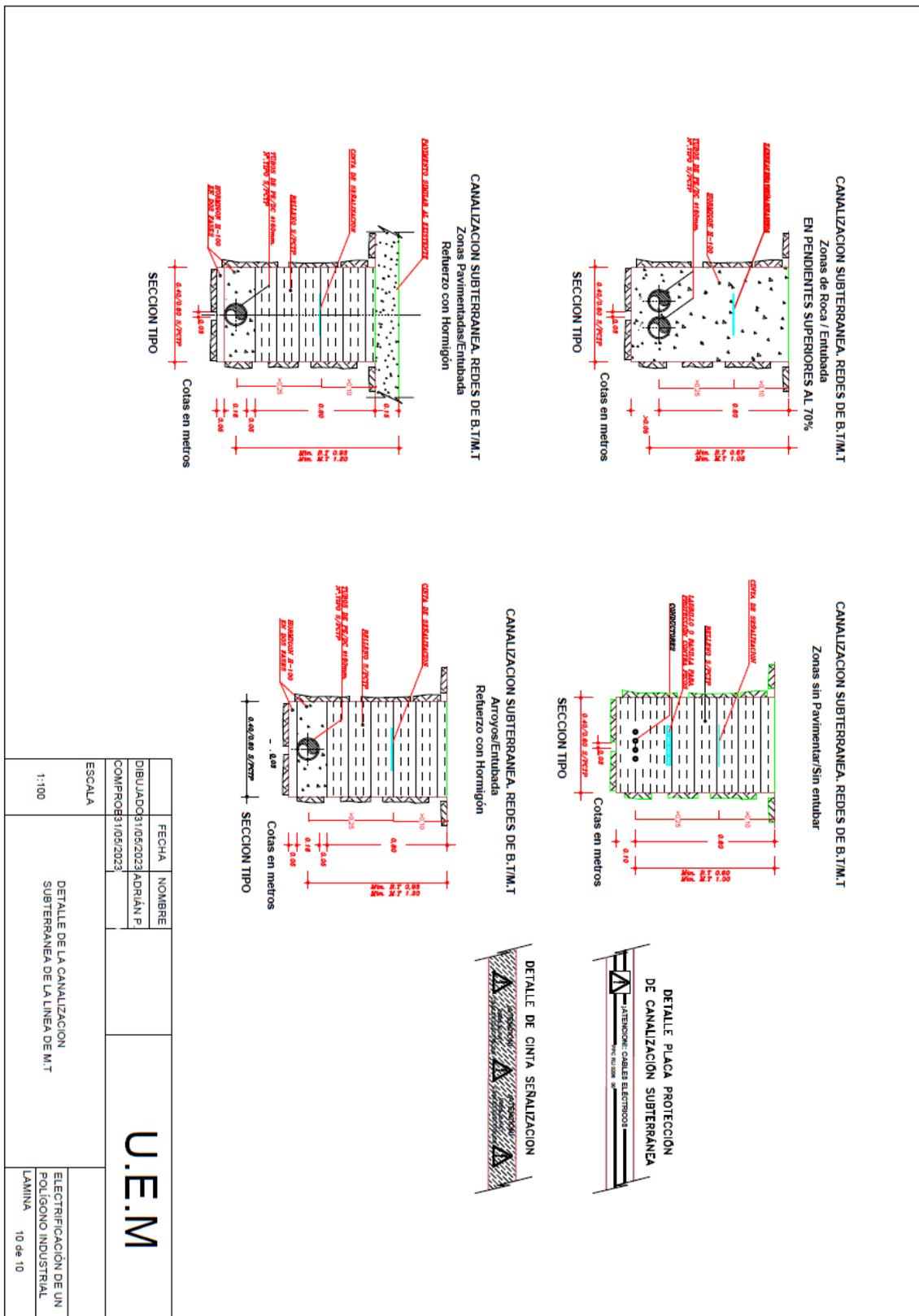
Plano 8-7. Plano de detalle del poste con seccionadores.



Plano 8-8. Plano de detalle de la pica de tierra de los postes.

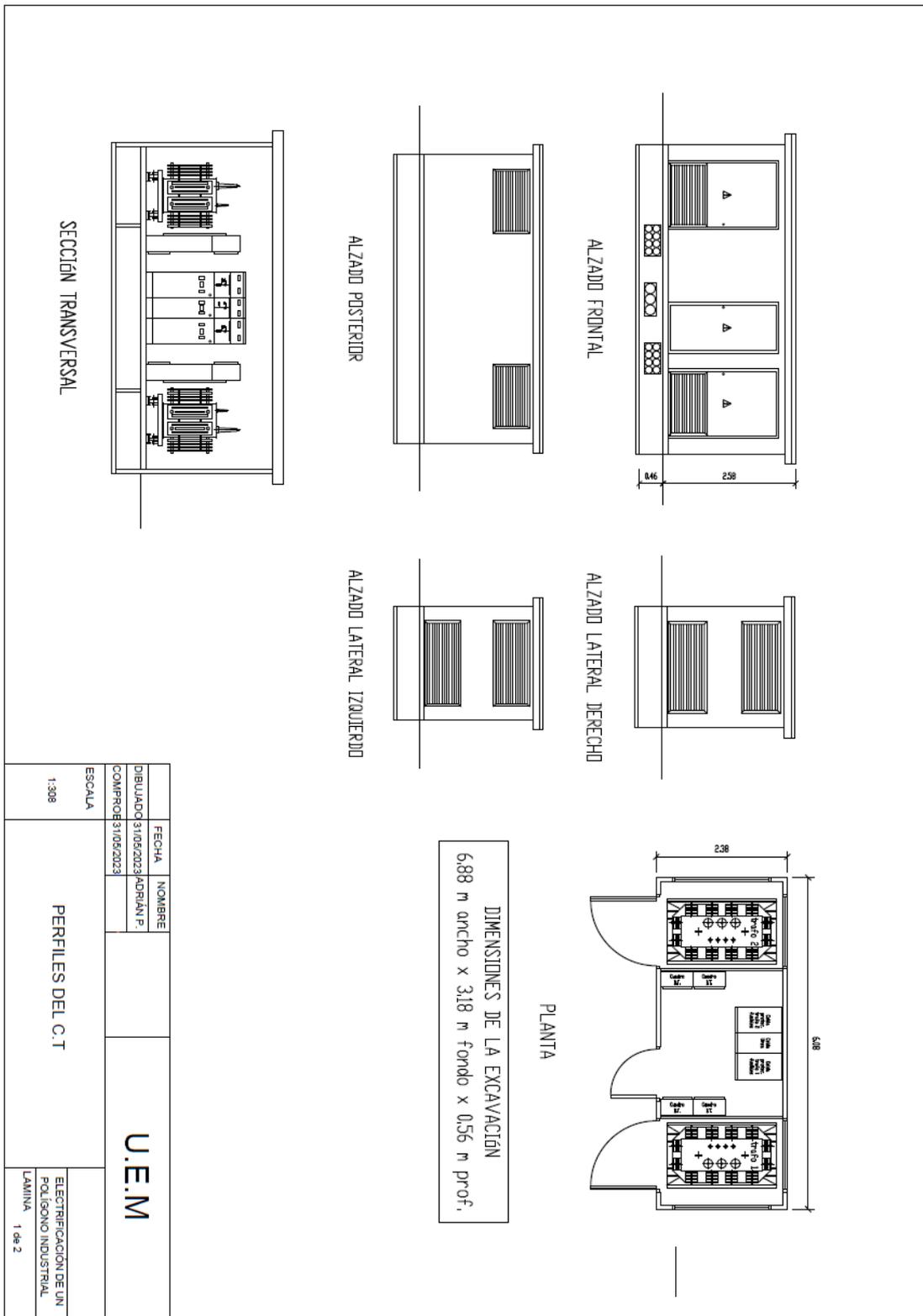


Plano 8-9. Plano de detalle de la puesta a tierra del poste y la placa de riesgo eléctrico.



Plano 8-10. Plano de detalle de la canalización subterránea de la línea de M.T.

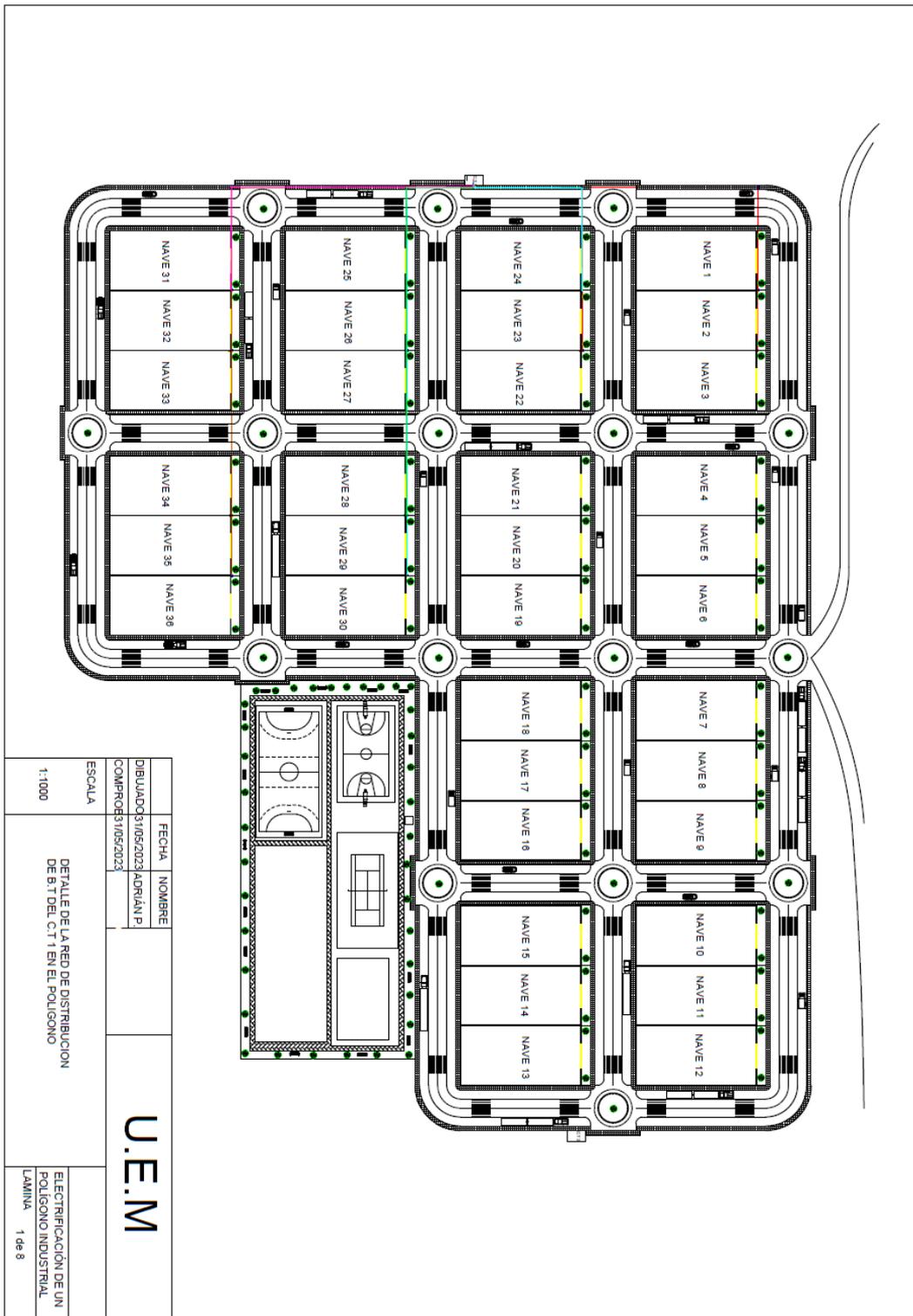
## 8.2 Planos del Diseño de los centros de transformación del polígono industrial



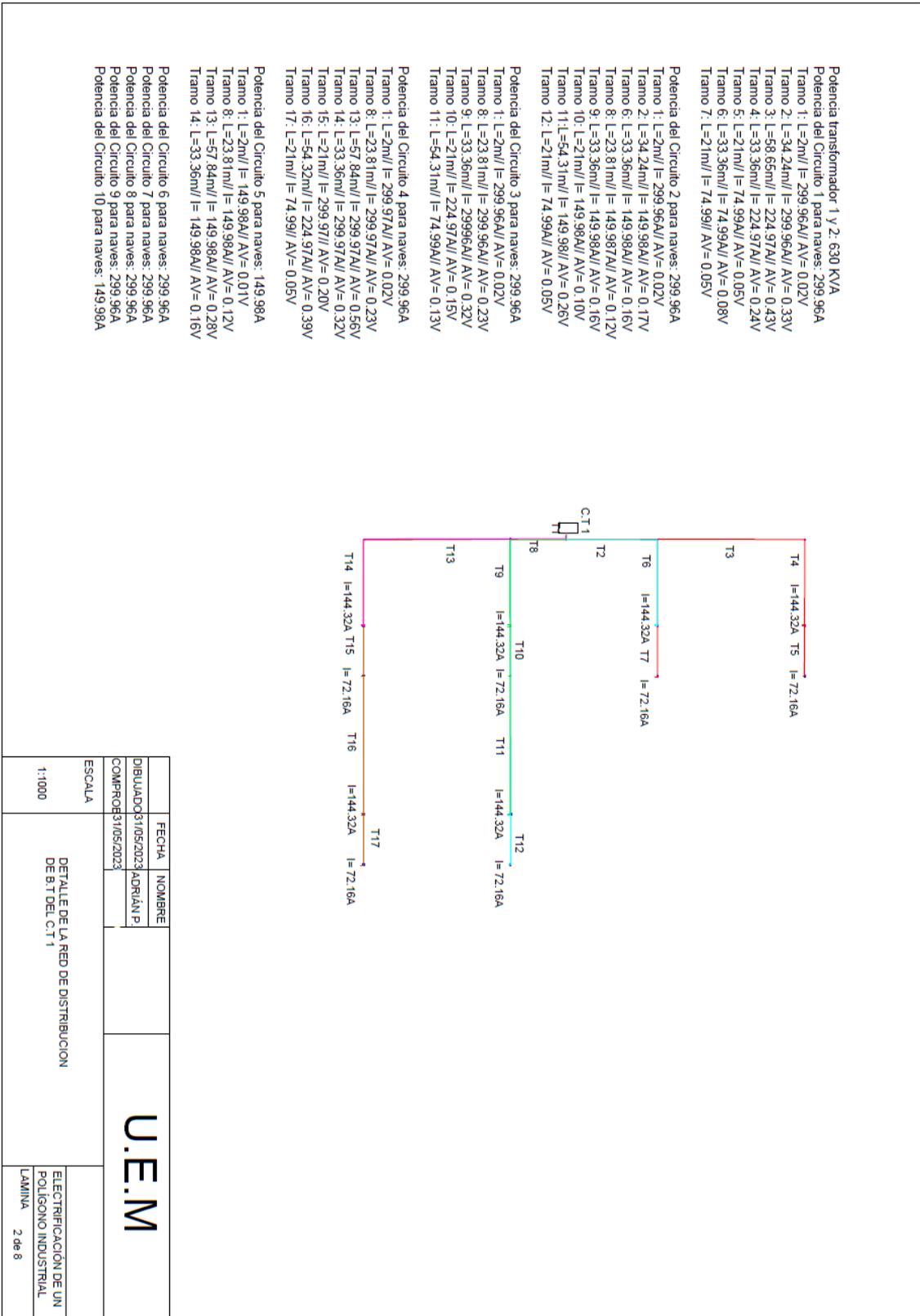
Plano 8-11. Plano de los perfiles del C.T (Centro de Transformación).



