



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN PARA INDUSTRIA DE MEACANIZADO DE 1500 m<sup>2</sup>**

AUTOR: Alejandro Garay Portolés

TUTOR: Pablo Sebastián Ferrer Gisbert

**Curso Académico: 2018-19**

**ÍNDICE:**

RESUMEN.....	4
MEMORIA.....	5
1. MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES.....	5
2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	5
3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	6
4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INDUSTRIAL.....	6
5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y MAQUINARÍA.....	7
6. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN.....	13
6.1 INSTALACIÓN DE LOS CUADROS ELÉCTRICOS.....	14
6.2 ALUMBRADO.....	15
6.3 DISEÑO DE LOS CONDUCTORES.....	29
6.3.1 MÉTODO DE INSTALACIÓN.....	29
6.3.2 MATERIAL CONDUCTOR.....	30
6.3.3 MATERIAL AISLANTE.....	30
6.3.4 DIMENSIONAMIENTO.....	32
6.4 PROTECCIONES.....	37
6.4.1 SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	37
6.4.2 INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.....	38
6.4.3 PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	41
6.4.4 PROTECCIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES.....	44
6.4.5 PROTECCIÓN FRENTE A SOBRETENSIONES.....	54
6.5 COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA.....	56

7. CONCLUSIÓN.....	59
8. PROGRAMAS UTILIZADOS.....	59
9. REFERENCIAS.....	60
CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	61
1. DISEÑO DE LOS CONDUCTORES.....	61
2. PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DEL EDIFICIO INDUSTRIAL.....	65
3. CÁLCULOS FRENTE A SOBREINTENSIDADES.....	66
PRESUPUESTO GENERAL DE LA INSTALACIÓN.....	70
1. DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA.....	70
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	74
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	74
4. PRESUPUESTO FINAL.....	74
PLIEGO DE CONDICIONES.....	75
PLANOS.....	76

**RESUMEN:**

En las siguientes páginas se presentan una serie de documentos, que se han realizado para el diseño y el cálculo del alumbrado, de la instalación eléctrica en baja tensión de una nave industrial dedicada a la fabricación de piezas metálicas de distintos tipos. También se incluirá la descripción del proceso productivo y la maquinaria correspondiente.

El diseño se ha realizado de acuerdo con lo enunciado en el Reglamento electrotécnico para Baja tensión (REBT) según el Real Decreto 842/2002, hasta su última revisión, vigente desde el 07 de abril de 2019. Puesto que todos los apartados contenidos en este reglamento no son de utilidad para el presente proyecto, se mencionarán los artículos que se han ido utilizando conforme se desarrolle el proyecto.

## MEMORIA

### 1. MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES:

El proyecto que se presenta a continuación “Instalación eléctrica en baja tensión para una industria de mecanizado” está enmarcado en el trabajo académico final donde debe quedar constancia los conocimientos, habilidades y aptitudes que el alumno ha adquirido a lo largo del estudio de su carrera, en este caso las competencias adquiridas dentro de la titulación Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Aunque sea un tema muy estudiado en la actualidad, el principal motivo por el que se ha escogido un proyecto de instalación eléctrica, es la posibilidad de una futura remodelación, total o parcial, en la instalación eléctrica de la empresa familiar “Talleres Portolés S.L” fundada en 1975.

Otro motivo por el que se ha elegido el presente proyecto es el interés de poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del grado. Especialmente en la asignatura de Tecnología Eléctrica, con el objetivo de tener un mayor acercamiento a la realidad en lo que se refiere al ámbito de las instalaciones eléctricas y desarrollar aptitudes que serán necesarias en un futuro como Ingeniero Industrial.

### 2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO:

El objetivo del presente proyecto es el diseño de los elementos que conforman la instalación eléctrica de baja tensión necesarios para el funcionamiento de una nave industrial de 1500 m<sup>2</sup> de superficie construida.

Se tendrán en cuenta los elementos y dispositivos necesarios desde la salida del centro de transformación, que marca el inicio de la instalación eléctrica en baja tensión, hasta los puntos donde se encuentran situados los receptores eléctricos en el edificio industrial. Sin olvidar la instalación de alumbrado ni las medidas de seguridad (dispositivos de protección) que deban disponer. Además, se incluye la descripción del proceso productivo y la maquinaria utilizada para llevar a cabo la labor de la empresa.

### 3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO:

La localización de la nave industrial es conocida, se encuentra en el polígono L'Horteta II, en la población de Rafelbuñol. Se trata de 3 naves contiguas con una superficie construida de 1500 m<sup>2</sup>. Su ubicación en el polígono es idónea para la carga y descarga de la mercancía, ya que la entrada y salida del material se efectúa sin obstaculizar el paso de otros vehículos, por el hecho de tratarse de una calle amplia y con gran capacidad de maniobra.

La autovía más cercana al taller se encuentra a tan sólo 5 minutos de este, se trata de la V-21, teniendo también acceso casi inmediato a la CV-300.

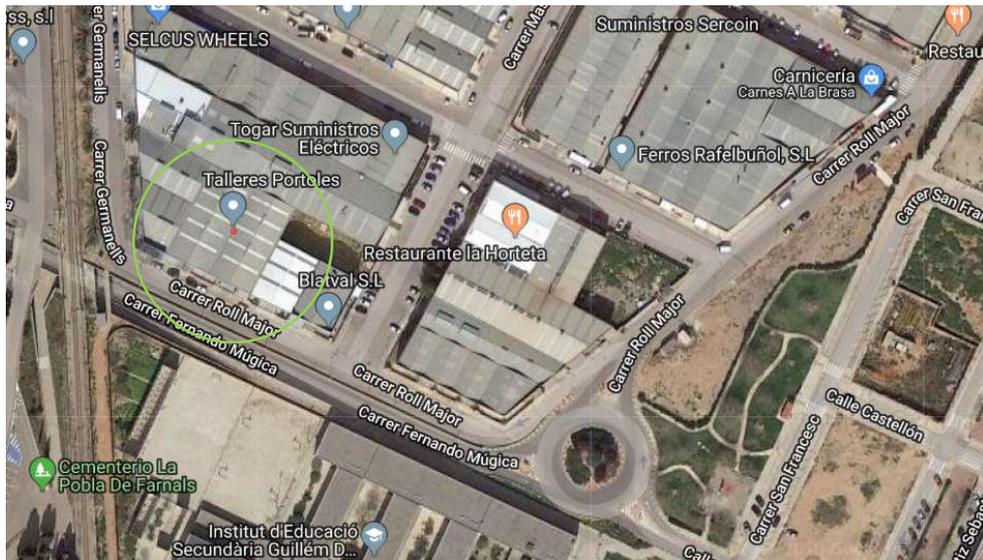


Figura nº1: ubicación del edificio industrial en el polígono L'Horteta II  
(Fuente: Google Maps)

### 4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INDUSTRIAL:

El edificio se trata de una planta industrial destinada a la fabricación de piezas metálicas de todo tipo. Consta de tres naves contiguas a dos aguas, dos de ellas se encuentran conectadas de manera total (denominadas conjuntamente como nave1) y la otra, la de menor tamaño (nave 2), se encuentra separada por un tabique. Esta última (nave2) se utiliza como almacén, para guardar piezas acabadas y listas para enviar a los clientes, para ubicar matrices y para albergar el material de entrada para su posterior tratamiento. Se trata de la zona de entrada y salida de material. En ella se encuentra también un local destinado a vestuarios, aseos, marcado láser...

En las otras naves se encuentran dos zonas diferenciadas, una destinada a oficinas, aseos y salas de reuniones, y la otra conforma el núcleo central del edificio industrial, en la cual se sitúa la maquinaria destinada al proceso de fabricación.

El edificio tiene una superficie de 1500 m<sup>2</sup>, y está comprendido por las siguientes zonas:

- Zona de taller (nave 1, planta 1)
- Local destinado a oficinas (nave 1, planta 1)
- Sala de reuniones y oficinas (nave 1, planta 2)
- Aseos (nave 1, planta 1 y 2)
- Almacén (nave 2, planta 1)
- Local de marcado láser (nave 2, planta 1)
- Local destinado a vestuarios y aseos (nave 2, planta 2)

La cumbrera de la nave a dos aguas tiene una altura de 9,75 m, siendo la altura de los pilares de 7,5m y los locales destinados a oficinas y vestuarios constan de dos plantas de 3m cada una de ellas.

Aparte de esto cabe mencionar que en la totalidad del edificio industrial existen tres entradas/salidas, cuya apertura da a la misma calle.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y MAQUINARÍA

En este apartado se va a explicar la forma en que trabaja la empresa. De una manera más general se comentarán cuáles son los servicios que ofrece y las maquinarias de las que dispone. Además, se explicará detalladamente cuál es el proceso que sigue la fabricación de un lote de piezas (concretamente accesorios para baño), desde la llegada del material y los procesos por los que pasa este, hasta el empaquetamiento y salida del producto terminado.

Talleres Portolés S.L es una empresa que se dedica a la fabricación de piezas metálicas de todo tipo desde 1975. Los sectores en los que trabaja actualmente son:

- Accesorios para baños
- Saneamientos
- Iluminación
- Muebles y espejos

Los servicios de los que dispone la empresa son los siguientes:

- Taller de Matricería
- Corte y Embutición
- Diseño de planos y prototipos
- Soldadura
- Estampaciones metálicas
- Punzonado y plegado CNC
- Transporte de mercancías
- Marcado láser

### Taller de matricería:

La empresa dispone de un taller de matricería propio, que está destinado principalmente a la fabricación de matrices a medida, en función de las necesidades del cliente, para satisfacer pedidos de grandes cantidades de piezas. Además, los bancos de trabajo están

preparados para la fabricación, la reparación y el mantenimiento de las matrices y su utillaje. En la zona de matricería encontramos diferentes maquinas, como una fresadora, torno, rectificadora y una máquina de electroerosión.

#### Diseño de planos y de prototipos

Se fabrican piezas a medida para cada cliente, pensando siempre en su idea inicial y comprobando la dificultad de estas. Dentro de las posibilidades de la empresa, se llevan adelante o se modifican las ideas iniciales. Según qué tipo de piezas requiera el cliente, se elaboran planos para la fabricación de prototipos, con el objetivo de que el cliente pueda observar el acabado que tendrá su pieza.

#### Soldadura:

Este servicio está destinado al montaje de conjuntos y subconjuntos de piezas:

Los distintos servicios que ofrece en referencia a la soldadura son:

- Soldadura de puntos por resistencia eléctrica
- Soldadura de pernos por resistencia eléctrica
- Soldadura TIG

#### Punzonado y plegado CNC:

Mediante la punzonadora CNC se cortan piezas que necesitan más detalle a la hora de fabricarlas. Los requerimientos de las piezas que obligan al empleo de esta máquina para su elaboración son, la necesidad de:

- Pequeñas embuticiones
- Celosías
- Refuerzos de roscas
- Alojamiento de tornillos
- Troquelados
- Grandes cantidades de taladros

Destacar también que este trabajo está indicado para series largas y cortas con diferentes espesores y materiales, como el hierro, latón, acero inoxidable...

#### Transporte de mercancías:

La empresa dispone de su propia red de distribución, para piezas acabadas y listas para el envío. Esto supone una ventaja para sus clientes ya que se facilita la entrega del producto acabado sin la necesidad de intermediarios.

#### Marcado láser:

Disponen de una máquina de grabado láser, para aquellos clientes que tengan la necesidad de poner su sello en las piezas que luego distribuirán, ya sean logos de

empresas, nombres o cualquier tipo de dibujo. Está capacitada para marcar sobre distintos tipos de materiales, como plástico, latón, aluminio, acero inoxidable...

El sistema de producción de esta empresa, como en muchas otras, se encuentra dentro de la producción por lotes, uno de los métodos más comunes en las empresas manufactureras cuya característica principal es la producción de cantidades limitadas de producto. Este proceso se le conoce también como producción discontinua, ya que su proceso no es permanente. Esto significa que a cada lote de piezas se le efectúan una serie de operaciones hasta su acabado final. Así pues, las diferentes etapas en la producción mantienen a la espera el inicio de otras posteriores.

### Proceso de fabricación: “rejillas para plato de ducha”

Cómo es lógico, antes del proceso de fabricación, tiene lugar el contacto del cliente con la empresa, en el cuál se especifican todos los aspectos en relación a la pieza que desean. El cliente aporta el plano de la pieza y esta, es analizada por el profesional a cargo del taller de matricería, quién establece si es viable elaborar una matriz para ella o si por el contrario requiere alguna modificación. En caso de que se requiera alguna modificación, el plano se traslada al técnico correspondiente, quién busca la mejor solución para poder rediseñar la pieza lo más parecida posible a la demanda del cliente. El plano modificado se le traslada al cliente, quien decide si seguir o no adelante con el pedido. El oficial de matricería elabora la matriz o matrices necesarias para dicha pieza y entonces comienza el proceso de fabricación.