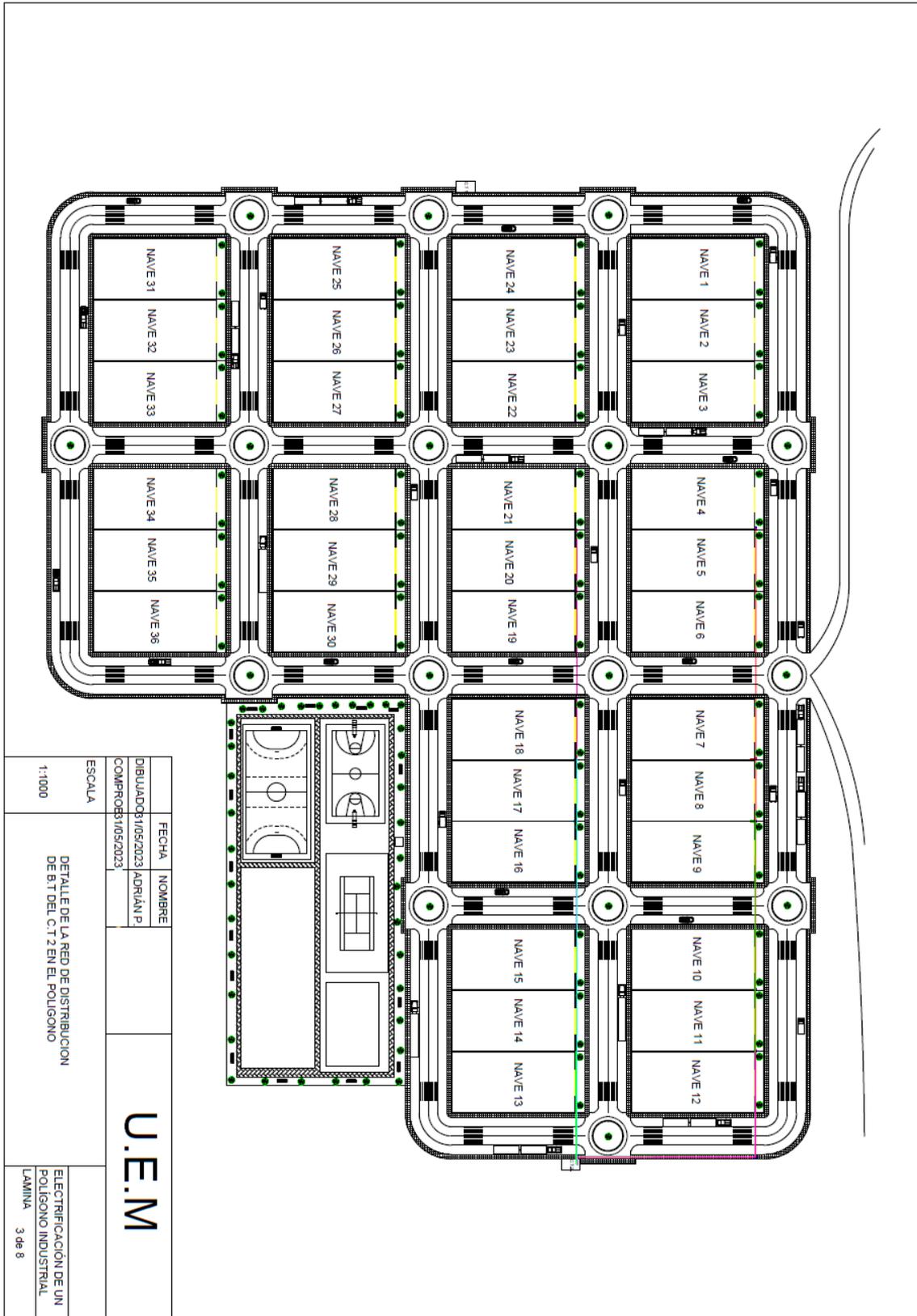
### 8.3 Planos del Diseño de las líneas de baja tensión del polígono industrial



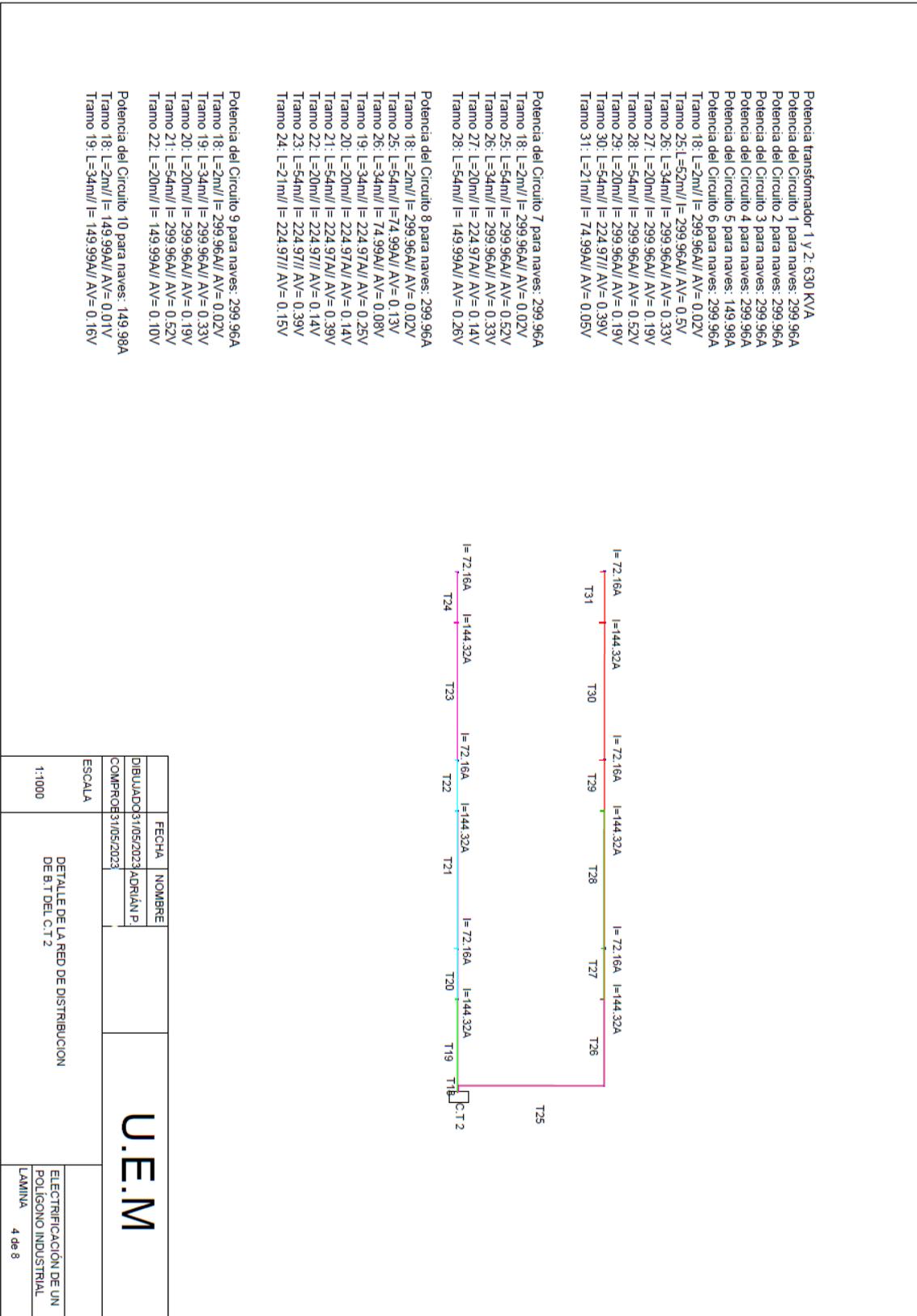
Plano 8-13. Plano de detalle de la red de distribución de B.T (Baja Tensión) del C.T 1 en el polígono.



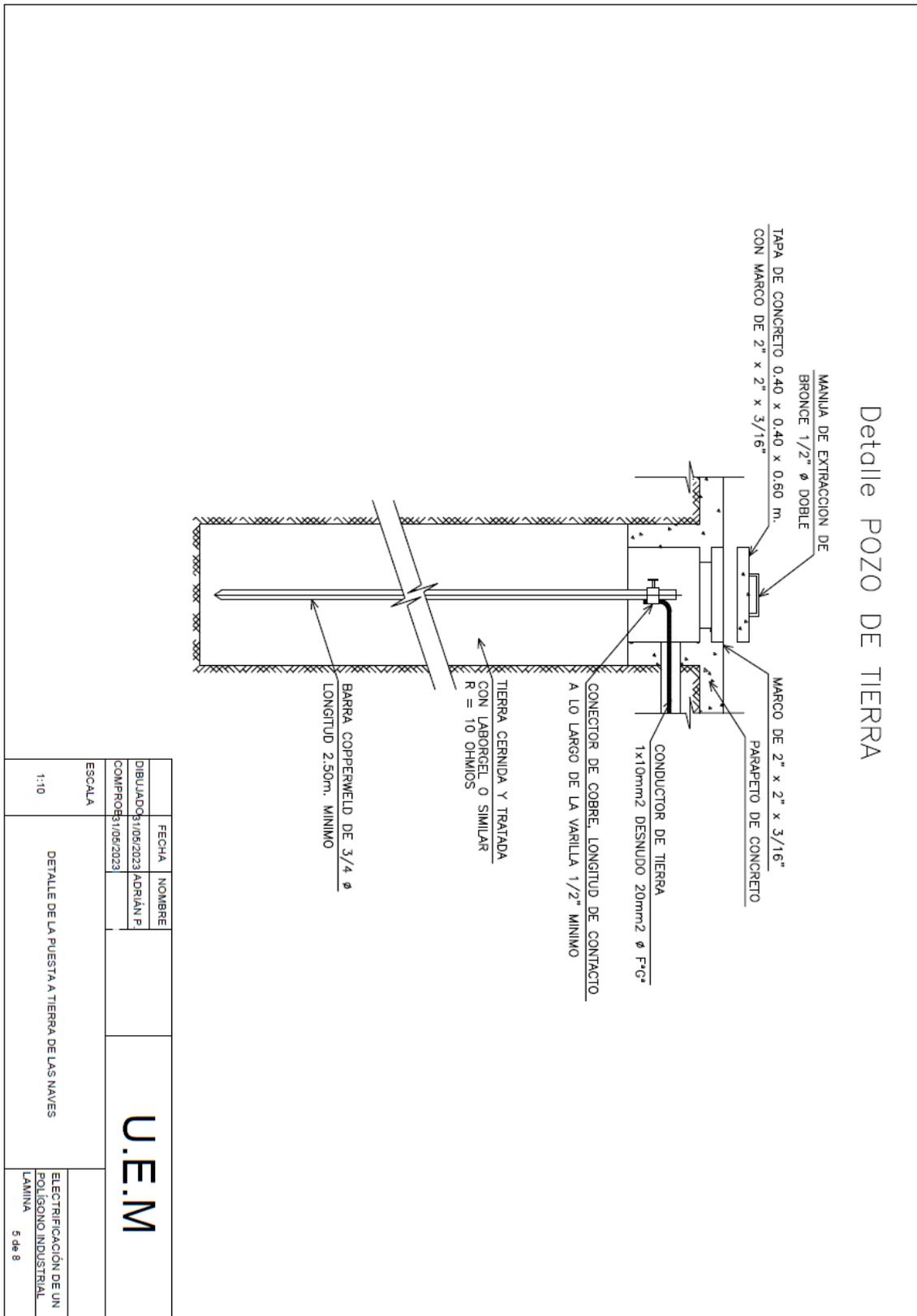
Plano 8-14. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del C.T. 1.



Plano 8-15. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del C.T 2 en el polígono.

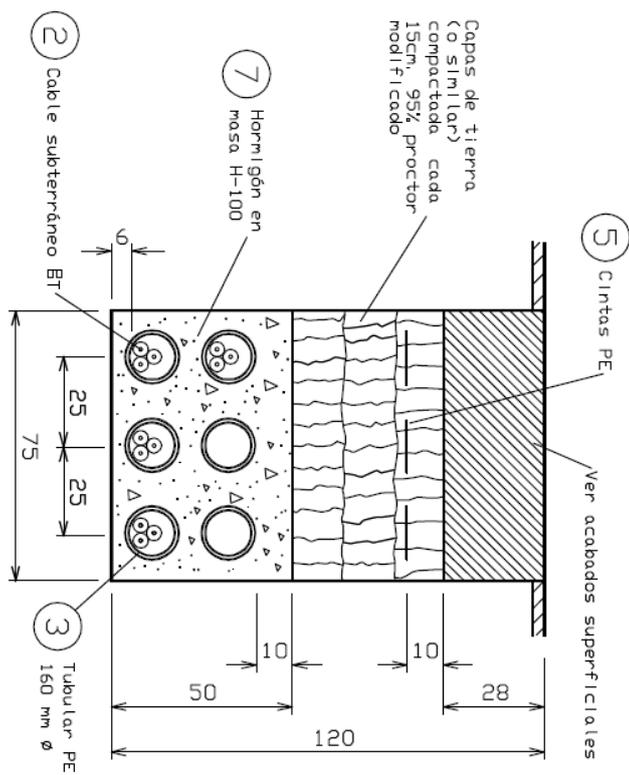


Plano 8-16. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del C.T.2.



Plano 8-17. Plano de detalle de la puesta a tierra de las naves.

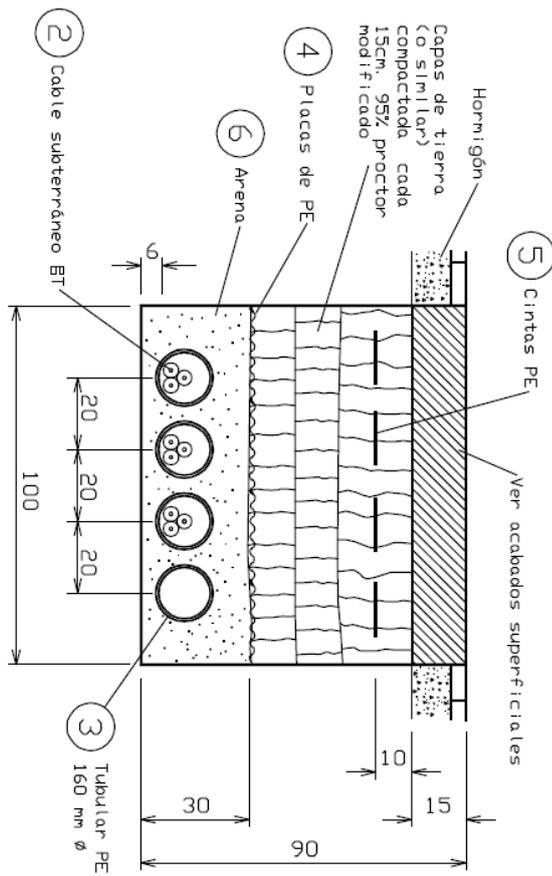
**4 CIRCUITOS EN CALZADA  
 (6 TUBOS HORMIGONADOS)**



	FECHA	NOMBRE	<b>U.E.M</b>
DIBUJADOR	1/05/2023	ADRIÁN P.	
COMPROBADO	1/05/2023	M. J. TERRA	
ESCALA			
1:10			
DETALLE DE LA ZANJA EN LA CALZADA			ELECTRIFICACIÓN DE UN POLÍGONO INDUSTRIAL LAMINA 6 de 8

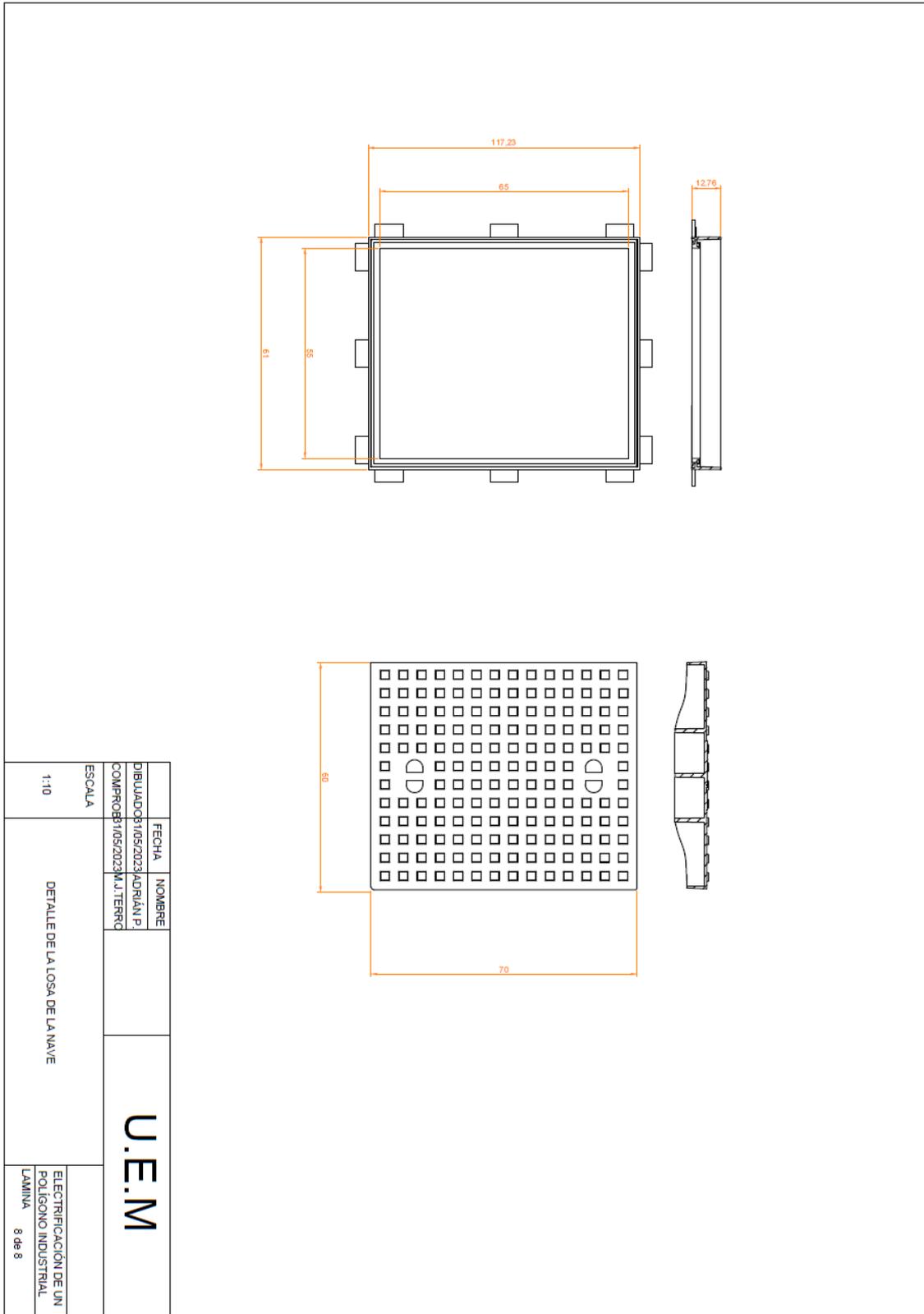
Plano 8-18. Plano de detalle de la zanja en la calzada.

### 4 CIRCUITOS EN ACERA (TUBOS SECOS)



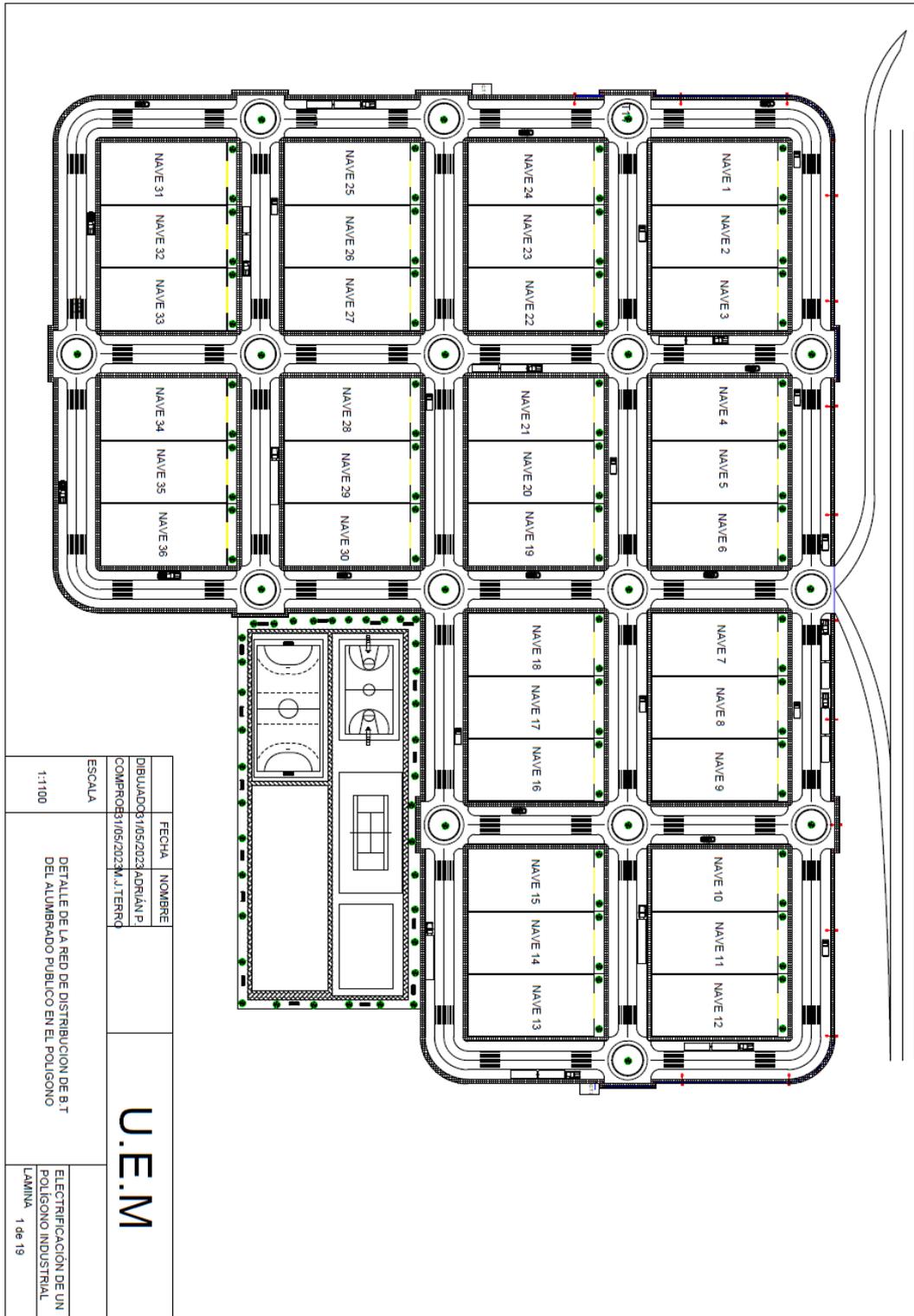
DIBUJADO	FECHA	NOMBRE	<b>U.E.M</b>
COMPROBADO	31/05/2023	ADRIÁN P. J. TERRICÓ	
ESCALA 1:10			DETALLE DE LA ZANJA EN LA ACERA ELECTRIFICACIÓN DE UN POLÍGONO INDUSTRIAL LÁMINA 7 de 8

Plano 8-19. Plano de detalle de la zanja en la acera.

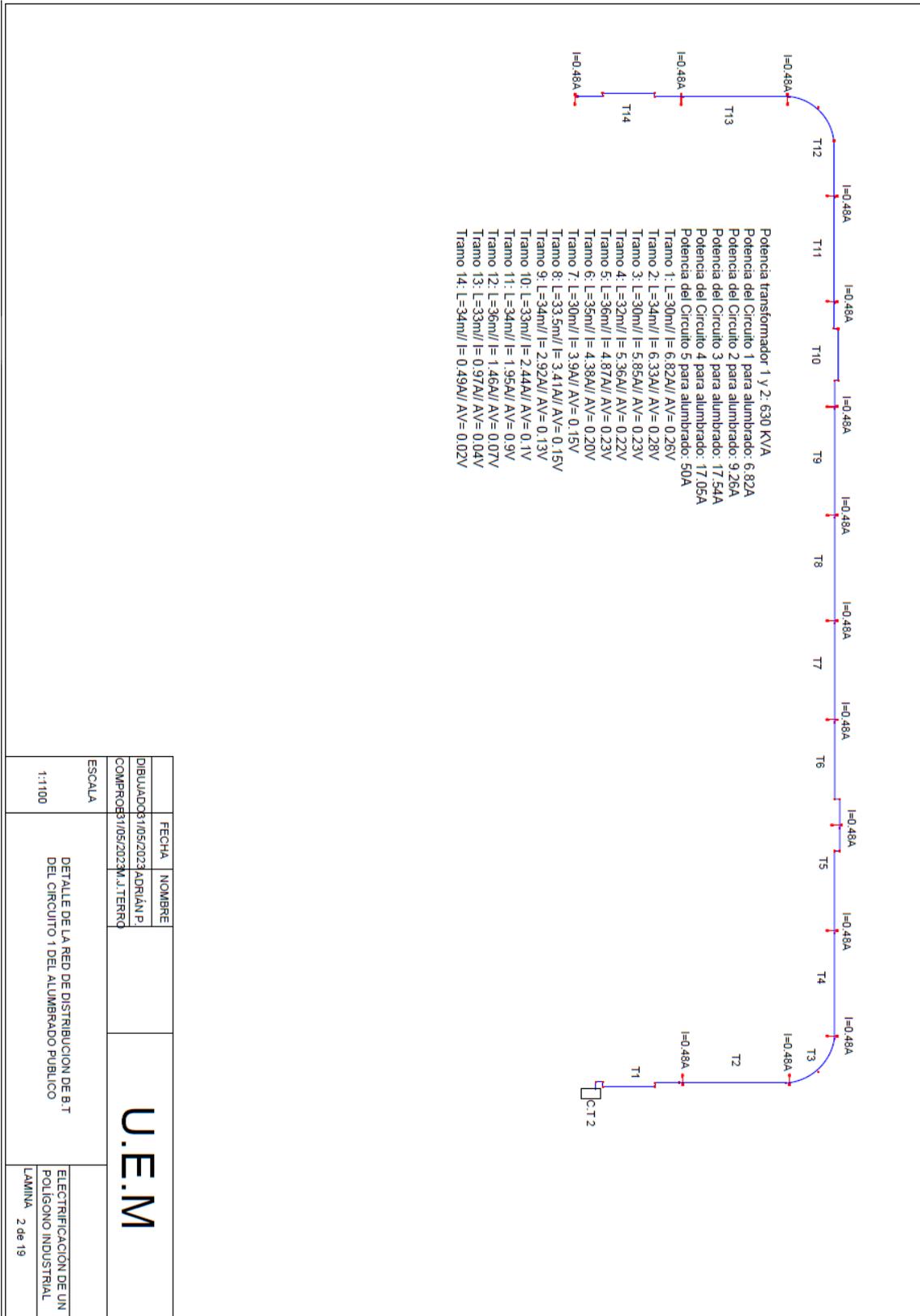


Plano 8-20. Plano de detalle de la losa de las naves.

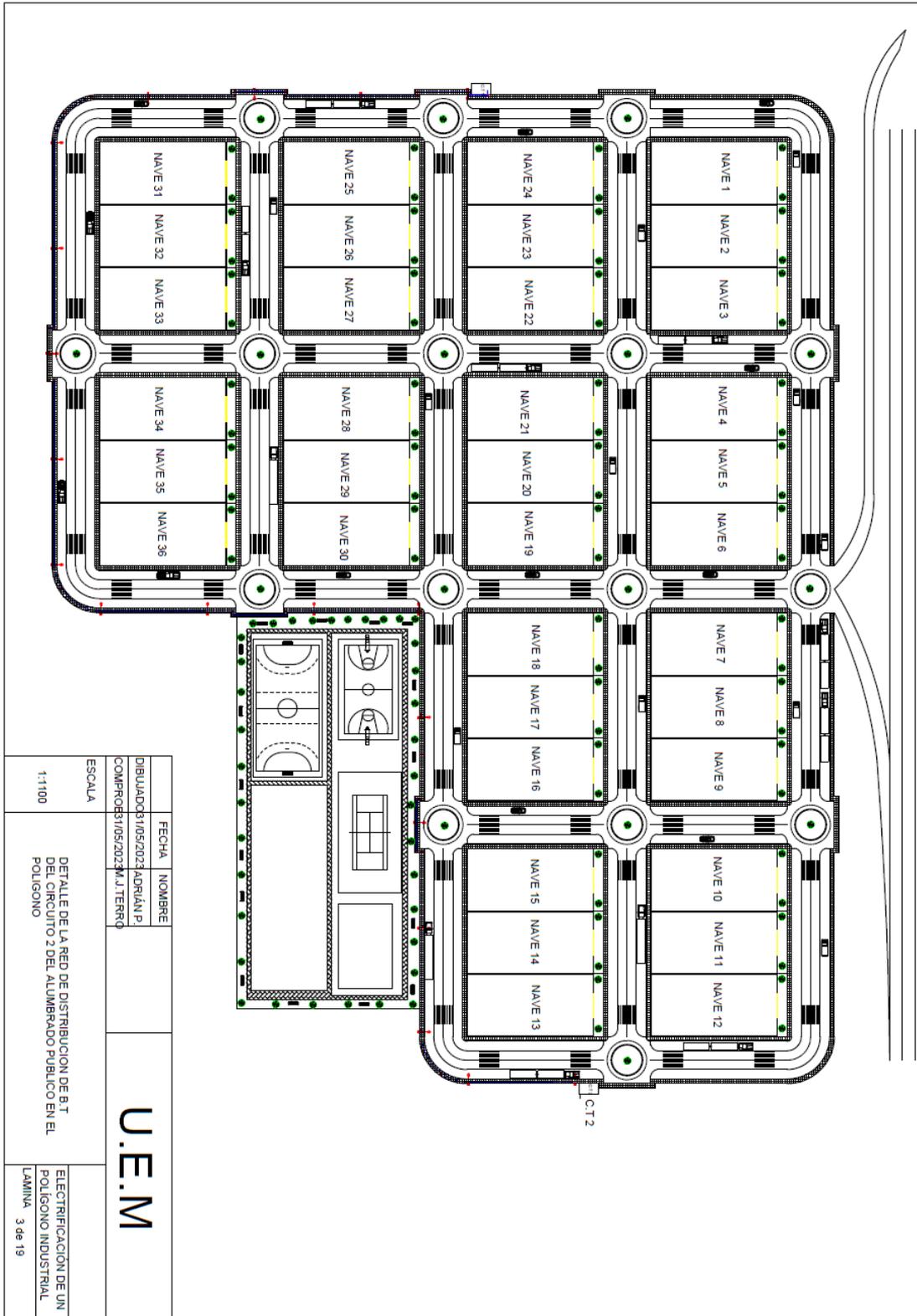
### 8.4 Planos del Diseño del alumbrado público y servicios generales del polígono industrial



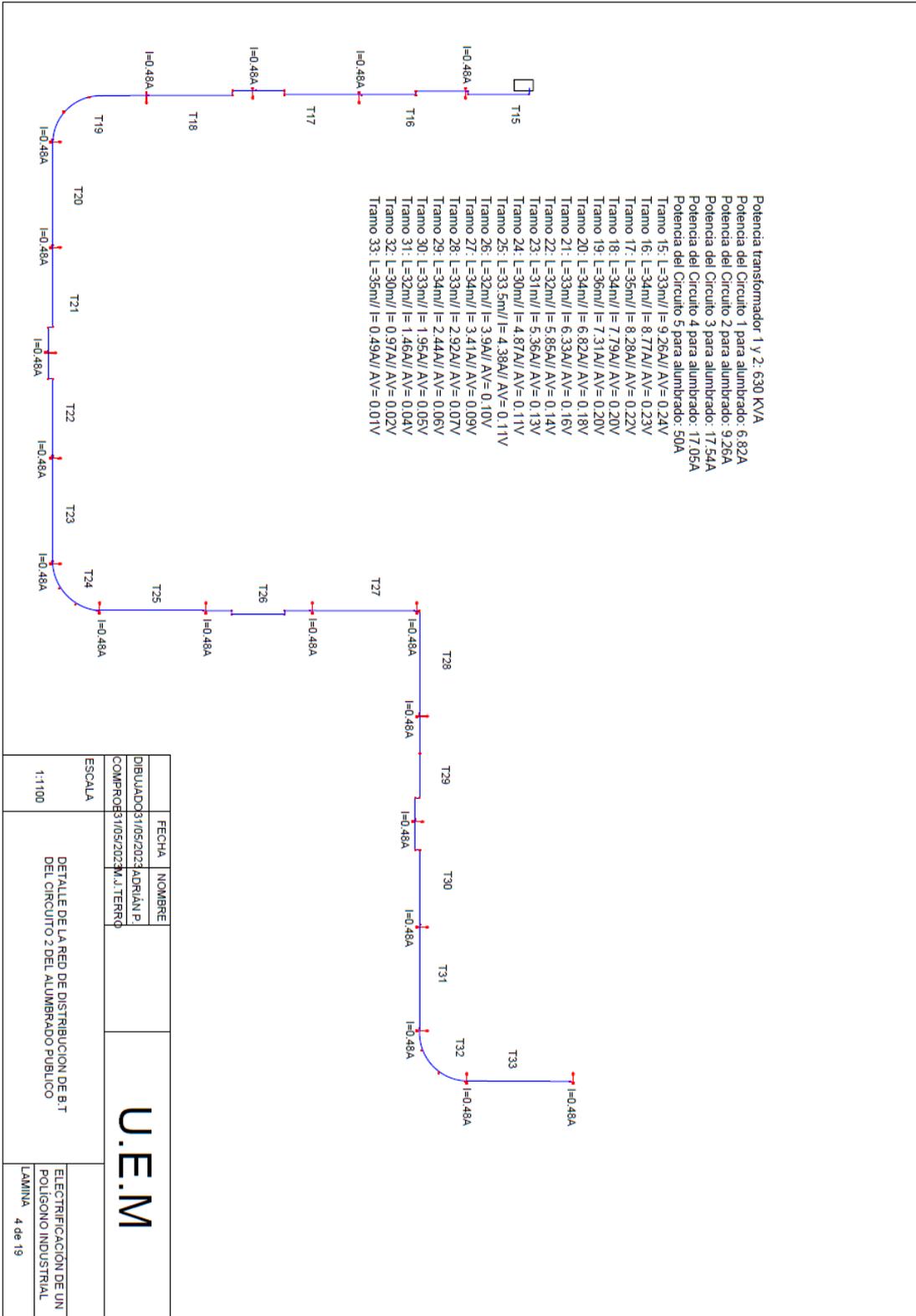
Plano 8-21. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del alumbrado público en el polígono.