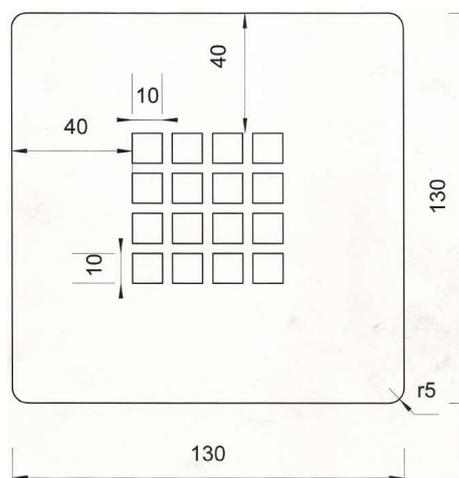


Figura nº2: Ejemplo del plano de un modelo de rejilla para el plato de ducha

#### 1. Material inicial:

El material empleado es acero inoxidable satinado. Se encargan planchas metálicas de 1,5 mm de espesor, de dimensiones 1250x3000mm o 1000x2000mm. En cuanto a la calidad del acero inoxidable, trabajan con dos niveles de calidad, AISI 304 (precio = 2,5 euros/kg) y AISI 316 (precio = 3,65 euros/kg). Las planchas de acero vienen plastificadas por una de las caras, para

no alterar su acabado en los siguientes procesos de fabricación. Los lotes de planchas son inspeccionados con el objetivo de comprobar su calidad.



Figura nº3: láminas de acero inoxidable

## 2. Cizalla hidráulica

El material es trasladado en un primer momento hasta la zona donde se encuentra la cizalla o guillotina (Cizalla hidráulica MG QC11Y 5,5 KW). Las planchas de acero se seccionan en partes más pequeñas. Estas partes dependen del tamaño que vaya a tener la pieza, si seguimos el ejemplo de la pieza anterior (figura nº2), se realizan cortes de 135mm de ancho (5mm más que el tamaño de la pieza) a lo largo de los 3000 o 2000 mm de las planchas iniciales, dependiendo de cuál se emplee.

## 3. Zona de prensado

Las planchas ya cortadas pasan ahora por distintos procesos en las prensas que dispone el taller. El material sobrante es almacenado en contenedores de chatarra para su posterior venta. Las prensas utilizadas son las siguientes:

Prensa MATE 100t JL21-100: con la matriz de corte apropiada se elaboran las piezas de tamaño 130x130mm.



Figura nº4: pieza base 130x130mm.



Figura nº5: parte inferior de la matriz

Prensa 60t GUILLEN 2PE60REN 5,5 CV: en ella se elaboran los agujeros interiores de las piezas, dependiendo del diseño se utiliza una matriz de corte u otra.

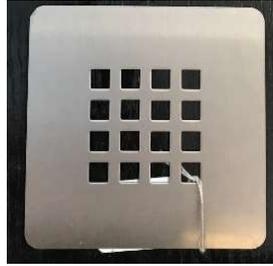


Figura nº6: pieza agujereada

Prensa 20 t MIOS T20FV 1,5 kW: las piezas pasan por un proceso de aplanado, para corregir las irregularidades que se hayan podido formar en los anteriores procesos.

4. Tratamiento de lijado, cintado o desbarbado:

Máquina lijadora RB-330-26 15,15 kW: las piezas se depositan en el interior de esta máquina con el objetivo de eliminar las superficies cortantes que generalmente se forman al pasar por las matrices de corte.

5. “Pelado”, marcado, embolsado y empaquetado de piezas:

Llegados a este punto del proceso la empresa ofrece distintas posibilidades para entregar el producto acabado. La primera de ellas sería el embolsado y empaquetado directo en cajas. La segunda se trata del pelado, embolsado y empaquetado en cajas. Y la última opción sería pelar, marcar, embolsar y empaquetar las piezas. A continuación, se explican los diferentes procesos:

- Pelado de piezas: en este paso, el plástico protector de las piezas es retirado de su superficie, con el objetivo de preparar la pieza para el marcado láser, o para ser embolsada y empaquetada.
- Marcado láser: se utiliza la marcadora láser SPEEDMARKER, proceso que ya se explico anteriormente.



Figura nº7: Marcadora láser SPEEDMARKER

- Embolsado: proceso por el cuál las piezas una vez peladas y marcadas se introducen en bolsas para conservar su acabado final.
- Empaquetado: es el último paso del proceso. Las piezas una vez han sido introducidas en bolsas, se disponen en grupos de 75 piezas y son empaquetadas en cajas de 12kg de peso.

6. Otros procesos:

Cuando el producto está acabado y empaquetado se procede a la entrega. El material que sea ido eliminando (acero inoxidable) durante los procesos de fabricación hasta la conformación del producto terminado se conserva en contenedores para su posterior venta (precio de la chatarra de acero inoxidable 850 €/t).

Por último, mencionar que los procesos de transporte de piezas entre una máquina y otra se efectúan mediante el empleo de una máquina FENWICK.

## 6. INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN

La nave industrial está alimentada por medio de un centro de transformación situado fuera del edificio. Se encuentra ubicado en el polígono industrial de donde procede la nave (polígono L'Horteta II) y tiene una relación de transformación de 20 KV /400 V. Este centro de transformación está alimentado por una red de alta tensión ubicada también en el polígono.

Los datos de partida para el diseño de la instalación en baja tensión se muestran a continuación. Se trata de una serie de receptores eléctricos y la potencia que demandan cada uno de estos. Algunos de los datos han sido obtenidos de la placa de características de las máquinas y otros han sido proporcionados por los fabricantes.

ID	Receptor de fuerza motriz	Marca	Modelo	Potencia (KW)
1	Compresor	Grafeno Euphoria	PM 25-B-VV	18,64
2	Compresor tornillo	BALMA 50CV	VISSO	37,29
3	Rectificadora	AKA	M800E	4,80
4	Rectificadora	GER	RS-500	3,06
5	Torno	TORRENT	T72-42	4,25
6	Torno	PINACHO	S-90/200	25,91
7	Sierra Metales	SABI	SH40	2,98
8	Fresadora	CORREA	F3UA	5,59
9	Muela-esmeriladora	ESMERIL	LETAC E-2	0,37
10	Recortadora (x2)	INCA	500B	1,12
11	Prensa 160t	DETELCO	DESCON.	15,20
12	Prensa 40t	GUILLEM	PPRI40	11,19
13	Prensa 65t	AJIAL	PVC-65	11,19
14	Prensa(x4) 20t	MIOS	T20FV	1,50
15	Prensa 40t	MIOS	T40FV	3,05
16	Prensa 60t	GUILLEN	2PE60REN	4,10
17	Prensa 40t	SAGIACOMO		3,05
18	Prensa 40t	GUILLEN	RPE-40-EN	3,50
19	Prensa 25t	GUILLEN	2PE25EN	2,24
20	Prensa 45t	ESNA	VI/PN	4,10
21	Prensa 100t	SAGIACOMO	T100R	7,45
22	Prensa 40t	MIOS	FV40	4,00
23	Prensa 100t	MATE	JL21-100	11,00
24	Roscadora sobremesa – G	SUDERING		0,45
25	Roscadora sobremesa – P	SUDERING		0,30
26	Taladradora	ASTOLA		0,37
27	Taladradora de columna	ERLO	TCA-32	1,10

28	Devanadora móvil(x4)	GOTI	DMR1000/1200E	0,75
29	Devanadora Móvil	AGFRA	DESCON.	2,24
30	Punzonadora CNC	PUNCHING	MTXA-1	5,53
31	Cizalla hidraulica	MG	QC11Y	5,50
32	PLEGADORA	AXIMAQ	PSE/A-62	7,00
33	MAQ.Lijadora		RB-330-26	15,75
34	Luminarias			7,46
35	Tomas de corriente			6
		TOTAL		208,61

Tabla nº1: Consumos principales de potencia del edificio industrial

La potencia total que aparece en la tabla se refiere a la instalada en la nave, pero a la hora de hacer una previsión de la demanda, hay que tener en cuenta que todos los receptores no requieren la potencia al mismo tiempo, es decir, no van a estar todas las máquinas funcionando al mismo tiempo, ni los equipos como ordenadores o el alumbrado. Por ello, como se verá más adelante en el cálculo de los conductores, se aplicarán coeficientes de simultaneidad.

#### 6.1 INSTALACIÓN DE LOS CUADROS ELÉCTRICOS

La instalación de los cuadros secundarios se ha dividido por zonas y el número de estos se ha seleccionado con el objetivo de dotar a la instalación de la mayor flexibilidad posible. En la nave 1 se encuentra el cuadro general de distribución (CGD) y todos los cuadros secundarios exceptuando uno, que se encuentra en la nave 2. Se ha dispuesto de la siguiente manera:

- CGD (nave 1): alimenta los cuadros secundarios.
- CSD1 (nave 1): alimenta la parte superior derecha de la maquinaria industrial (se puede apreciar mejor en los planos adjuntados al final del documento).
- CSD2 (nave1): alimenta la parte central de la maquinaria industrial en la zona del proceso de producción.
- CSD3 (nave1): alimenta las tomas de corriente y luminarias situadas en las oficinas y en la sala de reuniones (primera y segunda planta).
- CSD4 (nave1): alimenta las luminarias de la zona de producción y del almacén
- CSD5 (nave1): alimenta la parte inferior de la maquinaria industrial en la zona del proceso de producción.
- CSD6 (nave2): alimenta las tomas de corriente y luminarias de la sala de marcado láser y vestuarios de la nave destinada al almacén (primera y segunda planta)

Los cuadros secundarios se han distribuido siguiendo el criterio de minimizar las longitudes de los conductores en la medida de lo posible. Y en cuanto al CGD, cuya

corriente proviene del Cuadro General de Baja Tensión, se ha situado cerca de uno de los accesos principales a la nave, dentro de esta, para facilitar su localización.

Todos los cuadros eléctricos dispondrán de los elementos de protección necesarios para asegurar la instalación, hablamos de protección frente a sobrecargas, cortocircuitos y demás.

Las líneas que alimentan a los cuadros anteriores son las siguientes:

Línea	Cuadro Eléctrico	Potencia (KW)
Línea general	CGD	208,6
Línea 1	CSD1	66,427
Línea 2	CSD2	73,78
Línea 3	CSD3	4,126
Línea 4	CSD4	6
Línea 5	CSD5	54,942
Línea 6	CSD6	3,334

Tabla nº2: Distribución de los cuadros secundarios

## 6.2 DISEÑO DEL ALUMBRADO

### 6.2.1 Consideraciones iniciales

El diseño del alumbrado se ha realizado por medio del programa DIALUX, atendiendo a una serie de características se ha llegado a una solución para cada área o local del edificio industrial.

Para la distribución de las luminarias y su elección se han seguido diferentes criterios proporcionados por el libro de Tecnología eléctrica seguido en la asignatura:

- Uniformidad: esta se define como el cociente entre la iluminancia mínima y la iluminancia media de una zona. Como norma general en la iluminación de locales se debe considerar un nivel de uniformidad alrededor del 80% cuando nos referimos al alumbrado general.
- Deslumbramiento: es un fenómeno de la visión que produce una molestia o disminución de la capacidad visual, debido a la presencia de superficies con elevada luminancia con respecto al nivel normal del local. Estas superficies pueden ser espejos, luminarias, ventanas... Se debe evitar ya que impide ejecutar las tareas a los trabajadores con normalidad. La norma UNE EN 12464-1 fija los valores de deslumbramiento admisible (UGR). Según las zonas de trabajo del presente edificio industrial se presentan los siguientes valores:

Zona de trabajo	UGR
Zona de oficinas	19
Zona de baños y vestuarios	25
Zona de proceso industrial	25
Almacén	25

Tabla nº3: Valores límite de UGR según zona de trabajo  
(Fuente: Norma UNE-EN 12464-1)

- Iluminancia horizontal: Este nivel se determina a partir de la actividad que realice en un local, estos valores vienen asignados por la norma citada anteriormente. Según ella disponemos de los siguientes valores de iluminancia objetivo queremos conseguir atendiendo a los diferentes locales de nuestro edificio:

Zona de trabajo	Iluminancia requerida E (lux)
Zona de oficinas	500
Zona de baños y vestuarios	200
Zona de proceso industrial	300
Almacén	300

Tabla nº4: Valores mínimos de iluminancia según el tipo de local  
(Fuente: Norma UNE-EN 12464-1)

- Curvas de distribución luminosa: es otra forma de expresar la distribución luminosa de una luminaria. Se llaman curvas isolux, que son lugares geométricos de puntos en una superficie (horizontal generalmente) donde la iluminancia tiene el mismo valor.

Como se ha comentado al inicio del apartado, para el diseño y cálculo de las luminarias se ha utilizado el programa DIALUX. Lo principal que hay que tener en cuenta es la luminancia media requerida en cada local cuyo valor lo determina el programa automáticamente por medio de la siguiente fórmula:

$$E_{med} = \frac{\eta \cdot u_h \cdot m \cdot n \cdot \phi_{total}}{A} \quad (1)$$

El rendimiento de la luminaria se denomina ( $\eta$ ), el factor de utilización ( $u_h$ ) de una instalación es la relación entre la iluminancia media en el plano de trabajo y el flujo luminoso emitido por las luminarias por  $m^2$ , el número de luminarias ( $n$ ), el área ( $A$ ) es el área del plano de trabajo, el flujo total ( $\phi_{total}$ ) emitido por las lámparas de una luminaria y finalmente el factor de mantenimiento ( $m$ ) que tiene en cuenta la pérdida de eficiencia luminosa neta de una instalación, debido al efecto de la suciedad acumulada en las luminarias y la depreciación luminosa de las lámparas con el paso del tiempo.