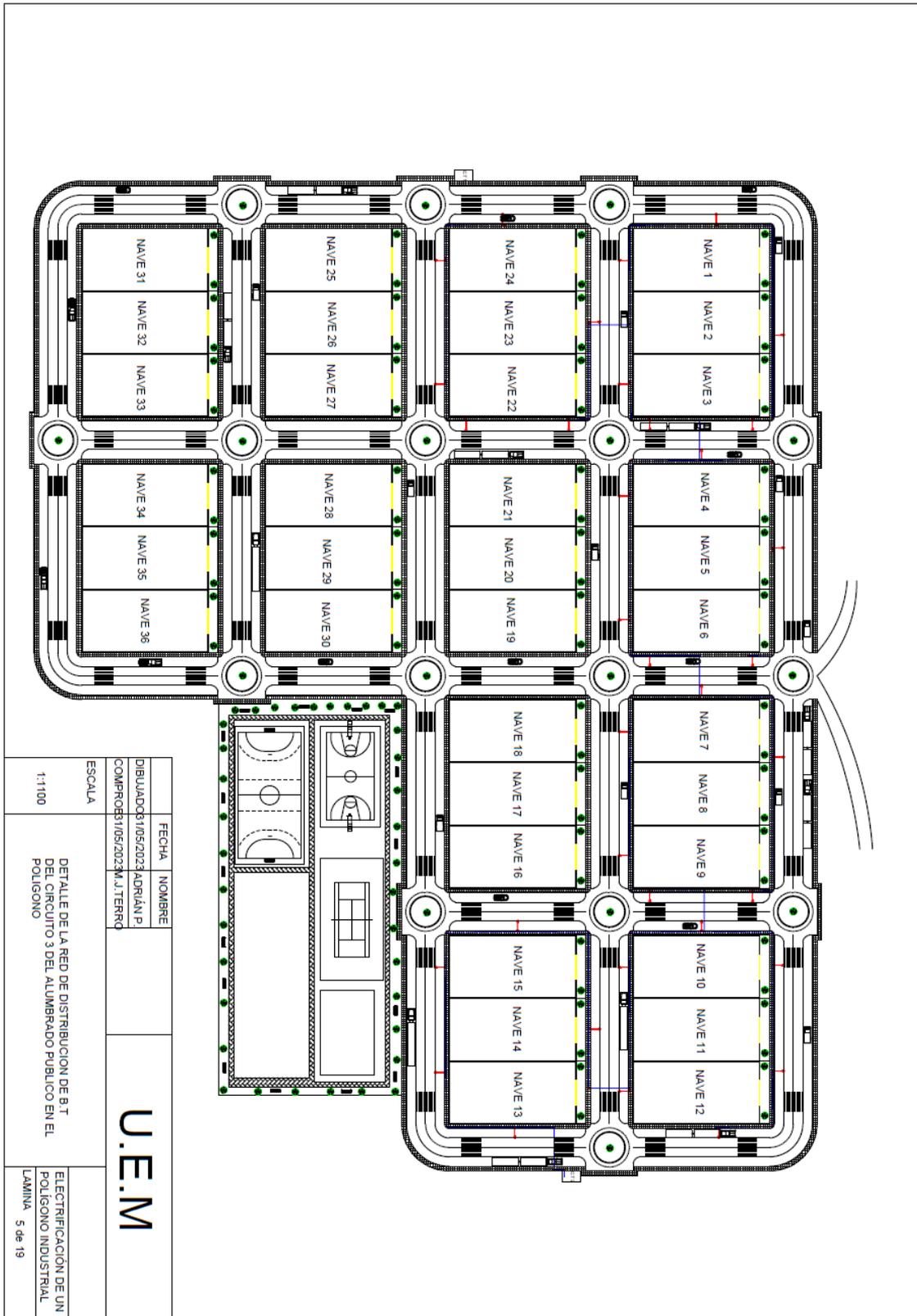
Plano 8-22. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 1 del alumbrado público.



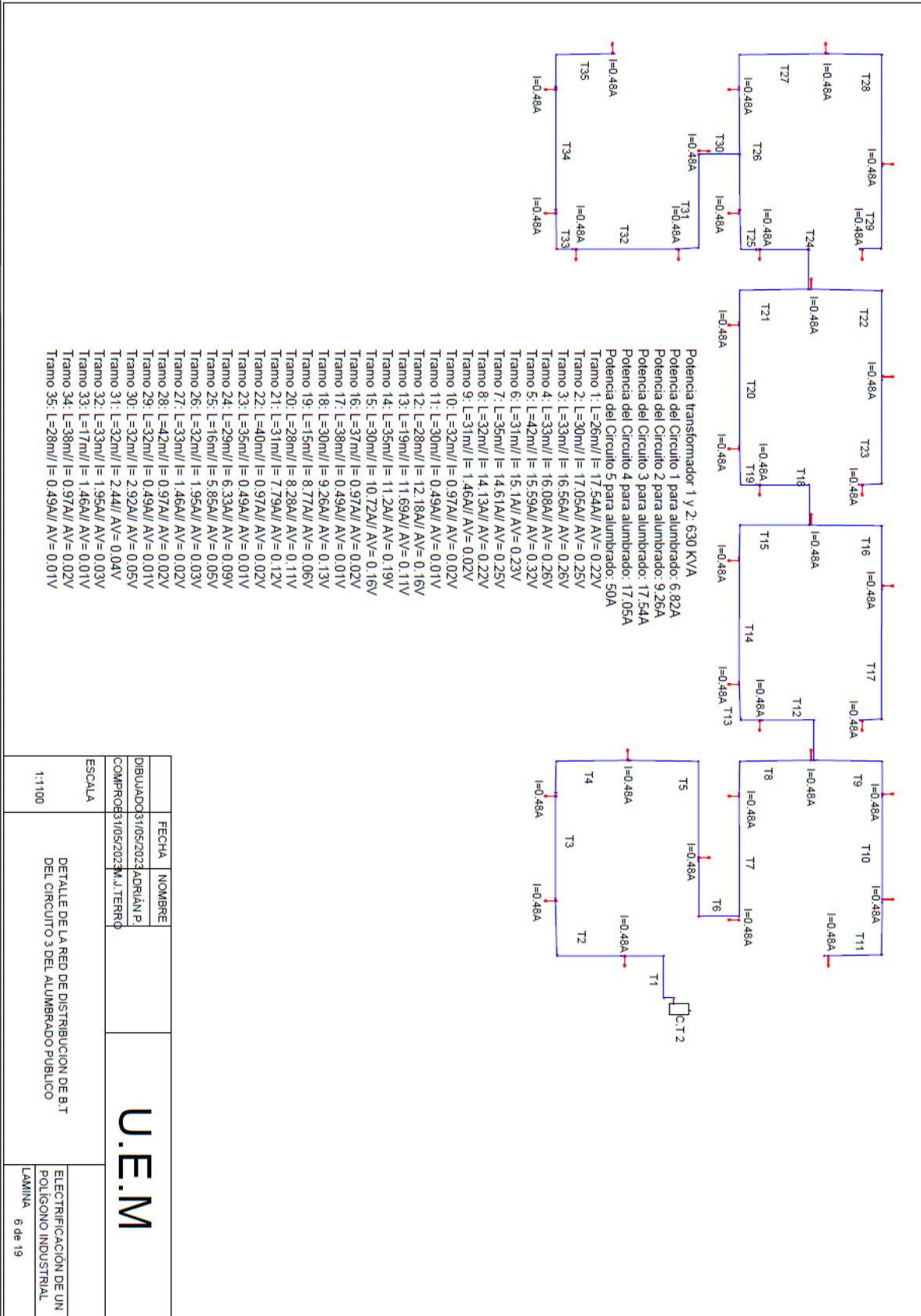
Plano 8-23. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 2 del alumbrado público en el polígono.



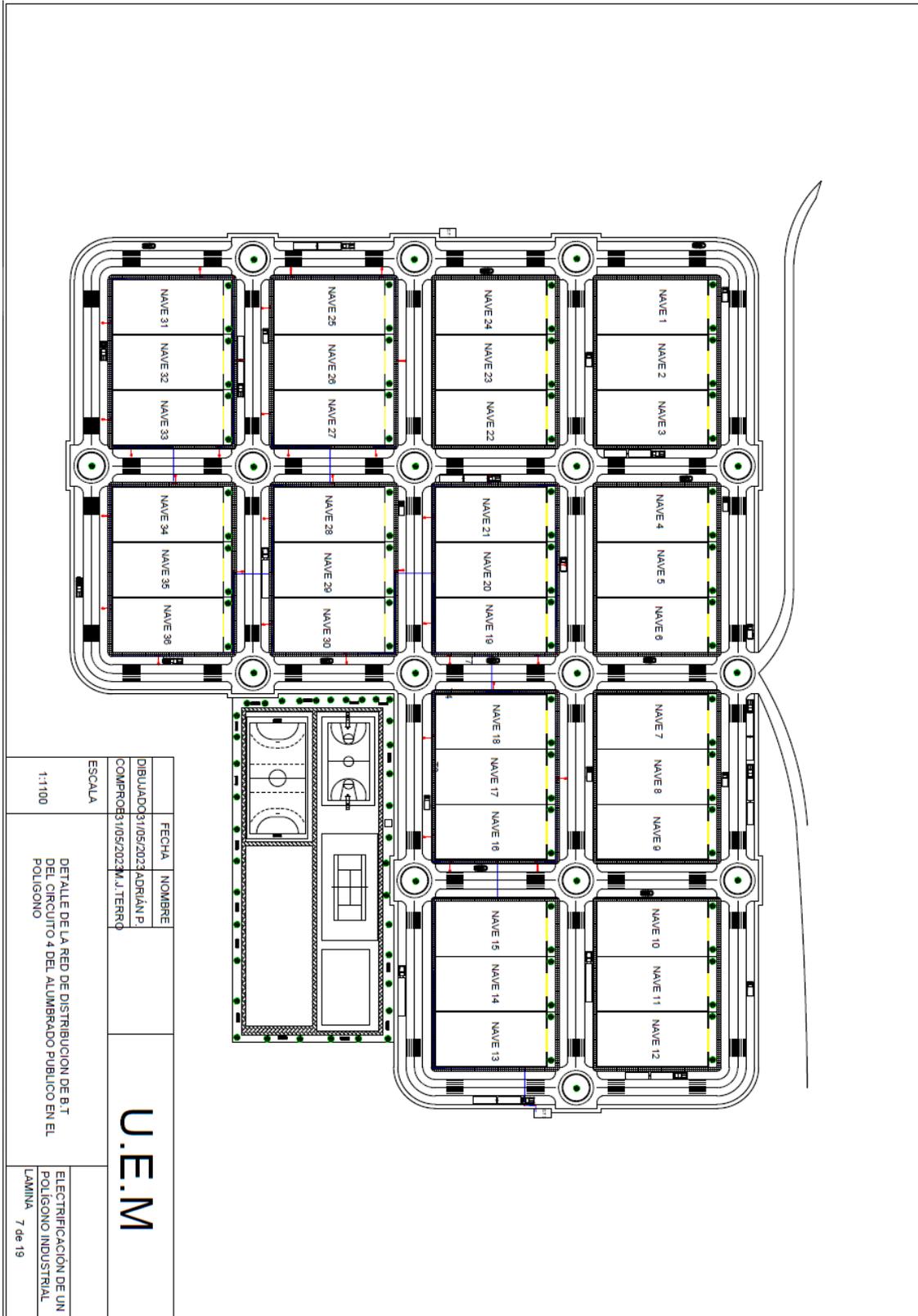
Plano 8-24. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 2 del alumbrado público.



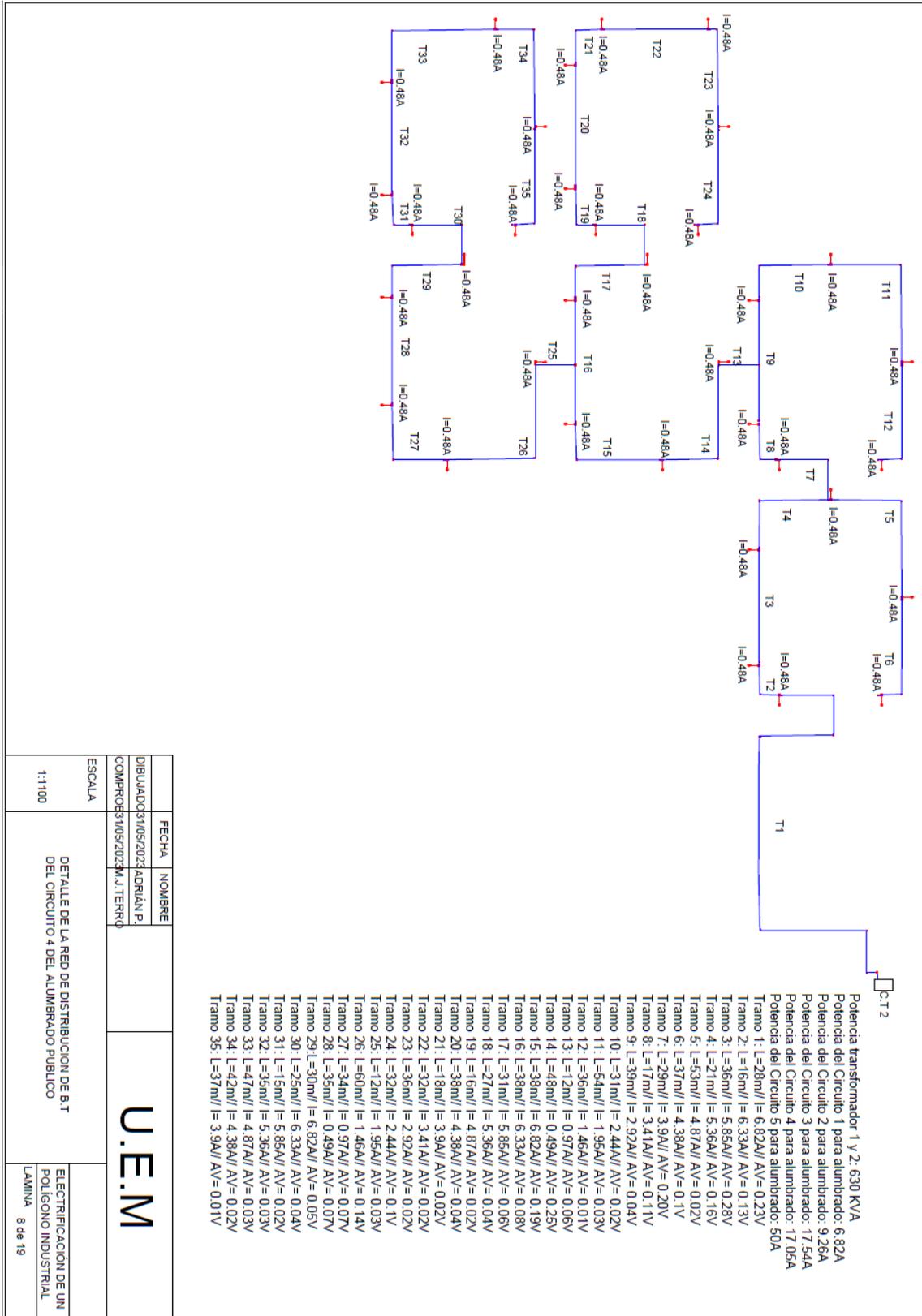
Plano 8-25. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 3 del alumbrado público en el polígono.



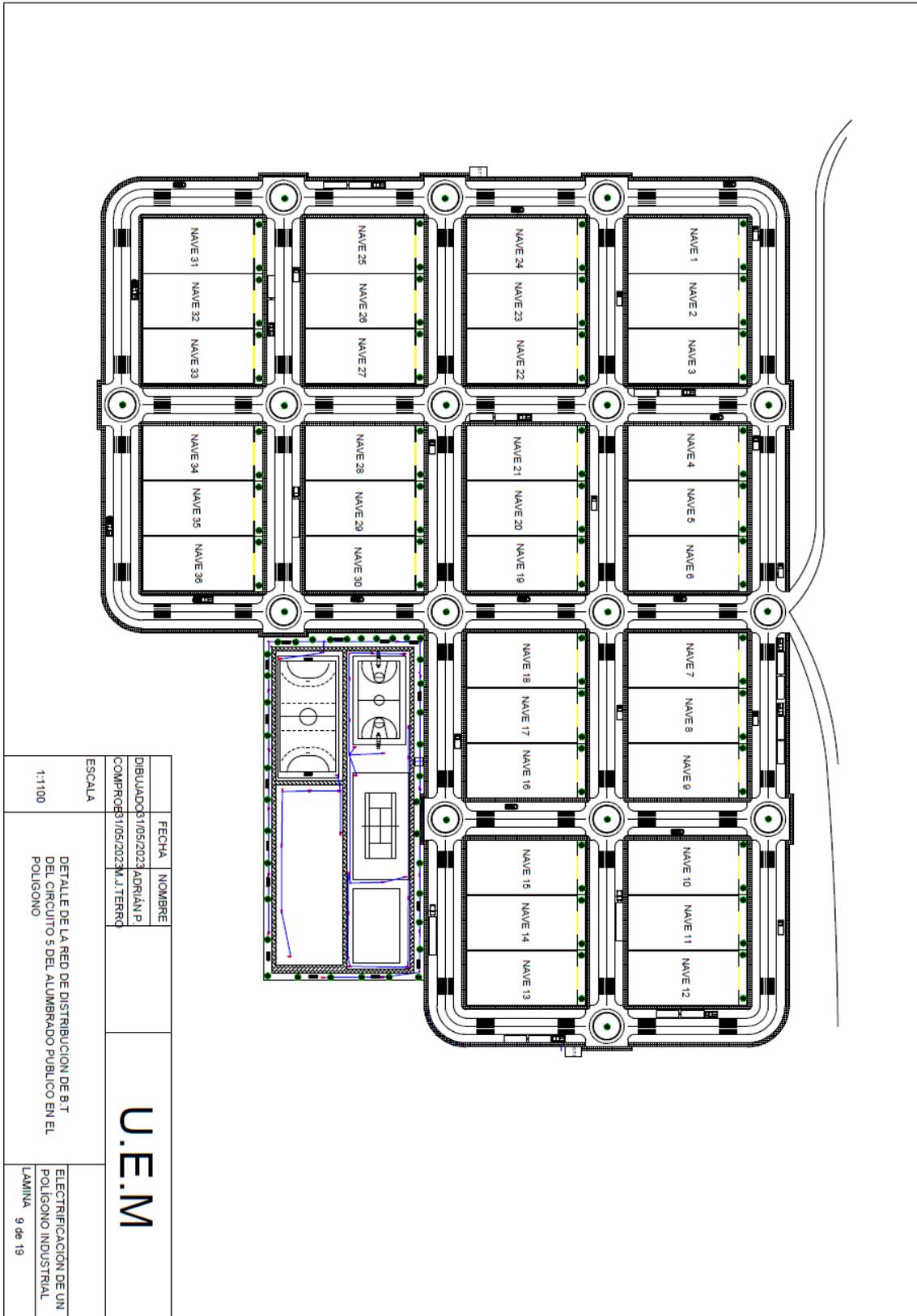
Plano 8-26. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 3 del alumbrado público.



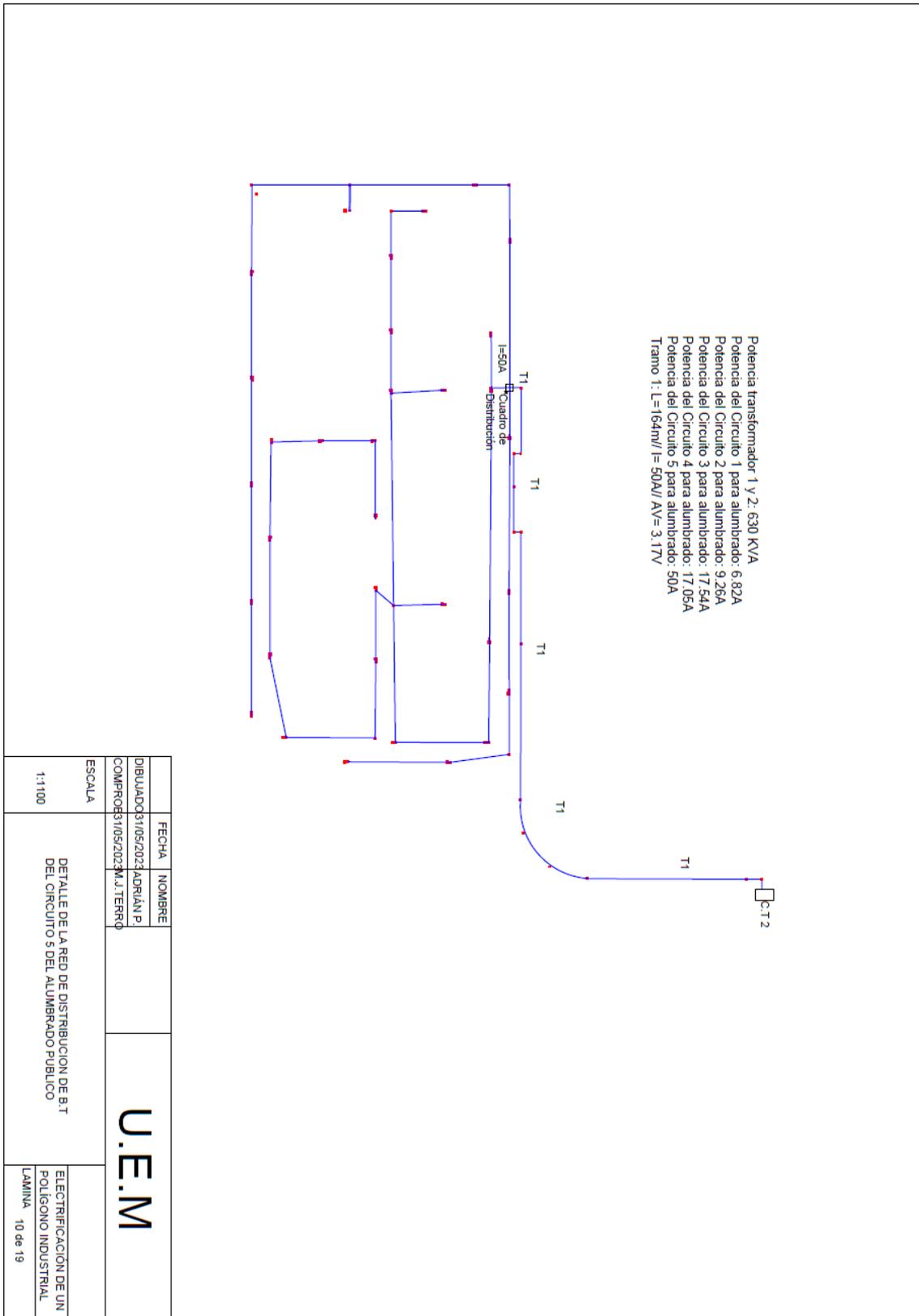
Plano 8-27. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 4 del alumbrado público en el polígono.



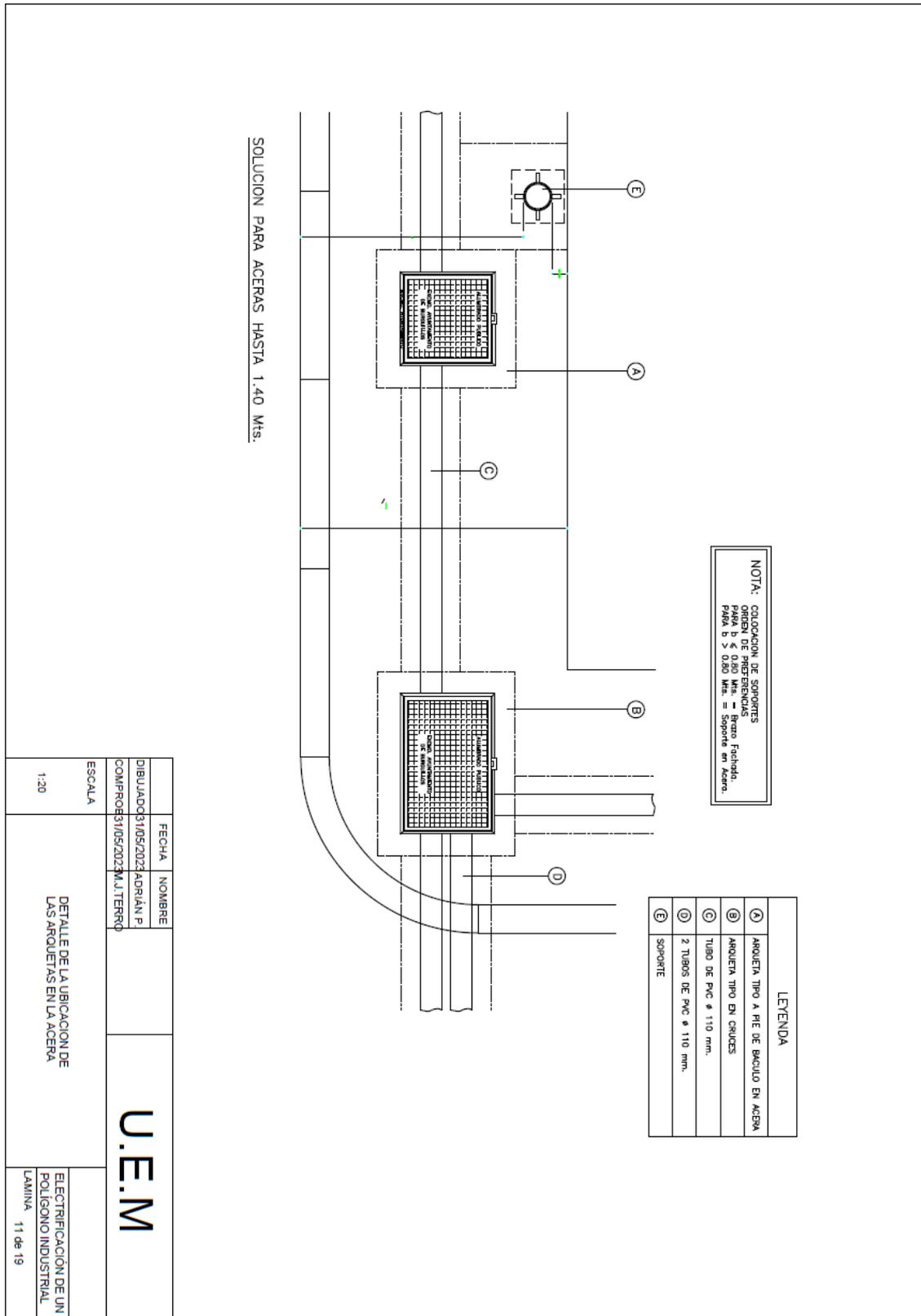
Plano 8-28. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 4 del alumbrado público.



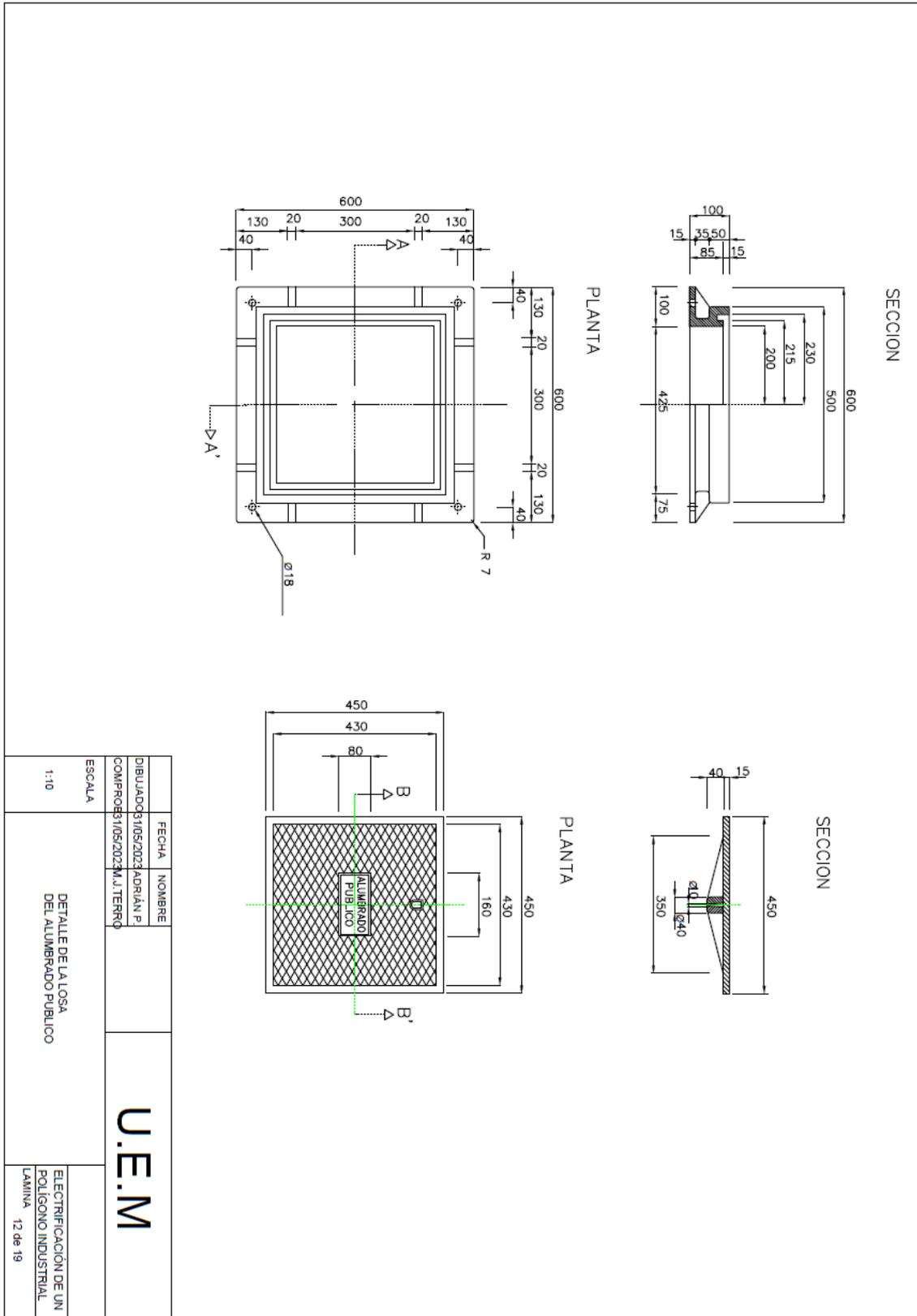
Plano 8-29. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 5 del alumbrado público en el polígono.



Plano 8-30. Plano de detalle de la red de distribución de B.T del circuito 5 del alumbrado público.