Este último factor ( $m$ ) viene determinado según la clasificación de la sala mediante el siguiente cuadro:

<b>Clasificación de la sala</b>	<b>Factor de mantenimiento según el grado de suciedad de las superficies de la sala y las luminarias</b>	<b>Factor de mantenimiento total</b>
Limpio	0,9	0,8
Mediano	0,8	0,7
Sucio	0,7	0,6

Tabla nº5: Factor de mantenimiento (Fuente: libro Tecnología Eléctrica)

Según las actividades que se realicen en cada uno de los locales que nos incumben se han elegido unos valores u otros. Estos son:

<b>Zona de trabajo</b>	<b>Factor de mantenimiento</b>
Zona de oficinas	0,8
Zona de baños y vestuarios	0,8
Zona de proceso industrial	0,7
Almacén	0,7

Tabla nº6: Factor de mantenimiento según el área de trabajo

A parte de los valores citados anteriormente, tenemos que tener en cuenta el plano de trabajo sobre el suelo en el que está fijado la iluminancia horizontal. Este varía según como se desarrolle la actividad en cada local, distinguiendo entre 0,85 m si la actividad se realiza de pie y 0,75 si se realiza sentado. Así pues, el siguiente cuadro pone de manifiesto que valores se asignan a cada recinto del edificio industrial:

<b>Zona de trabajo</b>	<b>Altura de plano de trabajo</b>
Zona de oficinas	0,75
Zona de baños y vestuarios	0,85
Zona de proceso industrial	0,85
Almacén	0,85

Tabla nº7: Altura del plano de trabajo según la zona de trabajo

### 6.2.2 Elección del tipo de luminaria:

En este apartado se va a explicar cómo se han seleccionado las luminarias. Ya sabemos cuál es la iluminancia objetivo que queremos conseguir y otros aspectos como la altura de plano de trabajo y el factor de mantenimiento.

Según los diferentes tipos de flujos de luz que existen y de la forma constructiva de la luminaria nos decantaremos por una u otra luminaria en función del tipo de local, principalmente sus dimensiones y la exigencia lumínica que requiera. Así pues, para

elegir el tipo de luminaria habrá que tener en cuenta un factor clave como lo es el rendimiento a color (Ra).

El rendimiento a color es la medida de precisión con que una fuente de luz ilumina los colores de los objetos. Su escala está comprendida entre 0 y 100, siendo el máximo nivel (100) el valor que indica que una fuente de luz ilumina los objetos de la misma manera que la luz del día. Para saber qué valor debería tener cada local de nuestro edificio utilizamos la siguiente tabla.

Grupo de rendimiento en color	Índice de rendimiento en color Ra	Aspecto cromático	Aplicaciones
1A	$Ra \geq 80$	Frío	Industria textil, fábricas de pintura, talleres de imprenta.
1B		Intermedio cálido	Escaparates, tiendas, hospitales, hogares, restaurantes.
2	$60 \leq Ra < 80$	Frío	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias finas en: Climas cálidos.
		Intermedio	Climas templados.
		Cálido	Climas fríos .
3	Lámparas con $40 \leq Ra < 60$ pero con propiedades de rendimiento de color bastante aceptables para uso en locales de trabajo.		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia.
4	$20 \leq Ra < 40$		Industrias con bajos requisitos de reproducción cromática.
S (especial)	Lámparas con propiedades de discriminación cromática no normales.		Aplicaciones especiales (color de la piel)

Tabla nº8: Aspecto cromático y rendimiento a color  
(Fuente: libro Tecnología Eléctrica)

Con la información de la presente tabla podemos establecer los valores de rendimiento de color para cada una de nuestras salas:

Zona de trabajo	Índices de Reproducción Cromática (Ra)
Zona de oficinas	80
Zona de baños y vestuarios	80
Zona de proceso industrial	80
Almacén	60

Tabla nº9: Rendimiento a color según la zona de trabajo

Tenemos distintas posibilidades para seleccionar el tipo lámparas o fuentes de luz a utilizar. Están las lámparas de incandescencia, las de descarga y la iluminación con LED. Las lámparas de incandescencia o de tungsteno son las más antiguas, y debido a su baja eficiencia luminosa (10-18 lm/W) y a su corta vida útil (1000 horas) son las primeras que descartamos. Las lámparas de descarga son una mejor opción a las anteriores, pues su vida útil puede llegar hasta las 15000 horas de funcionamiento, además de tener mayor eficiencia y rendimiento a color. Por último, tenemos los LED, que al principio, cuando se empezó a generalizar su uso, se utilizaban en señalización, pero hoy en día su uso en iluminación es muy frecuente. Además, presenta grandes ventajas frente a las otras dos, destacando entre estas, su larga vida útil (> 30.000h) y un rendimiento a color  $Ra > 80$ . Con todo esto y también debido a su bajo consumo, nos hemos decantado por la iluminación LED en todos los locales. Aunque presentan un precio más elevado, su larga vida útil amortizará la inversión inicial en ellas.

Los resultados que hemos obtenido mediante el programa DIALUX se presentan más adelante. Es importante decir que el programa sigue dos distribuciones en lo que respecta al cálculo de la iluminación. Una de ellas siguiendo el criterio de iluminancia mínima que se requiere y otro teniendo en cuenta que la uniformidad sea la adecuada, es decir, que sea mayor del 80%. Puesto que cumplir los dos criterios no es tarea fácil, las distribuciones que mostraremos, presentarán el grado de iluminancia exigida en cada una de las salas y un cierto nivel de uniformidad adecuado a cada una de estas (que no siempre llegará al mínimo). Se ha colocado un número de luminarias que impide la aparición de deslumbramiento, ya que si se intentara cumplir con los dos criterios anteriores, el número de luminarias necesarias sería mucho mayor, lo que provocaría la aparición de deslumbramiento.

Se muestra a continuación una tabla resumen con todos los parámetros de relevancia que se han tenido en cuenta al diseñar el alumbrado con DIALUX:

	<b>Iluminancia Mantenido Em (lux)</b>	<b>Índice de deslumbramiento límite UGR</b>	<b>Altura del plano de trabajo</b>	<b>Factor de mantenimiento (m)</b>	<b>Ra</b>
Zona de proceso industrial	300	25	0,85	0,6	80
Zona de oficinas	500	19	0,75	0,6	80
Zona de baños y vestuarios	200	25	0,85	0,4	80
Zona de almacén	300	25	0,85	0,6	60

Tabla nº10: Datos de partida para el diseño en DIALUX

### 6.2.3 Resultados obtenidos mediante DIALUX (alumbrado general):

En este apartado se muestra la distribución de luminarias en cada una de las salas que conforman el edificio industrial, así como el tipo de lámparas seleccionadas en cada caso.

<b>Tipo de luminarias</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potencia unitaria (W)</b>	<b>Potencia total (W)</b>
MPE HBU_200T LED high bay HBU 200W 6500K	30	200	6000
Performance in Lighting SL720 RM, AB, 34W, 4000K	8	34	272
ENDO ERD5269W Fixed Downlight	24	49,5	1188
		<b>Total</b>	<b>7460</b>

Tabla nº11: Luminarias utilizadas y potencia que consumen  
(Fuente: Base de datos DIALUX)

#### **Zona de almacén y zona de proceso industrial:**

Se ha escogido un tipo de luminaria pendular, considerando para el montaje que el techo está a una altura de 8,6m, que es una distancia intermedia entre los 9,75m de altura que tiene la cumbrera de la nave y los 7,5m de altura de los pilares. Finalmente, la luminaria tiene una altura de montaje de 8,2m.

Se trata de alumbrado tipo led denominado MPE HBU\_200T LED high bay HBU 200W 6500K.



Figura nº8: Alumbrado led y curva de distribución luminosa

Presentan las siguientes características:

- Flujo luminoso (Luminaria): 24437 lm
- Flujo luminoso (Lámparas): 24000 lm
- Potencia de las luminarias: 200.0 W

Zona de almacén (nave2)

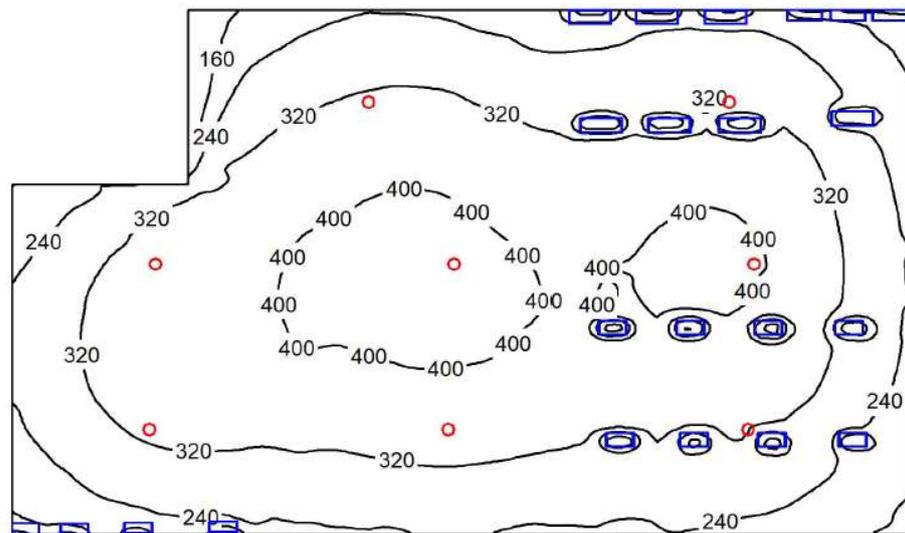


Figura nº9: Distribución de las isolíneas en el almacén (nave 2)

<b>Número de luminarias</b>	8
<b>Disposición</b>	Tipo pendular
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	431 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	314 lx

Tabla nº12: Resumen de resultados

Zona de producción (nave1):

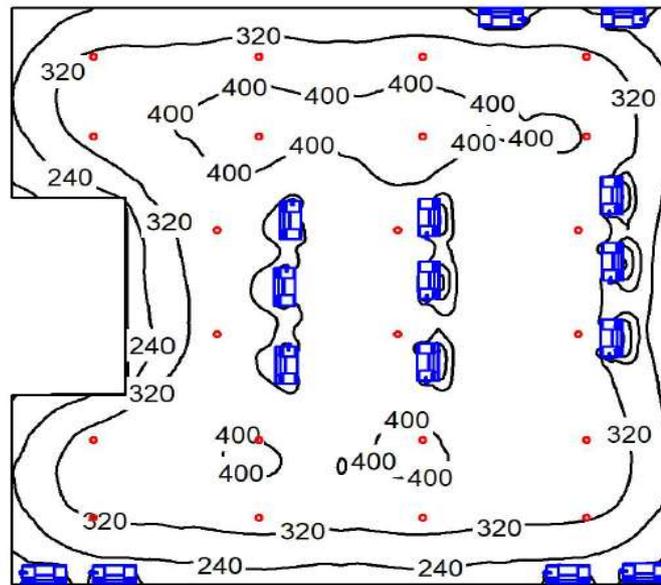


Figura nº10: Distribución de las isótopos en la zona de producción (nave 1)

<b>Número de luminarias</b>	22
<b>Disposición</b>	Tipo pendular
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	429 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	331 lx

Tabla nº13: Resumen de resultados

Zona de baños, duchas y vestuarios:

En estas zonas se han seleccionado luminarias de spot medio. Se denominan Performance in Lighting SL720 RM, AB, 34W, 4000K.

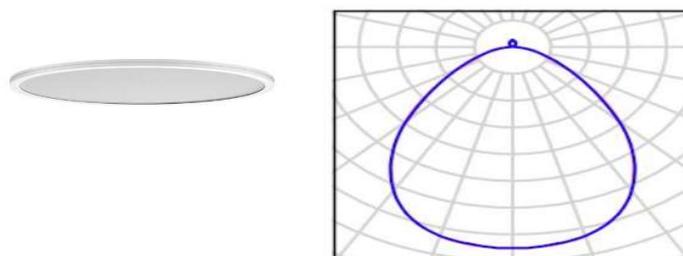


Figura nº11: Alumbrado led y curva de distribución luminosa

Presentan las siguientes características:

- Flujo luminoso (Luminaria): 3378 lm
- Flujo luminoso (Lámparas): 3378 lm
- Potencia de las luminarias: 34.0 W

Zona de baños y duchas (nave 1, planta 1)

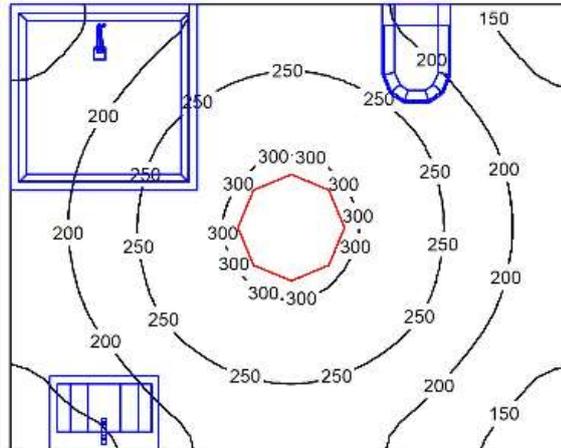


Figura nº12: Distribución de isótopos en baños y duchas

<b>Número de luminarias</b>	1
<b>Disposición</b>	Adosada (montaje en techo)
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	314 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	221lx

Tabla nº14: Resumen de resultados

Zona de baños (nave 2, planta 1 y nave 1, planta 2)

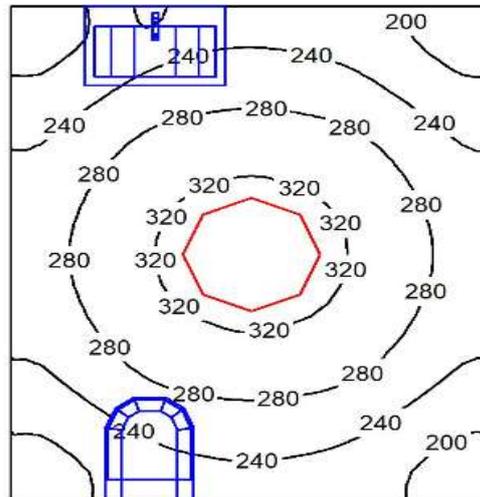


Figura nº13: Distribución de isótopos en baños y duchas

<b>Número de luminarias</b>	1
<b>Disposición</b>	Adosada (montaje en techo)
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	333 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	262lx

Tabla nº15: Resumen de resultados

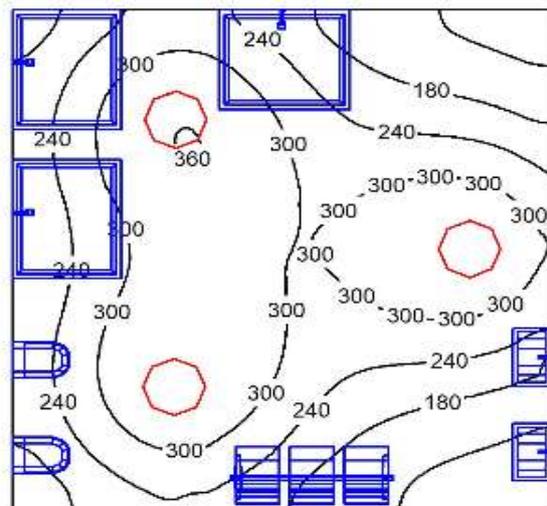
Zona de vestuarios (nave 2, planta2)

Figura nº14: Distribución de aislíneas en vestuarios

<b>Número de luminarias</b>	3
<b>Disposición</b>	Adosada (montaje en techo)
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	363 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	254lx

Tabla nº16: Resumen de resultados

**Zona de oficinas, sala de reuniones y marcado láser:**

Para este tipo de locales se han seleccionado luminarias de spot medio-ancho denominadas ENDO ERD5269W Fixed Downlight.

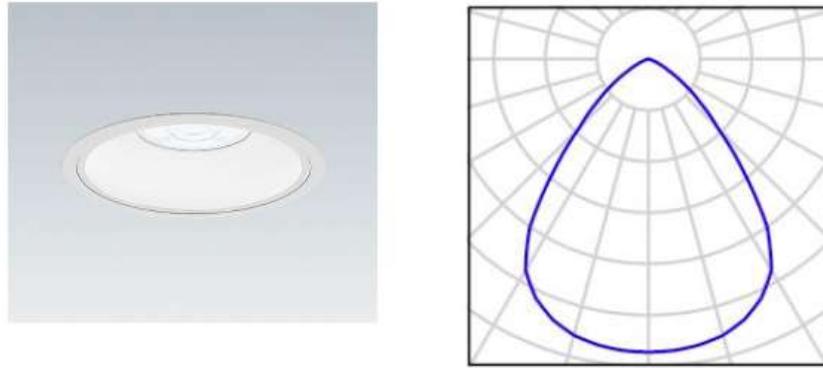


Figura nº14: Alumbrado led y curva de distribución luminosa

Los focos downlights emiten luz difuminada y con un ángulo de apertura de al menos  $120^\circ$ , es decir, iluminan toda la estancia en la que están colocados. Este tipo de luz es apropiada para una cocina o para una oficina. ENDO ERD5269W Fixed Downlight

Características:

- Flujo luminoso (Luminaria): 4471 lm
- Flujo luminoso (Lámparas): 4699 lm
- Potencia de las luminarias: 49.5 W

Zona de oficina 1 (nave 1, planta1)

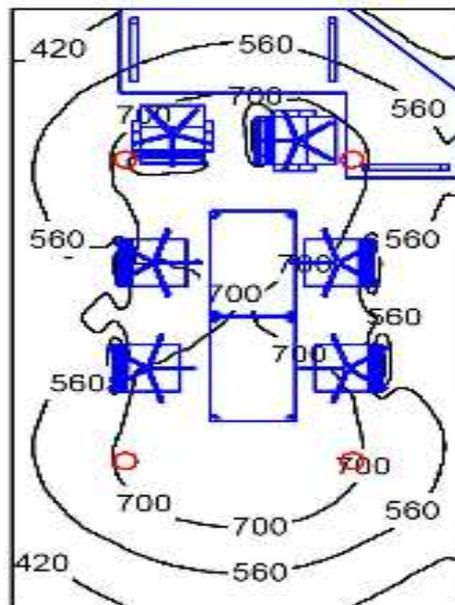


Figura nº16: Distribución de isóneas en oficina

<b>Número de luminarias</b>	4
<b>Disposición</b>	Empotrada en techo
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	826 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	610 lx

Tabla nº17: Resumen de resultados

Zona de oficina 2 (nave 1, planta 1)

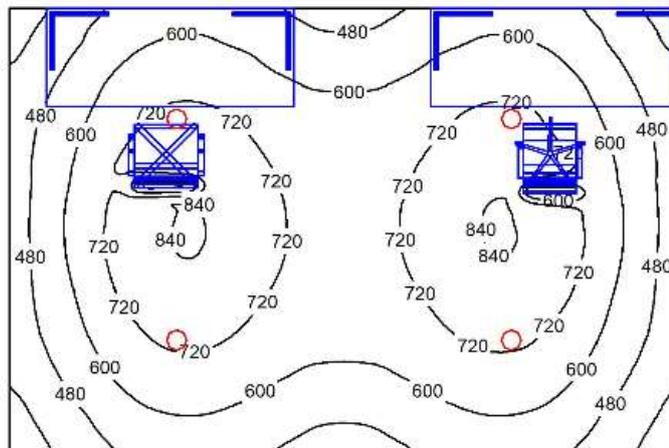


Figura nº17: Distribución de isótopos oficina 2 (nave 1 planta 1)

<b>Número de luminarias</b>	4
<b>Disposición</b>	Empotrada en techo
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	845 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	621 lx

Tabla nº18: Resumen de resultados

Zona de oficina 3 (nave 1, planta 1)

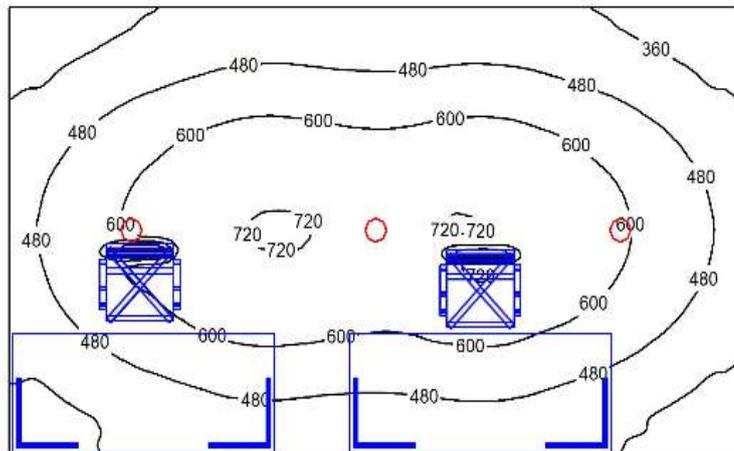


Figura nº18: Distribución de isótopos en oficina

<b>Número de luminarias</b>	3
<b>Disposición</b>	Empotrada en techo
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	732 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	520 lx

Tabla nº18: Resumen de resultados

Zona de sala de reuniones y oficina (nave 1, planta 2)

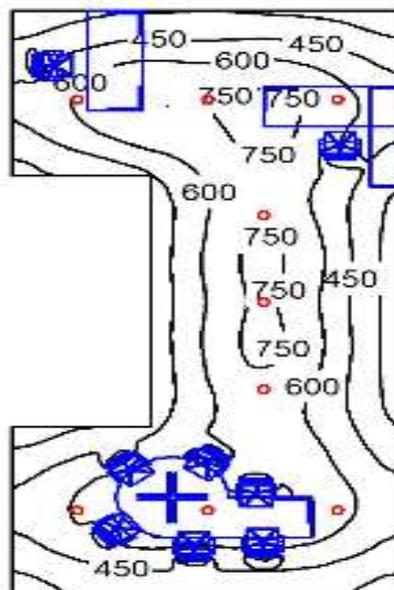


Figura nº19: Distribución de isótopos sala de reuniones y oficina

<b>Número de luminarias</b>	9
<b>Disposición</b>	Empotrada en techo
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	789 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	532 lx

Tabla nº19: Resumen de resultados

Zona de marcado láser (nave 1, planta 2)

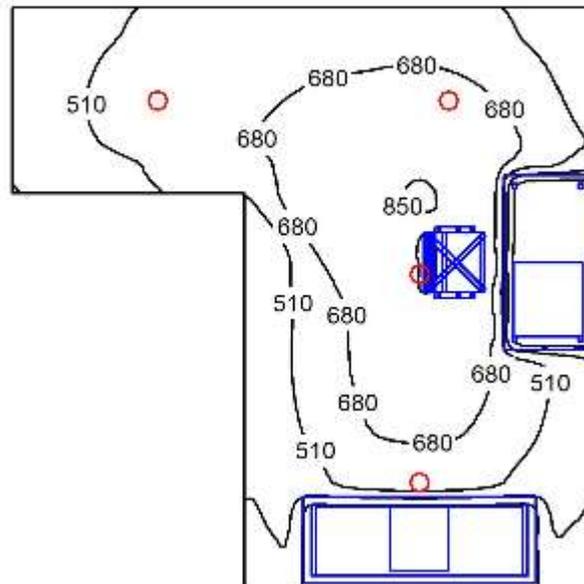


Figura nº20: Distribución de aislíneas en la sala de marcado

<b>Número de luminarias</b>	4
<b>Disposición</b>	Empotrada en techo
<b>Iluminancia máxima (respecto al plano útil)</b>	853 lx
<b>Iluminancia media (respecto al plano útil)</b>	550 lx

Tabla nº20: Resumen de resultados

### 6.3 Diseño de los conductores

En este apartado se van a explicar los principales criterios que se han seguido para seleccionar tanto los métodos de instalación, como el tipo de material del conductor y su recubrimiento. Tiene especial importancia el criterio térmico y el de caída de tensión a la hora de dimensionar la sección de los conductores de la instalación.

#### 6.3.1 Método de instalación

Se trata de las canalizaciones por dónde van a ir distribuidos los conductores a cada uno de los receptores. Para la elección de cada una de ellas se han tenido en cuenta tanto el factor económico, el factor estético y la facilidad de montaje de cada una de ellas. Pero sin duda el aspecto más importante a tener en cuenta es el que se conoce como el de influencias externas. Entre estas destacan las relativas al medio ambiente, como la humedad, la corrosión, la temperatura ambiente. Luego se encuentran las relativas a la utilización de la instalación y a la forma de construcción empleadas. Así pues, teniendo en cuenta las características de nuestro edificio industrial y el tipo de trabajos que se realizan, el factor económico es el aspecto que más nos ha limitado a la hora de elegir el método a emplear en cada caso.

Se distinguen tres formas de instalación: cables dispuestos al aire, empotrados o enterrados y bajo tubo o conducto. Puesto que sería excesivamente caro colocar todos los conductores enterrados (método de instalación D), se ha intentado emplear este método lo menos posible y sólo se ha utilizado para las líneas principales que salen del cuadro general de distribución hacia los cuadros secundarios (L1, L2, L3, L4, L5, L6), a excepción de la línea que alimenta al compresor (L5.1) en la que también se ha optado por este método. De los cuadros secundarios a los demás receptores (tomas de corriente, alumbrado o motores eléctricos de las máquinas) se ha optado por usar bandejas cerradas (método de instalación F) y tubo al aire/empotrado en techo o pared (método de instalación B1). En oficinas, baños, salas de reuniones y máquinas que se encuentran separadas de las paredes de la nave, se ha optado por el método de instalación B1 debido a la facilidad del montaje, y para la zona de maquinaria que se encuentra en las proximidades de las paredes del edificio industrial, se ha escogido el método F con el objetivo de respetar la estética de la nave.

Cabe decir que todos los trayectos que tienen las canalizaciones son horizontales o verticales, evitando tramos diagonales, con el fin de facilitar las labores de montaje.

### 6.3.2 Material conductor

Los principales materiales que más se utilizan en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio. Entre ellos, el cobre presenta mejores propiedades mecánicas que el aluminio y además este se corroe con facilidad cuando está presente el oxígeno. El cobre tiene una gran resistencia a la corrosión y al ataque de un gran número de productos químicos. La diferencia fundamental entre los dos radica en que la resistividad del aluminio es 1,64 veces la resistividad del cobre, sin embargo, su densidad (la del aluminio) es el 30% de la densidad del cobre. De aquí se deduce que el peso del aluminio es mucho menor que el del cobre a igual resistencia eléctrica de los conductores, siendo el precio del aluminio también menor. Aun así, las propiedades del cobre como conductor son superiores a las del aluminio y por este motivo nos hemos decidido a utilizar este material en los conductores de todas las líneas de la presente instalación.

### 6.3.3 Material aislante

El material aislante de los conductores tiene la función de impedir que circule corriente fuera de ellos. Los materiales que se emplean tienen una alta resistividad. Entre estos destacan los termoplásticos y los termoestables. Los que más se emplean en baja tensión son: el cloruro de polivinilo "PVC" (termoplástico) y el polietileno reticulado "XLPE o PRC" (termoestable que se utiliza tanto para alta como para baja tensión). Estos aislantes son los que determinan la temperatura máxima admisible en los conductores.

En nuestro caso, para las líneas que demandan más potencia se ha utilizado el recubrimiento con aislante XLPE, ya que sus propiedades térmicas y eléctricas son superiores a las del PVC.