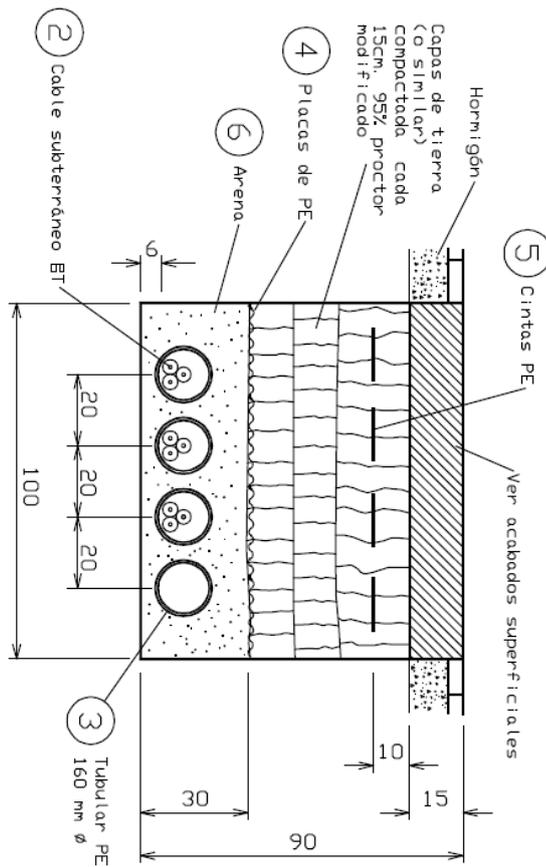


Plano 9.31. Plano de detalle de la ubicación de las arquetas en la acera.



Plano 8-32. Plano de detalle de la losa del alumbrado público.

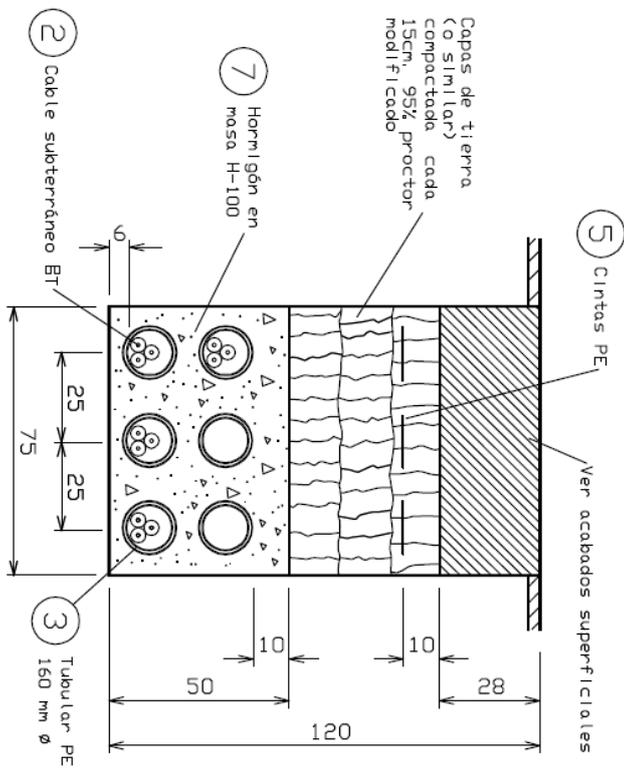
### 4 CIRCUITOS EN ACERA (TUBOS SECOS)



FECHA	NOMBRE	<b>U.E.M</b>
DIBUJADO 31/05/2023	ADRIÁN P	
COMPROBADO 31/05/2023	M. J. TERRAC	
ESCALA		
1:10		
DETALLE DE LA ZANJA EN LA ACERA		ELECTRIFICACIÓN DE UN POLÍGONO INDUSTRIAL
		LAMINA 13 de 19

Plano 8-33. Plano de detalle de la zanja en la acera.

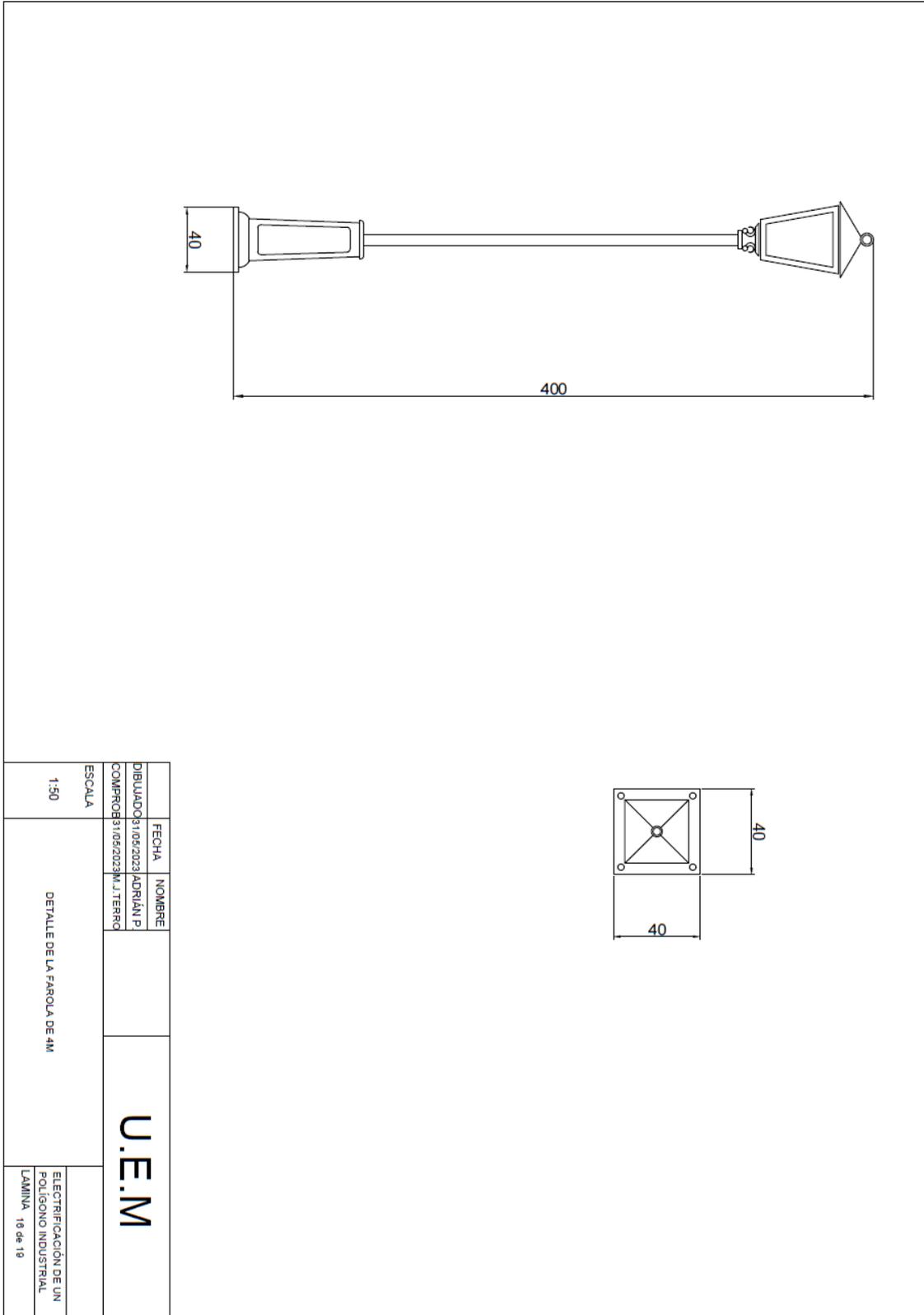
### 4 CIRCUITOS EN CALZADA (6 TUBOS HORMIGONADOS)



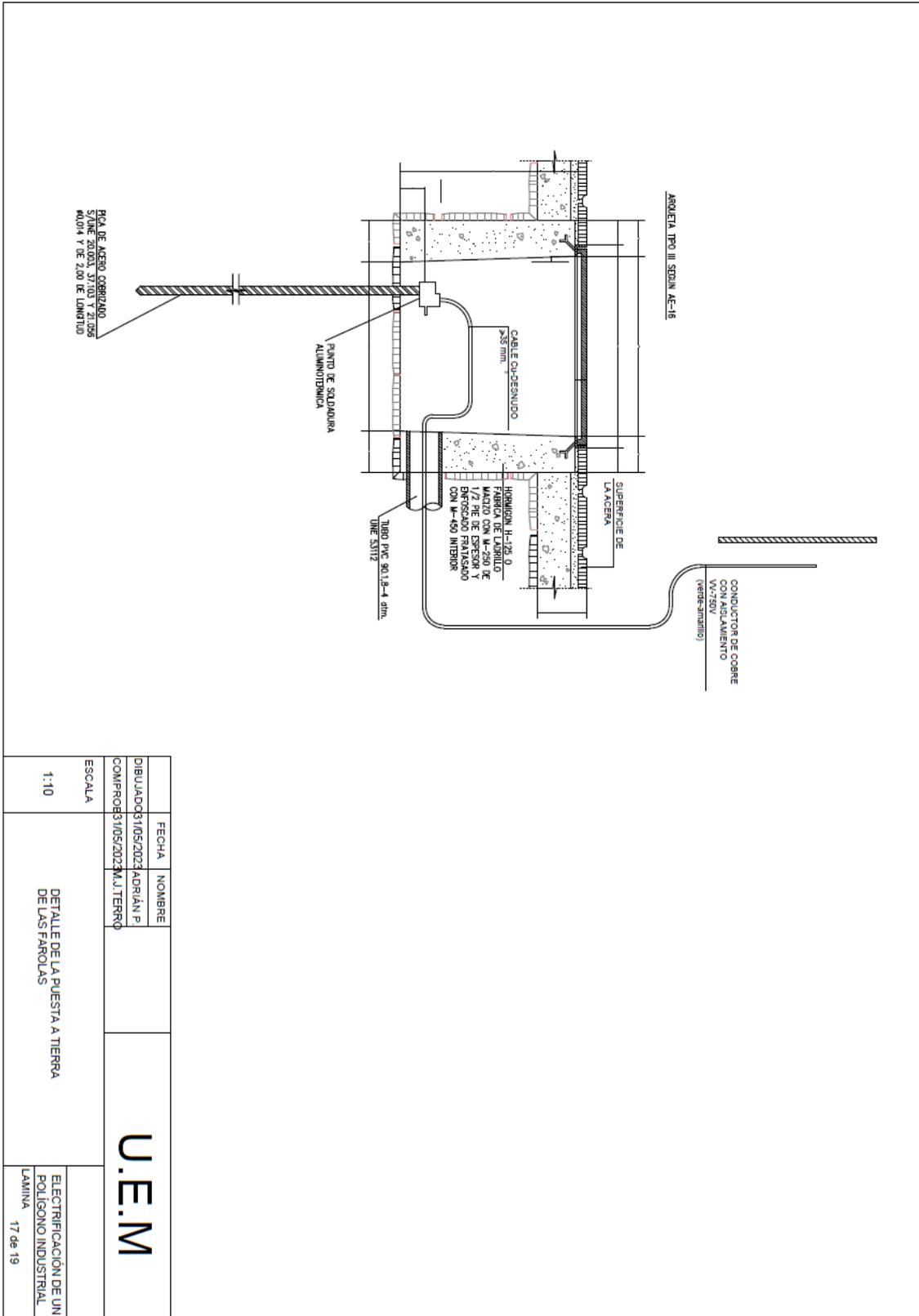
FECHA	NOMBRE	U.E.M	
DIBUJADO: 03/05/2023	ADRIÁN P.		
COMPROBADO: 03/05/2023	M.J. TERRO		
ESCALA		DETALLE DE LA ZANJA EN LA CALZADA	
1:10			
		ELECTRIFICACIÓN DE UN POLÍGONO INDUSTRIAL	
		LÁMINA 14 de 19	

Plano 8-34. Plano de detalle de la zanja en la calzada.