Finalmente, para las líneas que demandan poca potencia se ha utilizado PVC en el recubrimiento de los conductores.

Con todo lo que se ha comentado en estos tres últimos apartados se presenta ahora una tabla que muestra el tipo de cable, aislante y método de instalación que se ha utilizado para cada línea:

ID Línea	Longitud (m)	Conductor	Aislamiento	Método de instalación
<b>LG</b>	3	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 1 (D)
<b>L1</b>	49,4	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 2 (D)
<b>L1.10.1</b>	12,5	cobre	PVC	Bandeja 1 (F)
<b>L1.10.2</b>	15,6	cobre	PVC	Bandeja 1 (F)
<b>L1.7</b>	3,5	cobre	XLPE	Bandeja 1 (F)
<b>L1.9</b>	1,1	cobre	PVC	Bandeja 2 (F)
<b>L1.5</b>	4,3	cobre	XLPE	Bandeja 2 (F)

<b>L1.6</b>	15,4	cobre	XLPE	Bandeja 2 (F)
<b>L1.27</b>	7,3	cobre	PVC	Tubo al aire 1 (B1)
<b>L1.26</b>	7,2	cobre	PVC	Tubo al aire 1 (B1)
<b>L1.33</b>	9,5	cobre	XLPE	Tubo al aire 1 (B1)
<b>L1.8</b>	17,5	cobre	XLPE	Bandeja 2 (F)
<b>L1.4</b>	20	cobre	XLPE	Bandeja 2 (F)
<b>L1.3</b>	23,5	cobre	XLPE	Bandeja 2 (F)
<b>L2</b>	23,6	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 2 y 3 (D)
<b>L2.30</b>	3,3	cobre	XLPE	Tubo al aire 2 (B1)
<b>L2.32</b>	3,2	cobre	XLPE	Tubo al aire 3 (B1)
<b>L2.11</b>	3,2	cobre	XLPE	Tubo al aire 3 (B1)
<b>L2.12</b>	3	cobre	XLPE	Tubo al aire 2 (B1)
<b>L2.31</b>	5,5	cobre	XLPE	Tubo al aire 2 (B1)
<b>L2.22</b>	1,5	cobre	XLPE	Tubo al aire 3 (B1)
<b>L2.13</b>	5,4	cobre	XLPE	Tubo al aire 2 (B1)
<b>L2.14</b>	2,5	cobre	PVC	Tubo al aire 3 (B1)
<b>L2.29</b>	7,75	cobre	XLPE	Tubo al aire 2 (B1)
<b>L2.16</b>	7,75	cobre	XLPE	Tubo al aire 2 (B1)
<b>L2.19</b>	4,7	cobre	PVC	Tubo al aire 3 (B1)
<b>L2.20</b>	6,7	cobre	XLPE	Tubo al aire 3 (B1)
<b>L3</b>	14,8	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 2 (D)
<b>L3.1</b>	15,5	cobre	XLPE	En techo bajo tubo 1(B1)
<b>L3.2</b>	10,5	cobre	XLPE	En pared bajo tubo 1 (B1)
<b>L4</b>	8,8	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 4 (D)
<b>L4.1</b>	35	cobre	XLPE	Tubo al aire 6 (B1)
<b>L4.2</b>	30	cobre	XLPE	Tubo al aire 6 (B1)
<b>L4.3</b>	25	cobre	XLPE	Tubo al aire 6 (B1)
<b>L4.4</b>	30	cobre	XLPE	Tubo al aire 6 (B1)
<b>L5</b>	41,9	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 4 (D)
<b>L5.24</b>	17,6	cobre	PVC	Bandeja 3 (F)
<b>L5.25</b>	14,7	cobre	PVC	Bandeja 3 (F)
<b>L5.14.1</b>	7,7	cobre	PVC	Bandeja 3 (F)
<b>L5.14.2</b>	4	cobre	PVC	Bandeja 3 (F)
<b>L5.14.3</b>	1	cobre	PVC	Bandeja 4 (F)
<b>L5.28.1</b>	4,5	cobre	PVC	Tubo al aire 4 (B1)
<b>L5.28.2</b>	1	cobre	PVC	Tubo al aire 5 (B1)
<b>L5.28.3</b>	4	cobre	PVC	Bandeja 4 (F)
<b>L5.28.4</b>	7	cobre	PVC	Tubo al aire 5 (B1)
<b>L5.17</b>	12,4	cobre	XLPE	Bandeja 3 (F)
<b>L5.15</b>	10	cobre	XLPE	Bandeja 4 (F)
<b>L5.18</b>	21,7	cobre	XLPE	Bandeja 4 (F)
<b>L5.21</b>	23,5	cobre	XLPE	Bandeja 4 (F)

<b>L5.23</b>	28,5	cobre	XLPE	Bandeja 4 (F)
<b>L5.1</b>	25,7	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 4 (D)
<b>L6</b>	12,4	cobre	XLPE	Enterrado bajo tubo 4 (D)
<b>L6.1</b>	10	cobre	XLPE	En techo bajo tubo 2 (B1)
<b>L6.2</b>	5	cobre	XLPE	En pared bajo tubo 2 (B1)

Tabla nº21: Características de los conductores

#### 6.3.4 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los conductores se han seguido dos criterios, dimensionamiento por criterio térmico y por caída de tensión según la ICT-BT-19.

##### **Dimensionamiento de conductores por criterio térmico:**

La idea fundamental de este criterio sigue la idea de que el conductor no tiene que sobrepasar una cierta temperatura en su funcionamiento normal. Este aumento de temperatura en los conductores se debe principalmente a la generación de calor y su transmisión por el conductor cuando circula corriente por este.

Fundamentalmente el objetivo que se persigue es que la temperatura de los conductores no supere los 90°C cuando el aislante es XLPE y 70°C cuando se trata de PVC. Para las instalaciones de interior, la instrucción ICT-BT-19 remite a la norma UNE 20 460-5-523, donde se encuentran una serie de tablas de diseño de conductores según la intensidad admisible, que se utilizan si las condiciones de la instalación se corresponden con sus valores de referencia (40°C de temperatura ambiente y ausencia de otros circuitos eléctricos próximos). Cuando las condiciones de referencia varían, producen un efecto en el calentamiento de los cables. Por lo tanto, hay que corregir los valores obtenidos en las tablas con una serie de coeficientes, denominados factores de corrección.

Estos factores de corrección se diferencian dependiendo de si los conductores están enterrados o no. Para los sistemas de instalación que no están enterrados, tenemos los siguientes factores:

- Kt: factor de corrección debido a temperatura ambiente distinta de 40°C.
- Ka: factor de corrección debido al agrupamiento de circuitos en general, por agrupamiento de cables multiconductores, y por agrupamiento de circuitos con cables unipolares.

En cuanto a los conductores enterrados, en el reglamento de baja tensión, en la instrucción ICT-BT-07 concretamente, se disponen de tablas de

intensidades admisibles, como la anteriores, pero con la diferencia de que se parte de una temperatura de referencia del suelo de 25°C, una profundidad de 0,7m y una resistividad térmica de 2,5 K · m/W. Con ello, los factores de corrección, que se utilizan cuando hay una variación en cuanto los valores de referencia anteriores, son los siguientes:

- Kt: factor de corrección debido a temperatura ambiente distinta de 25°C.
- Kr: factor de corrección por una resistividad térmica diferente de 2,5 K · m/W
- Ka: factor de agrupamiento de varios circuitos o cables directamente enterrados y de varios circuitos o cables instalados en conductos o tubos enterrados.

Para el cálculo de la intensidad admisible se parte de la siguiente expresión, que se corresponde con la intensidad que demandan los distintos receptores.

$$I_B = \frac{P_n}{\alpha U_n \cos\varphi} \quad (2)$$

Para:  $I_n(A)$ ,  $P_n(W)$ ,  $U_n(V)$

Esta expresión tendrá distintos valores según si los receptores son monofásicos o trifásicos.

Hay que mencionar que cuando los receptores son motores, la corriente absorbida durante el arranque supera en varias veces a la nominal. Para tener en cuenta su efecto, la reglamentación actual establece que a la hora de dimensionar las líneas que alimentan a estos, debes considerar un incremento del 25% en la corriente del consumo del mayor motor alimentado por la línea (ICT-BT-47).

$$I_B = 1,25 \frac{P_n}{\alpha U_n \cos\varphi} \quad (3)$$

Al inicio del apartado 6 se puede observar cual es la potencia total que hay instalada en la nave (208 kW aproximadamente), pero a la hora de hacer una previsión de la demanda, hay que tener en cuenta que todos los receptores no requieren la potencia al mismo tiempo, es decir, no van a estar todas las máquinas funcionando al mismo tiempo. Por eso, se condiciona la potencia instalada con un coeficiente de simultaneidad, que varía su valor según los tipos de instalaciones.

Tipo de instalación	Coefficiente de simultaneidad
Industria mecánica, de coches...	0,25
Papeleras	0,5--0,7
Industria textil	0,6--0,75
Industria de caucho	0,6--0,7
Industria química	0,5--0,7
Cementera	0,8--0,9
Minería	0,8--1
Alumbrado público	1
Industria cerámica	0,7--0,8
Grandes almacenes	0,7--0,9
Escuelas	0,6--0,7
Hospitales	0,5--0,75

Tabla nº22: Coeficientes de simultaneidad  
(Fuente: libro de Tecnología eléctrica)

Este factor lo aplicaremos a la línea que alimenta el cuadro general de distribución (LG) que tendrá un valor de 0,6. Esto afectará directamente a la potencia que se quiera contratar con la empresa distribuidora. Para las demás líneas solo se ha aplicado este coeficiente en la L.1, L.2 y L.5 afectándolas con un coeficiente de 0,8.

Dicho esto, al obtener las intensidades demandadas ( $I_b$ ), se dividen estas por los factores de corrección ( $k$ ), quedando así los valores  $I_1$  con los que entraremos en las tablas de intensidades admisibles y obtendremos la sección ( $S$ ) del conductor, que llevará asociada un valor de intensidad  $I_T$ , siendo este mayor o igual que  $I_1$ . Se puede expresar con más claridad de la siguiente manera:

$$I_1 = \frac{I_b}{k} \quad (4)$$

Luego en tablas se obtiene la sección  $S$  tal que  $I_T \geq I_1$ ; siendo la intensidad admisible  $I_z = k \cdot I_T$ .

Es importante decir, que para entrar en las tablas de intensidades admisibles y obtener las secciones, tenemos que tener en cuenta el tipo de cable del que se trata, cobre o aluminio y si el aislante es de PVC o XLPE.

Para las líneas de alumbrado se han utilizado líneas monofásicas de 1,5 mm<sup>2</sup> de sección, protegidas con interruptores automáticos de 10 A de  $I_n$ , con el objetivo de que estas líneas se adapten a todo tipo de luminarias que hay en el mercado. Por consiguiente, por estos conductores podrán pasar un máximo de 10 A, y podrán alimentar a receptores con un máximo de potencia de:  $P=UI=230 \cdot 10=2300$  W.

Y, por último, en cuanto a las tomas de corriente monofásicas, que se encuentran principalmente en oficinas y baños, se ha optado por líneas de

2,5mm<sup>2</sup> de sección por los que circulará un máximo de 16 A. Se ha realizado de esta manera al hacer un inventario de dispositivos como, ordenadores, impresoras, proyectores y demás, de los que dispone realmente la empresa. A cada línea se puede conectar un máximo de receptores cuya potencia no supere los 3680 W ( $P=230 \cdot 16$ ).

### Dimensionamiento de conductores por caída de tensión:

En el reglamento de baja tensión están establecidos unos valores máximos para las caídas de tensión. En él, se distinguen las instalaciones alimentadas desde una red de distribución de baja tensión y otras que están alimentadas desde un centro de transformación propio. Nuestro caso de estudio se enmarca de dentro de la primera, ya que no posee centro de transformación.

Los límites de caída de tensión admisible para instalaciones interiores, cuyo origen es el cuadro general de protección son: un 3% para para circuitos de alumbrado y un 5% para otros usos diferentes del alumbrado.

Con todo esto, para el cálculo de las caídas de tensión de las líneas trifásicas se ha utilizado la siguiente expresión:

$$U_1 - U_2 = \sqrt{3} \cdot (R I \cos\varphi + X I \sin\varphi) \quad (5)$$

O lo que es lo mismo:

$$U_1 - U_2 = \Delta U = \frac{L}{U_2} \cdot (R_u \cdot P + X_u \cdot Q) \quad (6)$$

Sin embargo, casi todas las líneas trifásicas de nuestra instalación tienen una sección menor o igual a 95 mm<sup>2</sup>, con lo que, para conductores de cobre con secciones no excesivamente grandes, el peso que tiene el sumando correspondiente a la resistencia es muy superior al de la reactancia. Por ese motivo hemos despreciado el sumando de la reactancia en esos casos. Y sustituyendo en la expresión la tensión en carga  $U_2$  por el valor de la tensión nominal  $U_n$  (considerando que las caídas de tensión son muy pequeñas comparadas con las tensiones nominales) llegamos a la siguiente expresión de la caída de tensión:

$$\Delta U = \frac{L \cdot \rho \cdot P}{S \cdot U_n} \quad (7)$$

En valor porcentual quedaría:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \quad (8)$$

O lo que es lo mismo:

$$\varepsilon = \frac{L \cdot \rho \cdot P}{S \cdot U_n^2} \cdot 100 \quad (9)$$

En caso de una línea monofásica el resultado habría sido:

$$\varepsilon = \frac{L \cdot \rho \cdot P}{S \cdot U_n^2} \cdot 200 \quad (10)$$

Al final, con todo lo expuesto, se han obtenido los siguientes resultados:

LÍNEAS	I <sub>b</sub> (A)	K <sub>a</sub>	K <sub>t</sub>	K <sub>r</sub>	I <sub>1</sub> (A)	I <sub>t</sub>	S(mm <sup>2</sup> )	C.d.t(%)
<b>L1</b>	116,338	0,7	0,97	1,075	159,383	202	95	0,387
<b>L1.10.1</b>	2,807	0,88	1,15	1	2,773	17	1,5	0,104
<b>L1.10.2</b>	2,807	0,88	1,15	1	2,773	17	1,5	0,130
<b>L1.7</b>	7,474	0,88	1,1	1	7,722	21	1,5	0,080
<b>L1.9</b>	1,068	0,88	1,15	1	1,055	17	1,5	0,003
<b>L1.5</b>	10,652	0,75	1,1	1	12,912	21	1,5	0,148
<b>L1.6</b>	54,666	0,75	1,1	1	66,262	97	16	0,308
<b>L1.27</b>	2,756	0,79	1,15	1	3,034	13,5	1,5	0,060
<b>L1.26</b>	1,068	0,79	1,15	1	1,175	13,5	1,5	0,020
<b>L1.33</b>	35,082	0,79	1,1	1	40,371	57	10	0,186
<b>L1.8</b>	14,015	0,75	1,1	1	16,987	21	1,5	0,839
<b>L1.4</b>	7,661	0,75	1,1	1	9,286	21	1,5	0,476
<b>L1.3</b>	12,034	0,75	1,1	1	14,587	21	1,5	0,934
<b>L2</b>	120,648	0,7	0,97	1,075	165,288	230	120	0,208
<b>L2.30</b>	13,864	0,72	1,1	1	17,505	24	2,5	0,091
<b>L2.32</b>	17,541	0,72	1,1	1	22,148	32	4	0,069
<b>L2.11</b>	33,857	0,72	1,1	1	42,749	57	10	0,061
<b>L2.12</b>	24,915	0,72	1,1	1	31,458	57	10	0,040
<b>L2.31</b>	13,782	0,72	1,1	1	17,402	24	2,5	0,151
<b>L2.22</b>	10,023	0,72	1,1	1	12,656	24	2,5	0,028
<b>L2.13</b>	24,915	0,72	1,1	1	31,458	57	10	0,072
<b>L2.14</b>	3,759	0,72	1,15	1	4,540	13,5	1,5	0,028
<b>L2.29</b>	5,606	0,72	1,1	1	7,078	17,5	1,5	0,134
<b>L2.16</b>	10,277	0,72	1,1	1	12,977	24	2,5	0,151
<b>L2.19</b>	5,606	0,72	1,15	1	6,770	13,5	1,5	0,081
<b>L2.20</b>	10,274	0,72	1,1	1	12,972	24	2,5	0,131
<b>L3</b>	6,617	0,7	0,97	1,075	9,065	27	2,5	0,280

<b>L3.1</b>	4,896	1	1,1	1	4,451	17,5	1,5	0,799
<b>L3.2</b>	13,043	1	1,1	1	11,858	24	2,5	0,900
<b>L4</b>	9,623	0,7	0,97	1,075	13,183	21	1,5	0,429
<b>L4.1</b>	6,957	1	1,1	1	6,324	17,5	1,5	2,604
<b>L4.2</b>	6,957	1	1,1	1	6,324	17,5	1,5	2,232
<b>L4.3</b>	5,217	1	1,1	1	6,324	17,5	1,5	1,37
<b>L4.4</b>	6,957	1	1,1	1	4,743	17,5	1,5	2,232
<b>L5</b>	104,326	0,7	0,97	1,075	142,927	202	95	0,241
<b>L5.24</b>	1,289	0,73	1,15	1	1,535	17	1,5	0,059
<b>L5.25</b>	0,859	0,73	1,15	1	1,023	17	1,5	0,032
<b>L5.14.1</b>	3,759	0,73	1,15	1	4,477	17	1,5	0,087
<b>L5.14.2</b>	3,759	0,73	1,15	1	4,477	17	1,5	0,045
<b>L5.14.3</b>	3,759	0,73	1,15	1	4,477	17	1,5	0,011
<b>L5.28.1</b>	2,148	1	1,15	1	1,868	13,5	1,5	0,025
<b>L5.28.2</b>	2,148	0,85	1,15	1	2,197	13,5	1,5	0,005
<b>L5.28.3</b>	2,148	0,73	1,15	1	2,559	17	1,5	0,022
<b>L5.28.4</b>	2,148	0,85	1,15	1	2,197	13,5	1,5	0,039
<b>L5.17</b>	7,643	0,73	1,1	1	9,518	21	1,5	0,295
<b>L5.15</b>	7,643	0,73	1,1	1	9,518	21	1,5	0,238
<b>L5.18</b>	8,771	0,73	1,1	1	10,922	21	1,5	0,601
<b>L5.21</b>	18,669	0,73	1,1	1	23,249	40	4	0,527
<b>L5.23</b>	24,502	0,73	1,1	1	30,513	52	6	0,630
<b>L5.1</b>	41,525	0,73	1,1	1	51,712	75	16	0,371
<b>L6</b>	5,347	0,7	0,97	1,075	7,325	27	2,5	0,188
<b>L6.1</b>	1,452	1	1,1	1	1,320	17,5	1,5	0,151
<b>L6.2</b>	13,043	1	1,1	1	11,858	17,5	2,5	0,448

Tabla nº23: Dimensionamiento de la sección de los conductores y comprobación frente a caída de tensión

#### 6.4 Protecciones

##### 6.4.1 Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución

A pesar de no disponer de un centro de transformación propio en el edificio industrial, se van a explicar los tres tipos de esquemas de distribución en los que se clasifican las instalaciones de baja tensión.

El REBT (ITC-BT-08) clasifica estas instalaciones según la forma en la que las masas de baja tensión y el neutro del transformador están puestas a tierra.

Los tres esquemas que se distinguen son: esquema de distribución TT, esquema de distribución TN y esquema de distribución IT.

Se designan como se puede ver por medio de dos letras mayúsculas, la primera de ellas indica cómo se encuentra el neutro del transformador, distinguiendo entre T y I (T para el neutro conectado a tierra e I para el neutro aislado de tierra). La segunda letra corresponde a la manera en que las masas del centro de transformación están puestas a tierra, diferenciando entre T y N (T si está conectada a tierra directamente y N si se conecta a tierra a través del neutro del transformador)

En la distribución pública de energía eléctrica, concretamente en España, es obligatorio el empleo de un esquema de distribución TT. Por lo tanto, todos los receptores de industrias que no dispongan de un centro de transformación propio como en este caso, deberán tener todas sus masas conectadas directamente a tierra.

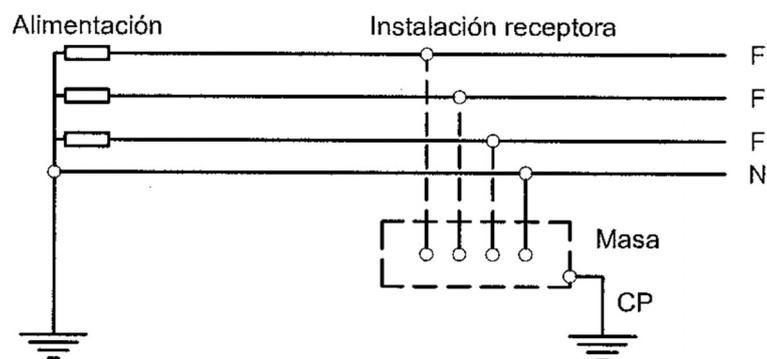


Figura nº21: Esquema de distribución TT (Fuente: REBT)

#### 6.4.2 Instalaciones de puesta a tierra

En este apartado se hará referencia tan solo a la puesta a tierra de las masas de baja tensión de la planta industrial, puesto que no dispone de centro de transformación propio y no entra en el alcance de este proyecto.

Antes de nada, se van a mencionar algunos conceptos básicos para entender mejor de que tratan las instalaciones de puesta a tierra, tomando como fuente principal para la explicación de estos, el libro de Tecnología Eléctrica de la asignatura.

Lo primero y más importante es la puesta o conexión a tierra, que se define como la unión eléctrica y sin protecciones, de parte del circuito eléctrico o de una parte conductora que no pertenece al mismo, con un electrodo o un grupo de ellos que se encuentran enterrados en el suelo.

El objetivo de la puesta a tierra, es conseguir que no se establezcan diferencias de potencial peligrosas en las instalaciones y proximidades de estas. También permite el paso de corrientes, de defecto o de descarga de origen atmosférico, a tierra y facilita la activación de protecciones disminuyendo el riesgo de averías y accidentes.

Es importante mencionar que son las masas de una instalación. Se trata de cualquiera de las partes conductoras de aparatos o instalaciones eléctricas a las que se puede acceder, y que deberían estar aisladas de las partes activas en su funcionamiento normal, pero que debido a algún fallo en el aislamiento pueden estar bajo tensión.

Finalmente mencionar que un elemento conductor es un objeto metálico capaz de propagar un potencial, que se sitúa en las proximidades de una instalación eléctrica pero no pertenece a ella.

Nuestro caso de estudio se trata de dimensionar la puesta a tierra de las masas de baja tensión ( $R_a$ ). Este sistema tiene como objetivo proteger a los usuarios de la instalación de baja tensión frente a tensiones de contacto que puedan aparecer en las masas por un fallo en su aislamiento, disminuyendo estas tensiones en caso de defecto en la instalación. Los elementos que se conectan al sistema son todos los que estén dentro del recinto donde se encuentra la instalación que se puedan considerar como masas. Estos son, las armaduras metálicas de cables de baja tensión y envolventes o carcasas metálicas de aparatos eléctricos.

El electrodo que se ha seleccionado es un conductor de acero enterrado horizontalmente a lo largo de todo el perímetro de la nave principal (nave 1), cuya resistencia de puesta a tierra se calcula con la siguiente expresión:

$$R_a = \frac{2\rho}{L} \quad (11)$$

Siendo  $L$  la longitud del conductor en metros, que en nuestro será la longitud del perímetro de la nave ( $L=134,5$  m). La profundidad mínima a la que debe ser enterrado es de 0,5 metros para evitar que la pérdida de humedad o la presencia de hielo en las capas superficiales les afecte. Por mayor seguridad el electrodo se enterrará a una profundidad de 0,8 metros.

En las instalaciones de baja tensión, las dimensiones del electrodo se determinan al imponer la condición de que la resistencia de puesta a tierra tiene que ser mucho menor que un valor máximo admisible  $R_{adm}$  que viene impuesto por las características de la instalación eléctrica (esquema de distribución y el sistema de protección contra contactos indirectos), en resumen:

$$R_a \approx \rho F(\text{dimensiones}) \ll R_{adm} \quad (12)$$

En cuanto a los conductores de protección (C.P), según el REBT son las conexiones eléctricas que se establecen entre las masas con otros elementos de una instalación, para asegurar la protección contra contactos indirectos. En las instalaciones de puesta a tierra estos elementos aseguran la conexión de las masas con el conductor de tierra. Estos se dispondrán en la misma canalización que los conductores activos del circuito que protegen. A la hora de dimensionarlos se ha tenido en cuenta la siguiente tabla que

muestra la relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase:

Sección de los conductores de fase de la instalación $S$ (mm <sup>2</sup> )	Sección mínima de los conductores de protección $S_p$ (mm <sup>2</sup> )
$S \leq 16$ $16 < S \leq 35$ $S > 35$	$S_p = S$ $S_p = 16$ $S_p = S/2$

Tabla nº24: Sección mínima de los conductores de protección en relación con los conductores de fase  
(Fuente: Libro de Tecnología eléctrica)

Los resultados obtenidos son los siguientes:

ID Línea	S_fases (mm <sup>2</sup> )	S_C.P (mm <sup>2</sup> )	ID Línea	S_fases (mm <sup>2</sup> )	S_C.P (mm <sup>2</sup> )
<b>LG</b>	95	50	<b>L3</b>	2,5	10
<b>L1</b>	95	50	<b>L3.1</b>	1,5	1,5
<b>L1.10.1</b>	1,5	1,5	<b>L3.2</b>	2,5	2,5
<b>L1.10.2</b>	1,5	1,5	<b>L4</b>	1,5	4
<b>L1.7</b>	1,5	1,5	<b>L4.1</b>	1,5	1,5
<b>L1.9</b>	1,5	1,5	<b>L4.2</b>	1,5	1,5
<b>L1.5</b>	1,5	1,5	<b>L4.3</b>	1,5	1,5
<b>L1.6</b>	16	16	<b>L4.4</b>	1,5	1,5
<b>L1.27</b>	1,5	1,5	<b>L5</b>	95	50
<b>L1.26</b>	1,5	1,5	<b>L5.24</b>	1,5	1,5
<b>L1.33</b>	10	10	<b>L5.25</b>	1,5	1,5
<b>L1.8</b>	1,5	1,5	<b>L5.14.1</b>	1,5	1,5
<b>L1.4</b>	1,5	1,5	<b>L5.14.2</b>	1,5	1,5
<b>L1.3</b>	1,5	1,5	<b>L5,14.3</b>	1,5	1,5
<b>L2</b>	120	60	<b>L5.28.1</b>	1,5	1,5

<b>L2.30</b>	2,5	2,5	<b>L5.28.2</b>	1,5	1,5
<b>L2.32</b>	4	4	<b>L5.28.3</b>	1,5	1,5
<b>L2.11</b>	10	10	<b>L5.28.4</b>	1,5	1,5
<b>L2.12</b>	10	10	<b>L5.17</b>	1,5	1,5
<b>L2.31</b>	2,5	2,5	<b>L5.15</b>	1,5	1,5
<b>L2.22</b>	2,5	2,5	<b>L5.18</b>	1,5	1,5
<b>L2.13</b>	10	10	<b>L5.21</b>	4	4
<b>L2.14</b>	1,5	1,5	<b>L5.23</b>	6	6
<b>L2.29</b>	1,5	1,5	<b>L5.1</b>	16	16
<b>L2.16</b>	2,5	2,5	<b>L6</b>	2,5	6
<b>L2.19</b>	1,5	1,5	<b>L6.1</b>	1,5	1,5
<b>L2.20</b>	2,5	2,5	<b>L6.2</b>	2,5	2,5

Tabla nº25: Conductores de protección de las líneas eléctricas

#### 6.4.3 Protección frente a contactos directos e indirectos

Los sistemas de protección contra contactos directos e indirectos tienen el objetivo de garantizar la seguridad de los usuarios que trabajan cerca de las instalaciones eléctricas, estén o no familiarizados con estas instalaciones. La normativa que se ha empleado para ello es el Reglamento Electrotécnico de Baja tensión (REBT) concretamente la ITC-BT-24.