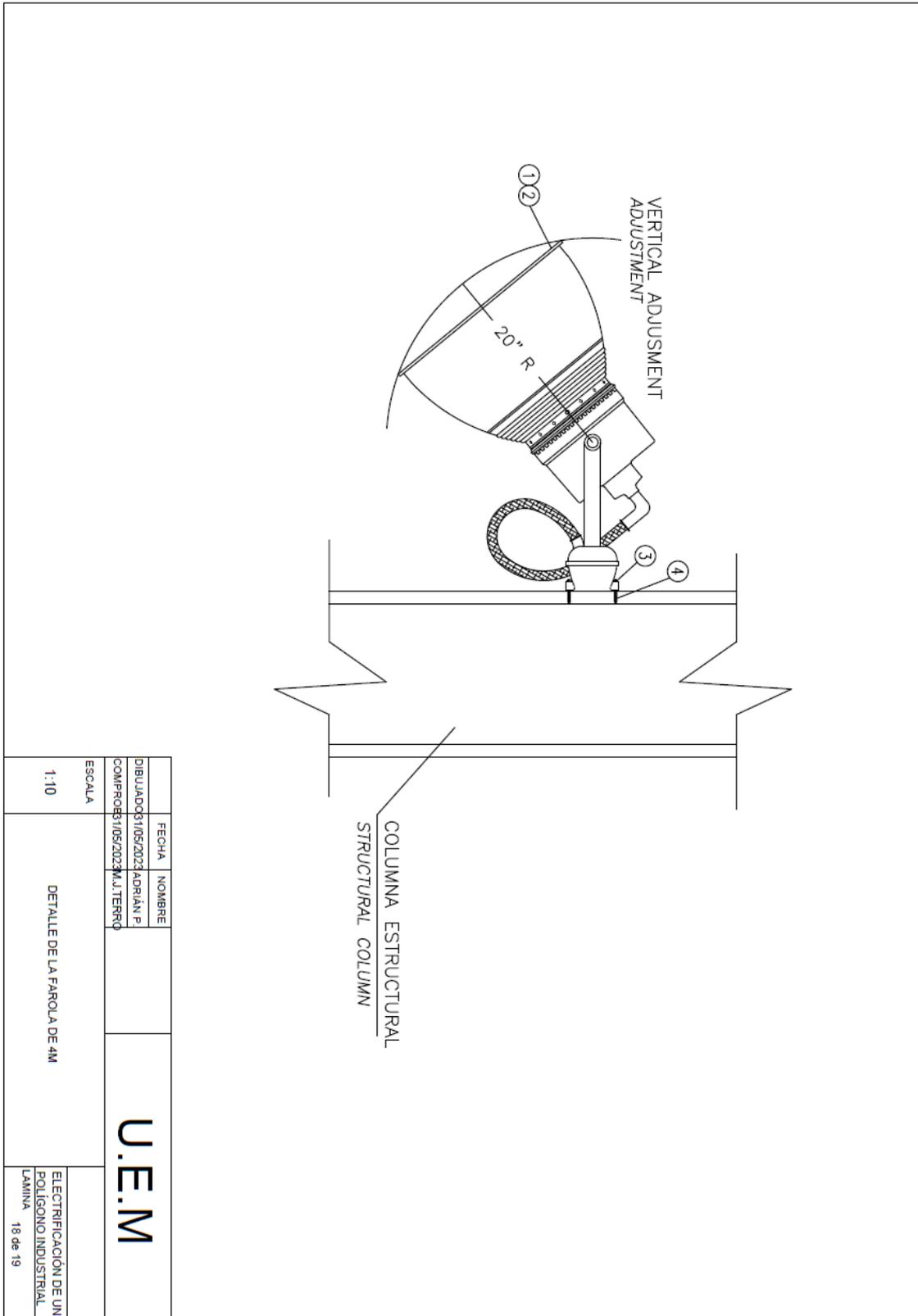




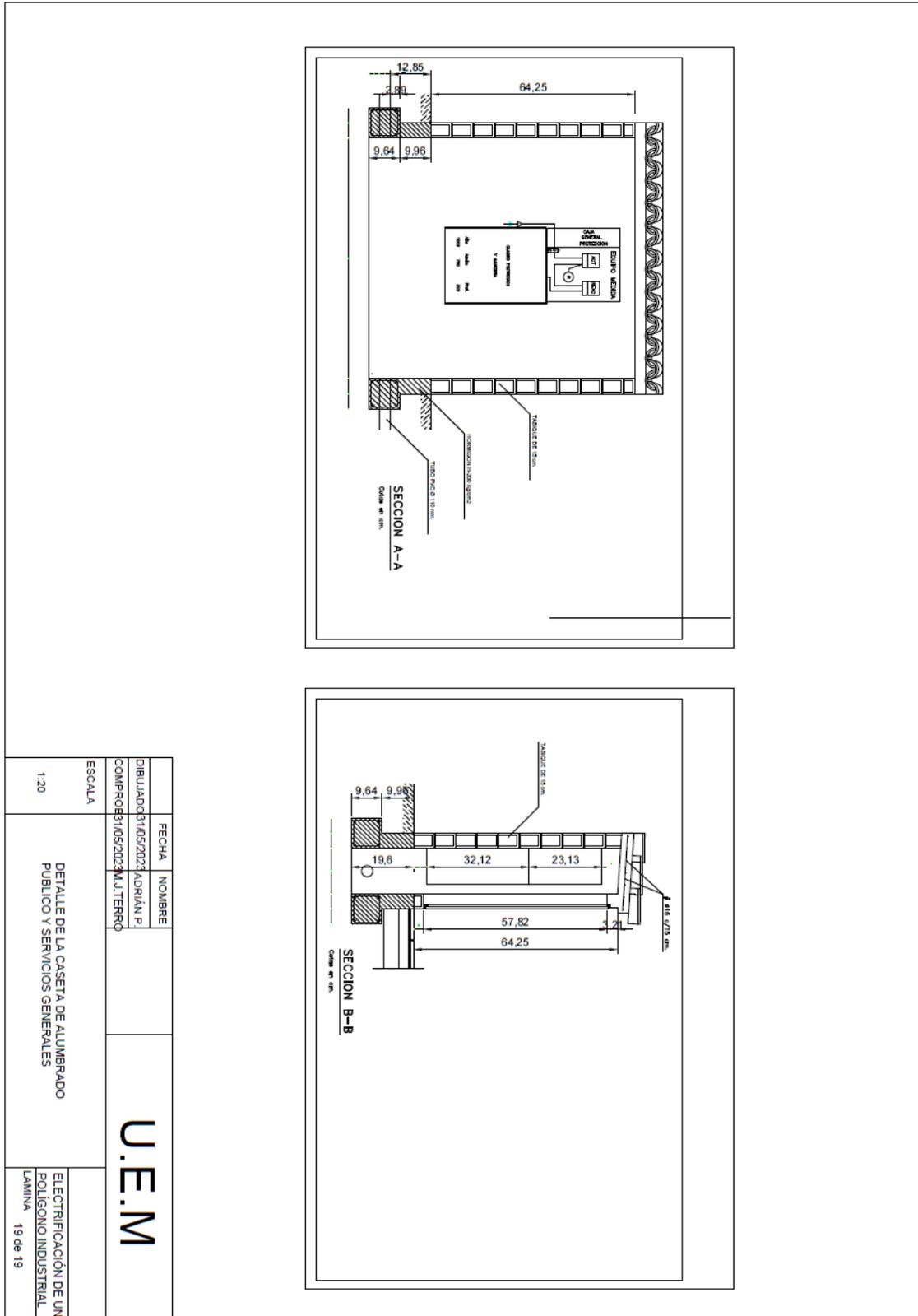
Plano 8-36. Plano de detalle de la farola de 4 metros.



Plano 8-37. Plano de detalle de la puesta a tierra de las farolas.

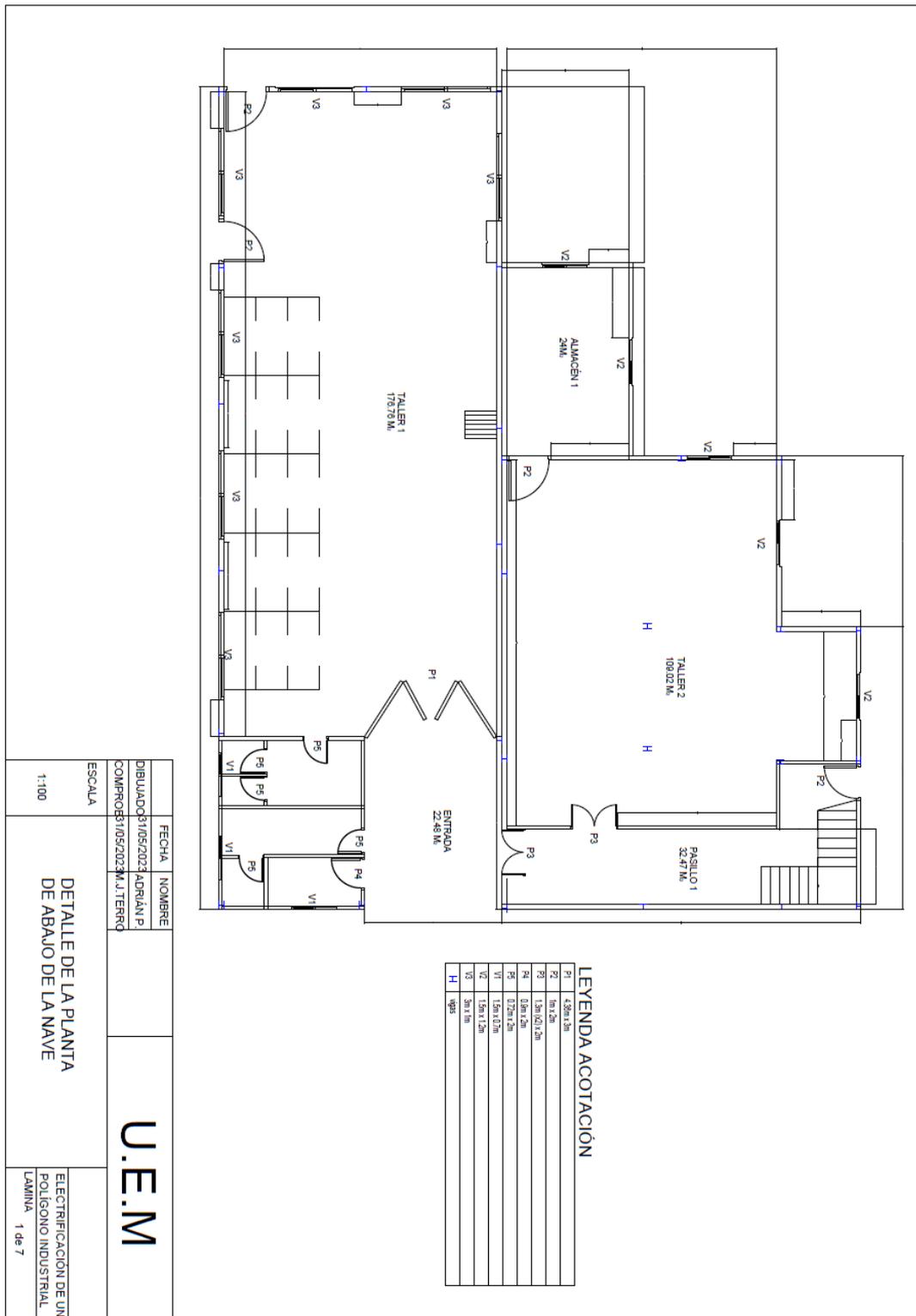


Plano 8-38. Plano de detalle de los focos de las pistas deportivas.

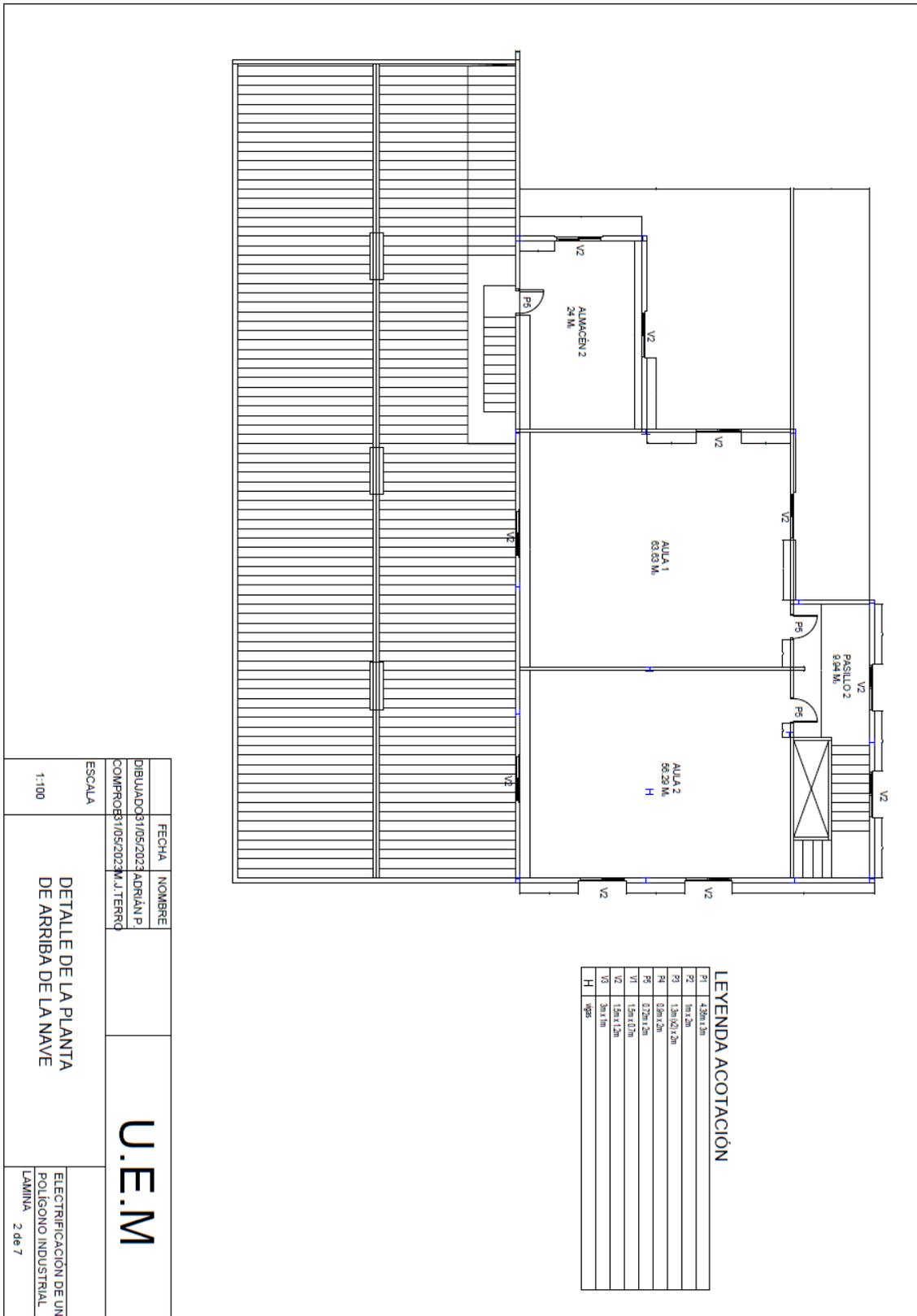


Plano 8-39. Plano de detalle de la caseta de alumbrado público y servicios generales.

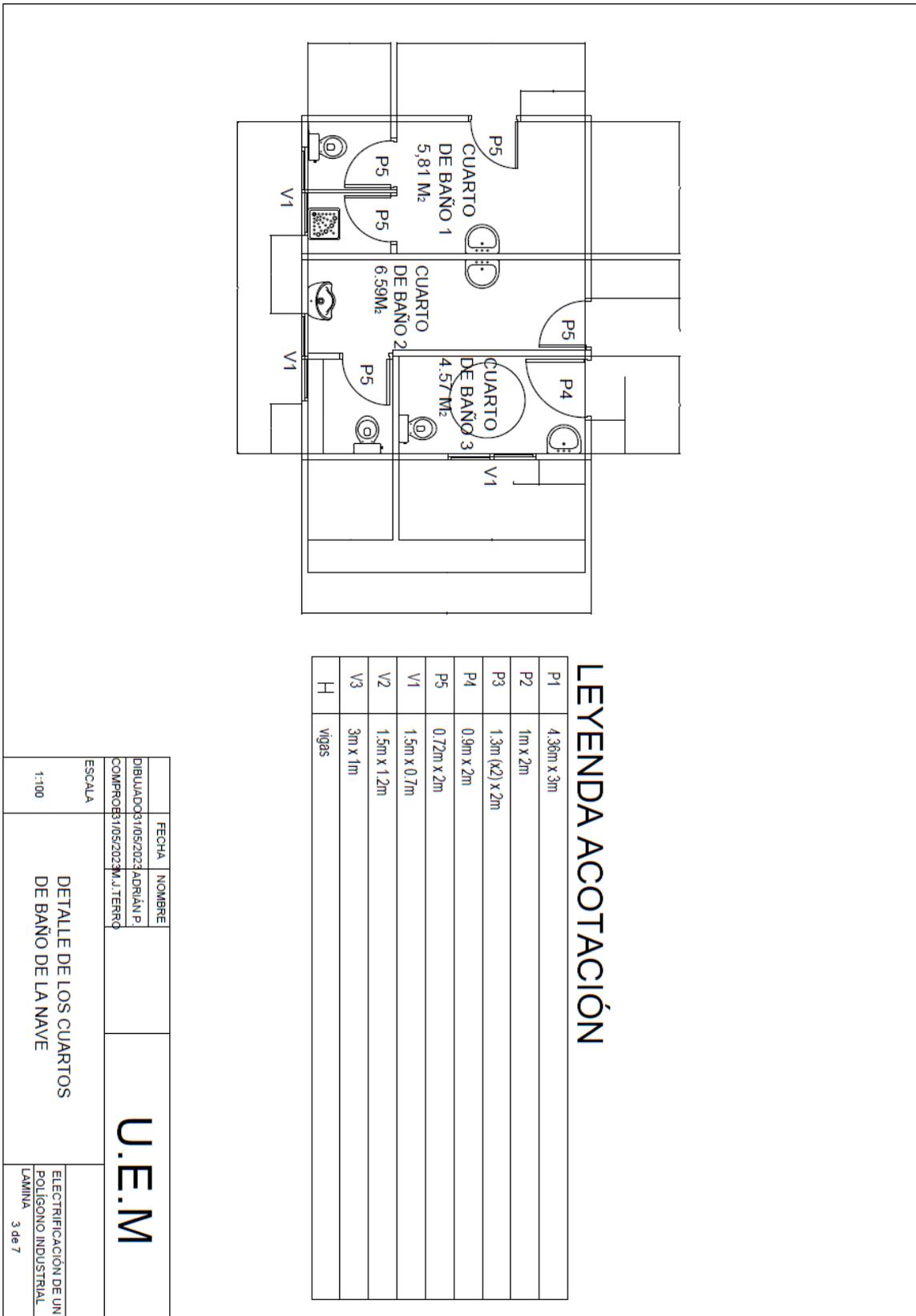
8.5 Planos del Diseño de la electrificación de una nave del polígono industrial.



Plano 8-40. Plano de detalle de la planta de debajo de la nave.