Las normas introducen reglas de seguridad que se basan en limitar las tensiones de contacto o el tiempo en que estas tensiones pueden permanecer. Dicho esto, el valor máximo de tensión de contacto que puede mantenerse indefinidamente adopta un valor de  $U_L = 50$  V, en cambio, en el caso de locales húmedos y mojados,  $U_L = 24$  V. Así pues, los locales con tensiones de contacto iguales o inferiores a las mencionadas, no suponen un riesgo para los usuarios.

##### **Contactos directos:**

Los contactos directos se producen si una persona o animal se pone en contacto con alguna parte activa de la instalación, esto es, una parte de la

instalación que en condiciones normales de funcionamiento está sometida a tensión.

Entre las medidas que admite la normativa frente a este tipo de contactos (REBT ITC-BT-24) se encuentra el evitar que se produzca el contacto mediante el uso de envolventes, uso de barreras, utilización de aislamientos de protección o puesta fuera de alcance. Luego de estas medidas también admite las referentes al uso de tensiones no peligrosas, que no causen daño a pesar de ser aplicadas en personas.

Partiendo de las características de nuestra industria y según la información proporcionada por la empresa, no todos los empleados presentan conocimientos en referencia a instalaciones eléctricas y además estos no tienen restricción alguna a las distintas zonas de trabajo. Debido a esto se ha seleccionado un sistema de protección frente a contactos directos en los que se tienen en cuenta tanto los contactos accidentales como los intencionados. Inicialmente se han descartado sistemas como la protección mediante obstáculos o el empleo de bajas tensiones de contacto puesto que según la ICT-BT-24 estos métodos no garantizan una protección completa y su aplicación en la práctica, se limita a locales de servicio eléctrico accesibles solo por personal autorizado.

Dicho esto, hemos optado por el uso de barreras o envolventes. Según este método, las partes activas de la instalación deben estar situadas en el interior de las envolventes o detrás de barreras que posean, como mínimo, el grado de protección IP XXB, según UNE 20.324.

Si se necesitaran aberturas más grandes para el buen funcionamiento de la maquinaria se adoptarán las medidas apropiadas para impedir el contacto con las partes activas y se garantizará que las personas sean conscientes en todo momento del hecho de que las partes activas no deben ser tocadas voluntariamente.

#### **Contactos indirectos:**

Este tipo de contactos se producen si una persona o animal entra en contacto con una parte de la instalación que no debe estar sometida a tensión en condiciones normales de funcionamiento.

Frente a contactos indirectos se plantean medidas de protección como el empleo de dispositivos que desconecten la instalación de la red de forma rápida cuando se detecte algún fallo. Este es el sistema que hemos utilizado en la presente instalación (protección por corte automático de la instalación), puesto que es el más viable frente a otros planteamientos como serían imposibilitar la aparición de masas bajo tensión (empleando materiales eléctricos de clase II) o evitar que el contacto con las masas sea peligroso (funcionando con tensiones muy bajas de seguridad, separando circuitos...)

Las condiciones generales que garantizan la seguridad en instalaciones protegidas mediante corte automático de la alimentación son:

- a) El dispositivo debe actuar siempre que aparezca una tensión de contacto mayor que la tensión límite convencional, desconectando de manera automática la alimentación.
- b)  $t_i < t_a$   
Para un defecto con tensión de contacto mayor que  $U_L$ , el tiempo que transcurre desde que se produce el defecto hasta que el dispositivo corta la alimentación (tiempo de interrupción  $t_i$ ) tiene que ser menor que el tiempo admisible  $t_a$ .
- c) Todas las masas a las que se puedan acceder de manera simultánea deben ser conectadas a la misma puesta a tierra.

Se explica a continuación la protección en instalaciones TT mediante protección diferencial. El criterio práctico que se debe cumplir es:

$$I_{\Delta N} \cdot R_A \leq U_L \quad (13)$$

$$1 \cdot 7,433 = 7,433 \leq 50 \text{ V}$$

(Cumple perfectamente la condición)

$I_{\Delta N}$ : es la corriente diferencial nominal del dispositivo (la que garantiza la actuación de la protección en un tiempo inferior al especificado, en nuestro caso se tomará  $I_{\Delta N} = 1000\text{mA}$ )

$R_A$ : es la resistencia de puesta a tierra de las masas de baja tensión (siendo esta igual a  $7,433\Omega$  como se verá en los cálculos justificativos).

$U_L$ : es la tensión límite convencional que en nuestro caso son 50 V por tratarse de un local seco.

Si se cumple este criterio de protección se estarían cumpliendo las condiciones a) y b) enunciadas anteriormente. Puesto que este criterio garantiza que si existen tensiones de contacto superiores a 50 V se provocará el corte de la alimentación por el dispositivo de protección. Siendo además,  $t_i$  ( en interruptores comerciales)  $< t_a$ .

Se ha protegido la instalación con interruptores diferenciales, ID1 en el primer nivel y ID2 en el segundo nivel:

- ID1 ( $I_{\Delta N_1} = 1000 \text{ mA}$ , selectivo o “retardado”): para las líneas: L1, L2, L3, L4, L5 y L6.

- ID2.1 ( $I_{\Delta N_{2.1}} = 300 \text{ mA}$ ): en cada una de las líneas que a alimentan a las diferentes máquinas.
- ID2.2 ( $I_{\Delta N_{2.2}} = 30 \text{ mA}$ ): en las líneas con receptores monofásicos (iluminación y tomas de corriente)

La elección de los interruptores diferenciales se ha hecho de manera que cumplan con el criterio de selectividad:

- La intensidad diferencial nominal de ID2.1 y ID2.2 tiene que ser menor que la intensidad diferencial de no funcionamiento de ID1:

$$I_{\Delta N_2} < I_{\Delta n f_1} = \frac{1}{2} \cdot I_{\Delta N_1} \quad (14)$$

$$\frac{1}{2} \cdot I_{\Delta N_1} = 500 \text{ mA}$$

$$I_{\Delta N_{2.1}} = 300 \text{ mA} < 500 \text{ mA}$$

$$I_{\Delta N_{2.2}} = 30 \text{ mA} < 500 \text{ mA}$$

- El diferencial D1 debe ser “retardado”, es decir, si hay una corriente de defecto, tiene que dejar transcurrir un tiempo de retardo  $t$ , independientemente de los que valga  $I_d$ , antes de que se inicie el proceso de disparo.
- La resistencia de puesta a tierra de las masas  $R_A$  debe dimensionarse teniendo en cuenta la sensibilidad D1 (condición que ya se ha tenido en cuenta como se puede observar en los cálculos justificativos referentes a la puesta a tierra)

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta N_1}} \quad (15)$$

#### 6.4.4 Protección de instalaciones frente a sobreintensidades y sobretensiones

En este apartado se muestra el estudio que se ha hecho de los sistemas de protección utilizados para garantizar la seguridad de las instalaciones de baja tensión, cuando se producen sobretensiones o sobreintensidades. También se explicará las condiciones que tienen que cumplir los dispositivos de protección para que la instalación quede bien protegida.

A diferencia de la protección frente a contactos directos e indirectos, que está dirigida a la seguridad de las personas, los sistemas de protección que se verán a continuación están destinados a la protección de la instalación eléctrica, principalmente la de los conductores.

#### 6.4.4.1 Protección frente a sobreintensidades

La normativa que se emplea en este apartado es el REBT ITC-BT-22. Se distinguen dos tipos de sobreintensidades, las sobrecargas y los cortocircuitos.

##### Sobrecargas

Un circuito está sometido a una sobrecarga cuando es recorrido durante un tiempo por una corriente mayor que la corriente admisible. Se produce en un circuito eléctricamente sano, en ausencia de fallo eléctrico.

Las sobrecargas previsibles, que son las producidas en el funcionamiento normal de la instalación (por ejemplo, en el arranque de motores), no deben activar ningún dispositivo de protección. Esto se debe a que las sobrecargas previsibles, se tienen en cuenta a la hora de dimensionar los conductores, de modo que pueden ser soportadas sin ningún tipo de deterioro en la instalación.

Las sobrecargas no previsibles son las que tendremos en cuenta a continuación. Se deben a averías en las cargas, a la sobreutilización de la instalación por conexión de un número de cargas superior al previsto y a la sobreutilización de las cargas.

Cuando la intensidad que circula por un conductor  $I$  es mayor que la intensidad admisible  $I_Z$  ( $I > I_Z$ ), su temperatura aumenta estabilizándose en un valor superior a la temperatura admisible ( $T_{eq} > T_{adm}$ ). El tiempo de calentamiento  $t_{cal}$  es el que tarda el conductor en alcanzar su temperatura admisible. La temperatura admisible depende del tipo de aislamiento:

Aislamiento	Tad(°C) servicio continuo
PVC	70
XLPE	90

Tabla nº26: Temperatura admisible según el tipo de aislante del conductor

El  $t_{cal}$  disminuye con el aumento de la corriente de sobrecarga.

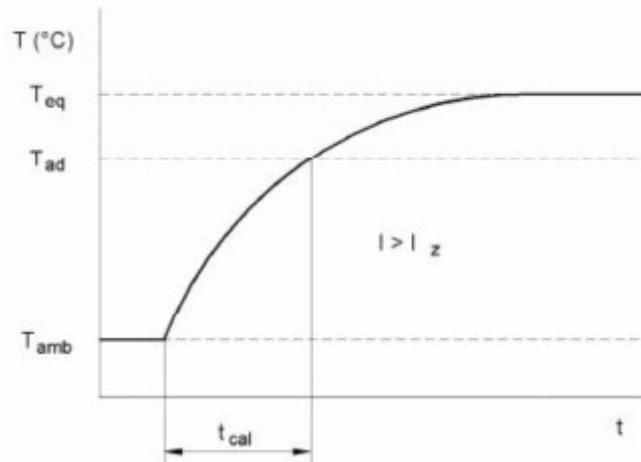


Figura nº22: Proceso de calentamiento de un conductor desde la temperatura ambiente hasta la de equilibrio

Un dispositivo de protección contra sobrecargas protegerá efectivamente un conductor si este actúa interrumpiendo la corriente del circuito antes de que se alcance la temperatura admisible.

Dicho esto, la protección efectiva se establece si:  $t_{ac} < t_{cal}$ . Es decir, si el tiempo que tarda en actuar el dispositivo es menor que el tiempo que tarda en llegar el conductor a la temperatura admisible. Para la comprobación de esta condición es necesario conocer las curvas características de intensidad-tiempo admisible de los conductores, que dependen de las condiciones de la instalación y normalmente no se conocen, además de las curvas de intensidad- tiempo de disparo del dispositivo de protección.

Debido a esto, la norma UNE 20-460 establece un criterio en el que un dispositivo de protección protege de manera eficiente un conductor si se cumplen las dos condiciones siguientes:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (16)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (17)$$

$I_n$  es la intensidad de ajuste del disparador térmico,  $I_2$  es la corriente que garantiza el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección (intensidad convencional de disparo).

En nuestro caso hemos optado por los interruptores automáticos como dispositivos de protección, con lo que:

$$I_2 = 1,45 \cdot I_n \quad (18)$$

En cuanto a la disposición de los interruptores automáticos, se han instalado en el origen del circuito y en los demás puntos donde hay una reducción de la intensidad admisible debido a un cambio de sección, de

sistema de instalación o de la naturaleza del conductor, cumpliendo así con la norma UNE 20 460.

Se puede apreciar con detalle en el diagrama unifilar que se muestra en el apartado de planos.