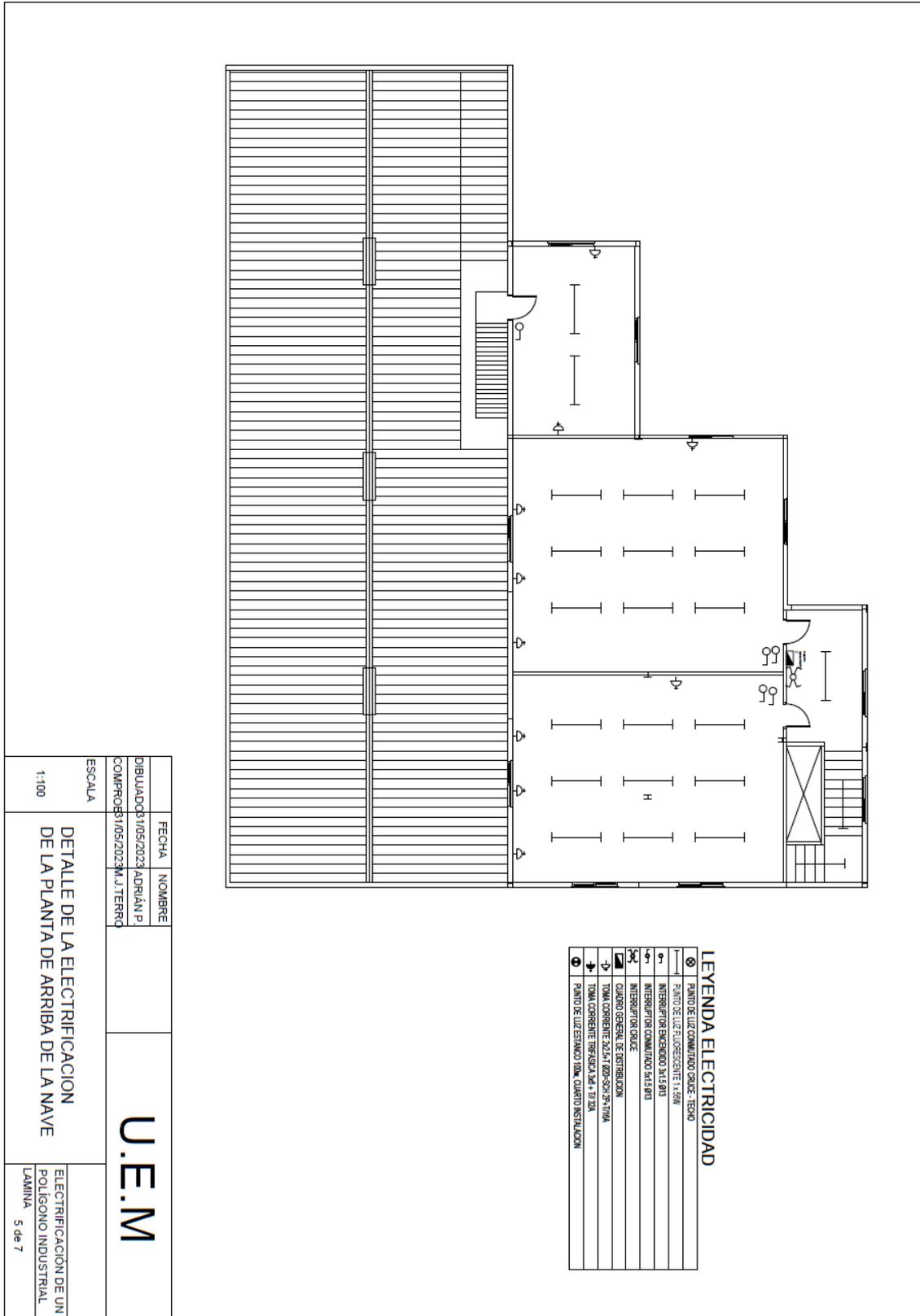
Plano 8-41. Plano de detalle de la planta de arriba de la nave.



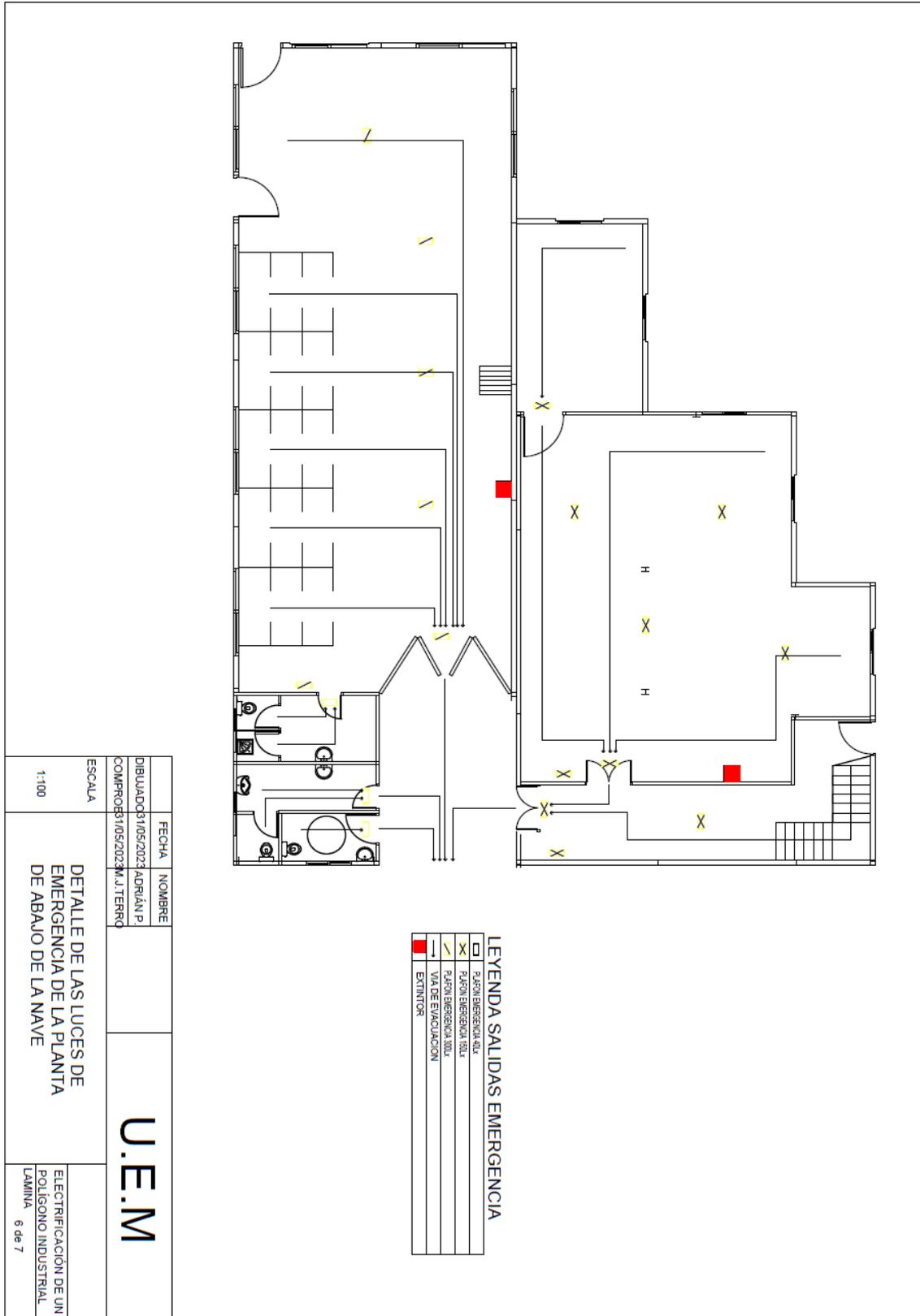
Plano 8-42. Plano de detalle de los cuartos de baño de la nave.



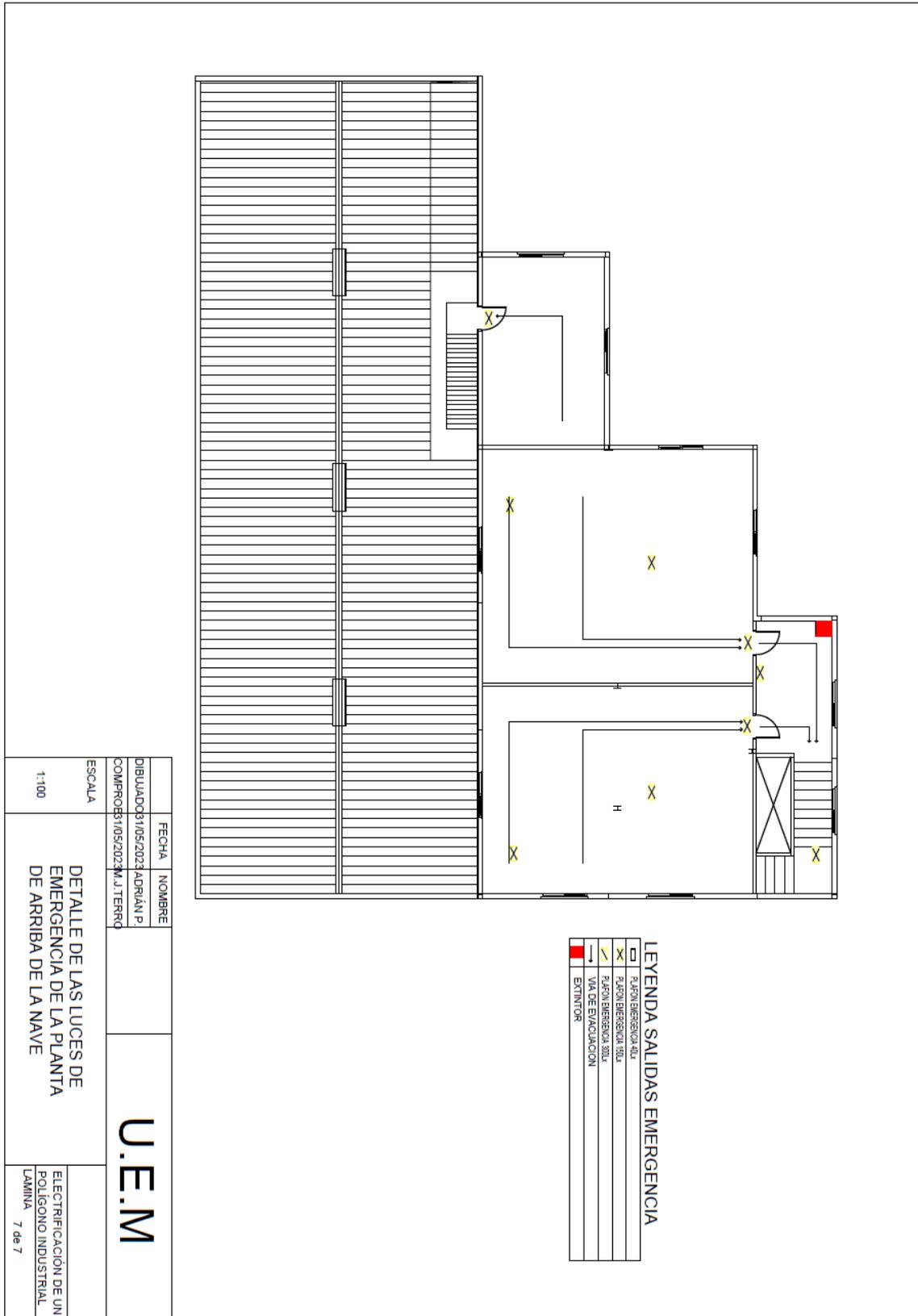
Plano 8-43. Plano de detalle de la electrificación de la planta de debajo de la nave.



Plano 8-44. Plano de detalle de la electrificación de la planta de arriba de la nave.



Plano 8-45. Plano de detalle de las luces de emergencia de la planta de debajo de la nave.



Plano 8-46. Plano de detalle de las luces de emergencia de la planta de arriba de la nave

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Código Técnico de la Edificación, DB HE sobre Ahorro de energía. [<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>]
- [2] Código Técnico de la Edificación, DB SI sobre Seguridad en caso de incendio. [<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SI/DBSI.pdf>]
- [3] Código Técnico de la Edificación, DB SU sobre Seguridad de utilización. [<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/SeguridadUtilizacionAccesibilidad.html>]
- [4] Código Técnico de la Edificación, DB-HR sobre Protección frente al ruido. [<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/ProteccionRuido.html>]
- [5] Gobierno de España. (1982). Real Decreto 3275/1982 de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. Boletín Oficial del Estado, núm. 291, de 4 de diciembre de 1982.
- [6] Gobierno de España. (1984). Orden de 18 de octubre de 1984 por la que se aprueban y actualizan las Instrucciones Técnicas Complementarias sobre dicho reglamento. Boletín Oficial del Estado, núm. 260, de 30 de octubre de 1984.
- [7] Gobierno de España. (1984). Orden de 6 de julio de 1984 por la que se aprueban y actualizan las Instrucciones Técnicas Complementarias sobre dicho reglamento. Boletín Oficial del Estado, núm. 173, de 20 de julio de 1984.
- [8] Gobierno de España. (1987). Orden de 27 de noviembre de 1987 por la que se aprueban y actualizan las Instrucciones Técnicas Complementarias sobre dicho reglamento. Boletín Oficial del Estado, núm. 291, de 5 de diciembre de 1987.
- [9] Instrucciones para Alumbrado Público Urbano editadas por la Gerencia de Urbanismo del Ministerio de la Vivienda en el año 1.965. [[https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_gt\\_ee\\_iluminacion\\_alumbrado\\_publico\\_9a40dc27.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_gt_ee_iluminacion_alumbrado_publico_9a40dc27.pdf)]
- [10] Ley 10/1996, de 18 de marzo sobre Expropiación Forzosa y sanciones en materia de instalaciones eléctricas y Reglamento para su aplicación, aprobado por Decreto 2619/1966 de 20 de octubre. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1966-3497>]
- [11] Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>]
- [12] Norma UNE-EN 60921 sobre Balastos para lámparas fluorescentes. [<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0036114>]
- [13] Norma UNE-EN 60923 sobre Balastos para lámparas de descarga, excluidas las fluorescentes. [<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0021923>]
- [14] Norma UNE-EN 60929 sobre Balastos electrónicos alimentados por p.a. para lámparas fluorescentes. [<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048362>]
- [15] Normalización Nacional. Normas UNE. [<https://www.une.org/>]
- [16] Normas particulares y de normalización de la Cía. Suministradora de Energía Eléctrica.

- [[https://www.edistribucion.com/content/dam/edistribucion/normasmateriales/GdINR\\_Z103\\_EPIInstalacionesPrivadasConsumidoresBT\\_v4.pdf](https://www.edistribucion.com/content/dam/edistribucion/normasmateriales/GdINR_Z103_EPIInstalacionesPrivadasConsumidoresBT_v4.pdf)]
- [17] Normas Técnicas para la accesibilidad y la eliminación de barreras arquitectónicas, urbanísticas y en el transporte. [<https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOJA-b-2015-90573-consolidado.pdf>]
- [18] Normas Tecnológicas de la Edificación NTE IEE – Alumbrado Exterior (B.O.E. 12.8.78). [[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1978-20935](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1978-20935)]
- [19] Normas Tecnológicas de la Edificación NTE IER. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1984-13866>]
- [20] Normas UNE 20.324 y UNE-EN 50.102 referentes a Cuadros de Protección, Medida y Control. [[https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/bt/ITC-BT-09\\_guia\\_E\\_jul\\_20\\_R2.pdf](https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/bt/ITC-BT-09_guia_E_jul_20_R2.pdf)]
- [21] Normas UNE-EN 60.598-2-3 y UNE-EN 60.598-2-5 referentes a luminarias y proyectores para alumbrado exterior. [[https://www.aserluz.org/wp-content/uploads/2016/03/UNE-EN\\_60598-12005.pdf](https://www.aserluz.org/wp-content/uploads/2016/03/UNE-EN_60598-12005.pdf)]
- [22] Orden de 10 de marzo de 2000, modificando ITC MIE RAT en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-5737>]
- [23] Orden de 10 de marzo de 2000, modificando ITC MIE RAT en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2000-5737>]
- [24] Orden de 16 de mayo de 1989, que contiene las especificaciones técnicas sobre columnas y báculos (B.O.E. de 15-7-89). [[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1989-16881](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1989-16881)]
- [25] Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-17824>]
- [26] Real Decreto 1627/1997 de 24 de octubre de 1.997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-22614>]
- [27] 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>]
- [28] 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 ITC. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-5269>]
- [29] Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias. Boletín Oficial del Estado, núm. 68, de 19 de marzo de 2008, páginas 16986 a 17023. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-5116>](<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-5116>).
- [30] Real Decreto 263/2008, de 22 de febrero, por el que se establecen medidas de carácter

- técnico en líneas eléctricas de alta tensión, con objeto de proteger la avifauna. Boletín Oficial del Estado, núm. 48, de 25 de febrero de 2008, páginas 10156 a 10162. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-3162>](<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-3162>)
- [31] Real Decreto 2642/1985 de 18 de diciembre (B.O.E. de 24-1-86) sobre Homologación de columnas y báculos. [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1986-1959>]
- [32] Real Decreto 3275/1982 de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, así como las Ordenes de 6 de julio de 1984, de 18 de octubre de 1984 y de 27 de noviembre de 1987, por las que se aprueban y actualizan las Instrucciones Técnicas Complementarias sobre dicho reglamento. [<https://www.boe.es/buscar/pdf/1982/BOE-A-1982-31526-consolidado.pdf>]
- [33] Real Decreto 401/1989 de 14 de abril, por el que se modifican determinados artículos del Real Decreto anterior (B.O.E. de 26-4-89). [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1989-9355>]
- [34] Real Decreto 485/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8668>]
- [35] Real Decreto 486/1997 de 14 de abril de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>]
- [36] Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo de 1997, sobre Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-12735>]
- [37] Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de Alumbrado Exterior e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre de 2008). [<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-18634>]
- [38] Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre) [<https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/seguridad-incendios/Paginas/seguridad-contra-incendios.aspx>]
- [39] Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002). [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-18099>]