Los resultados obtenidos que cumplen con las anteriores condiciones se muestran a continuación:

ID LÍNEA	$I_b$ (A)	$I_n$ (A)_IA	$I_z$ (A)	$I_2$ (A)	$1,45 \cdot I_z$ (A)
<b>LG</b>	180,661	200	202	290	292,9
<b>L1</b>	116,338	125	147,444	181,25	213,795
<b>L1.10.1</b>	2,807	10	17,204	14,5	24,945
<b>L1.10.2</b>	2,807	10	17,204	14,5	24,945
<b>L1.7</b>	7,474	16	20,328	23,2	29,475
<b>L1.9</b>	1,068	10	17,204	14,5	24,945
<b>L1.5</b>	10,652	16	17,325	23,2	25,121
<b>L1.6</b>	54,666	63	80,025	91,35	116,036
<b>L1.27</b>	2,756	10	12,264	14,5	17,783
<b>L1.26</b>	1,068	10	12,264	14,5	17,783
<b>L1.33</b>	35,082	40	49,533	58	71,822
<b>L1.8</b>	14,015	16	17,325	23,2	25,121
<b>L1.4</b>	7,661	16	17,325	23,2	25,121
<b>L1.3</b>	12,034	16	17,325	23,2	25,121
<b>L2</b>	120,648	160	167,882	232	243,429
<b>L2.30</b>	13,864	16	19,008	23,2	27,561
<b>L2.32</b>	17,541	20	25,344	29	36,748
<b>L2.11</b>	33,857	40	45,144	58	65,458
<b>L2.12</b>	24,915	32	45,144	46,4	65,458
<b>L2.31</b>	13,782	16	19,008	23,2	27,561
<b>L2.22</b>	10,023	16	19,008	23,2	27,561
<b>L2.13</b>	24,915	32	45,144	46,4	65,458
<b>L2.14</b>	3,759	10	11,178	14,5	16,208
<b>L2.29</b>	5,606	10	13,86	14,5	20,097
<b>L2.16</b>	10,277	16	19,008	23,2	27,561
<b>L2.19</b>	5,606	10	11,178	14,5	16,208
<b>L2.20</b>	10,274	16	19,008	23,2	27,561
<b>L3</b>	6,617	32	19,707	46,4	28,576

<b>L3.1</b>	4,896	10	19,25	14,5	27,912
<b>L3.2</b>	13,043	16	26,4	23,2	38,28
<b>L4</b>	9,623	16	15,328	23,2	22,226
<b>L4.1</b>	6,957	10	19,25	14,5	27,912
<b>L4.2</b>	6,957	10	19,25	14,5	27,912
<b>L4.3</b>	5,217	10	19,25	14,5	27,912
<b>L4.4</b>	6,957	10	19,25	14,5	27,912
<b>L5</b>	104,326	125	147,444	181,25	213,795
<b>L5.24</b>	1,289	10	14,271	14,5	20,693
<b>L5.25</b>	0,859	10	14,271	14,5	20,693
<b>L5.14.1</b>	3,759	10	14,271	14,5	20,693
<b>L5.14.2</b>	3,759	10	14,271	14,5	20,693
<b>L5,14.3</b>	3,759	10	14,271	14,5	20,693
<b>L5.28.1</b>	2,148	10	15,525	14,5	22,511
<b>L5.28.2</b>	2,148	10	13,196	14,5	19,134
<b>L5.28.3</b>	2,148	10	14,271	14,5	20,693
<b>L5.28.4</b>	2,148	10	13,196	14,5	19,134
<b>L5.17</b>	7,643	10	16,863	14,5	24,451
<b>L5.15</b>	7,643	10	16,863	14,5	24,451
<b>L5.18</b>	8,771	10	16,863	14,5	24,451
<b>L5.21</b>	18,669	25	32,12	36,25	46,574
<b>L5.23</b>	24,502	32	41,756	46,4	60,546
<b>L5.1</b>	41,525	50	60,225	72,5	87,326
<b>L6</b>	5,347	25	19,707	36,25	28,576
<b>L6.1</b>	1,452	10	19,25	14,5	27,912
<b>L6.2</b>	13,043	10	19,25	14,5	27,912

Tabla nº27: Resultados para la comprobación de los dispositivos de actuación frente a sobrecargas

**Cortocircuitos:**

Un cortocircuito es una sobreintensidad que se origina por fallos puntuales de aislamiento, por defectos en las cargas conectadas o por defectos de conexión en la instalación.

Para que una instalación esté protegida frente a cortocircuitos, tiene que disponer de dispositivos que puedan cortar toda corriente de cortocircuito antes de que se dañen los conductores y las conexiones de la instalación.

Para la protección de las líneas se tiene que cumplir una serie de condiciones, diferentes según el dispositivo empleado para ello. En este caso trabajaremos con interruptores automáticos, y las condiciones a cumplir son las siguientes:

a) Poder de corte del IA  $> I_{cc,m\acute{a}x}$  **(19)**

b)  $I_{cc,m\acute{i}n} > I_a$  **(20)**

Donde  $I_a$  es la intensidad de actuación del disparador electromagnético. Esta condición significa que todos los cortocircuitos que se establezcan en la línea que protege el interruptor automático tienen que activar el disparador electromagnético.

c)  $I_{cc,m\acute{a}x} < I_b$  **(21)**

Donde  $I_b$  es la intensidad que corresponde al  $(I^2 t)_{adm}$  del conductor determinada sobre la característica  $I^2 t$  del interruptor automático. Esta condición establece que, la temperatura del cable no alcanzará el valor máximo admisible para la máxima corriente de cortocircuito posible.

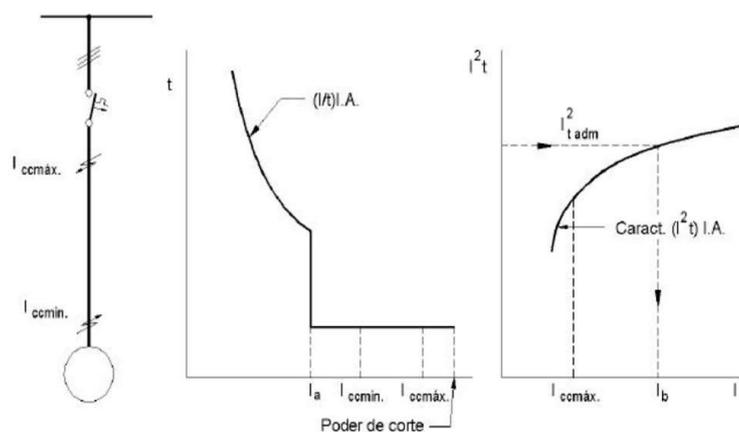


Figura nº23: Protección frente a cortocircuitos mediante interruptor automático (Fuente: libro Tecnología Eléctrica)

Para comprobar las condiciones anteriores tenemos que calcular las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas de cada línea, para ello se han obtenido los siguientes resultados:

	<b>R (<math>\Omega</math>)</b>	<b>X(<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>\Sigma R_i(\Omega)</math></b>	<b><math>\Sigma X_i(\Omega)</math></b>	<b><math>\Sigma Z(m\Omega)</math></b>	<b><math>I_k''_{max}(kA)</math></b>	<b><math>I_k''_{min}(kA)</math></b>
<b>Trafo</b>	0,0026	0,0098	0,0026	0,0098	10,158	22,735	22,735
<b>Lsum</b>	0,0078	0,0040	0,0104	0,0138	17,296	22,735	13,352
<b>LG</b>	0,0007	0,0002	0,0111	0,0141	17,910	13,352	12,895
<b>L1</b>	0,0106	0,0040	0,0217	0,0180	28,225	12,895	8,182
<b>L1.10.1</b>	0,1499	0,0010	0,1717	0,0190	172,707	8,182	1,337
<b>L1.10.2</b>	0,1871	0,0012	0,2004	0,0193	201,280	8,182	1,147
<b>L1.7</b>	0,0431	0,0003	0,0648	0,0183	67,357	8,182	3,429
<b>L1.9</b>	0,0131	0,0001	0,0349	0,0181	39,297	8,182	5,877
<b>L1.5</b>	0,0558	0,0003	0,0775	0,0184	79,650	8,182	2,899
<b>L1.6</b>	0,0191	0,0012	0,0408	0,0192	45,115	8,182	5,119
<b>L1.27</b>	0,0879	0,0006	0,1096	0,0186	111,171	8,182	2,077
<b>L1.26</b>	0,0861	0,0006	0,1078	0,0186	109,432	8,182	2,110
<b>L1.33</b>	0,0190	0,0008	0,0407	0,0188	44,814	8,182	5,153
<b>L1.8</b>	0,2401	0,0014	0,2618	0,0194	262,540	8,182	0,880
<b>L1.4</b>	0,2495	0,0016	0,2712	0,0196	271,957	8,182	0,849
<b>L1.3</b>	0,3115	0,0019	0,3332	0,0199	333,782	8,182	0,692
<b>L2</b>	0,0039	0,0019	0,0150	0,0159	21,916	12,895	10,538
<b>L2.30</b>	0,0265	0,0003	0,0415	0,0162	44,595	10,538	5,179
<b>L2.32</b>	0,0159	0,0003	0,0309	0,0162	34,916	10,538	6,614
<b>L2.11</b>	0,0065	0,0003	0,0215	0,0162	26,922	10,538	8,578
<b>L2.12</b>	0,0057	0,0002	0,0208	0,0162	26,342	10,538	8,767
<b>L2.31</b>	0,0441	0,0004	0,0592	0,0164	61,388	10,538	3,762
<b>L2.22</b>	0,0114	0,0001	0,0265	0,0161	30,960	10,538	7,459
<b>L2.13</b>	0,0103	0,0004	0,0254	0,0164	30,206	10,538	7,645
<b>L2.14</b>	0,0304	0,0002	0,0454	0,0119	46,947	10,538	4,919
<b>L2.29</b>	0,0960	0,0006	0,1111	0,0123	111,735	10,538	2,067
<b>L2.16</b>	0,0592	0,0006	0,0743	0,0123	75,286	10,538	3,068
<b>L2.19</b>	0,0583	0,0004	0,0733	0,0121	74,307	10,538	3,108
<b>L2.20</b>	0,0512	0,0005	0,0662	0,0122	67,364	10,538	3,428
<b>L3</b>	0,1088	0,0012	0,1199	0,0152	120,857	12,895	1,911
<b>L3.1</b>	0,1879	0,0012	0,3078	0,0165	308,209	1,911	0,749

L3.2	0,0794	0,0008	0,1993	0,0161	199,966	1,911	1,155
L4	0,1145	0,0007	0,1256	0,0148	126,487	12,895	1,826
L4.1	0,4305	0,0028	0,5561	0,0176	556,388	1,826	0,415
L4.2	0,3690	0,0024	0,4946	0,0172	494,910	1,826	0,467
L4.3	0,3036	0,0020	0,4292	0,0168	429,570	1,826	0,538
L4.4	0,3690	0,0024	0,4946	0,0172	494,910	1,826	0,467
L5	0,0088	0,0034	0,0199	0,0174	26,440	12,895	8,735
L5.24	0,2105	0,0014	0,2304	0,0188	231,173	8,735	0,999
L5.25	0,1757	0,0012	0,1956	0,0186	196,481	8,735	1,175
L5.14.1	0,0929	0,0006	0,1128	0,0180	114,279	8,735	2,021
L5.14.2	0,0483	0,0003	0,0682	0,0177	70,453	8,735	3,278
L5.14.3	0,0121	0,0001	0,0320	0,0175	36,443	8,735	6,337
L5.28.1	0,0539	0,0004	0,0738	0,0178	75,922	8,735	3,042
L5.28.2	0,0120	0,0001	0,0319	0,0175	36,375	8,735	6,349
L5.28.3	0,0479	0,0003	0,0678	0,0177	70,126	8,735	3,293
L5.28.4	0,0840	0,0006	0,1039	0,0180	105,400	8,735	2,191
L5.17	0,1550	0,0010	0,1749	0,0184	175,898	8,735	1,313
L5.15	0,1250	0,0008	0,1449	0,0182	146,066	8,735	1,581
L5.18	0,2751	0,0017	0,2950	0,0191	295,654	8,735	0,781
L5.21	0,1133	0,0019	0,1332	0,0193	134,631	8,735	1,715
L5.23	0,0918	0,0023	0,1117	0,0197	113,387	8,735	2,037
L5.1	0,0319	0,0021	0,0518	0,0195	55,325	8,735	4,174
L6	0,0904	0,0010	0,1015	0,0150	102,572	12,895	2,252
L6.1	0,1196	0,0008	0,2211	0,0158	221,641	2,252	1,042
L6.2	0,0396	0,0004	0,1410	0,0154	141,875	2,252	1,628

Tabla nº28: Intensidades de cortocircuito máximas y mínimas

Con esto, los interruptores automáticos que cumplen con las condiciones y que se han escogido son:

ID LÍNEA	In(IA)	Poder de corte (kA)	Curva	Ia(A)	$(k \cdot S)^2 = (I^2 \cdot t)_{adm}$	$(I^2 \cdot t)_{disp}$
LG	200	16	D	4	184552225	600000
L1	125	16	D	2,5	184552225	200000
L1.10.1	10	10	D	0,2	29756,25	9000

<b>L1.10.2</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9000
<b>L1.7</b>	16	10	D	0,32	46010,25	15000
<b>L1.9</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9000
<b>L1.5</b>	16	10	D	0,32	46010,25	15000
<b>L1.6</b>	63	10	D	1,26	5234944	85000
<b>L1.27</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9000
<b>L1.26</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9000
<b>L1.33</b>	40	10	D	0,8	2044900	60000
<b>L1.8</b>	16	10	D	0,32	46010,25	15000
<b>L1.4</b>	16	10	D	0,32	46010,25	15000
<b>L1.3</b>	16	10	D	0,32	46010,25	15000
<b>L2</b>	160	16	D	3,2	294465600	450000
<b>L2.30</b>	16	16	D	0,32	127806,25	20000
<b>L2.32</b>	20	16	D	0,4	327184	30000
<b>L2.11</b>	40	16	D	0,8	2044900	70000
<b>L2.12</b>	32	16	D	0,64	2044900	60000
<b>L2.31</b>	16	16	D	0,32	127806,25	20000
<b>L2.22</b>	16	16	D	0,32	127806,25	20000
<b>L2.13</b>	32	16	D	0,64	2044900	60000
<b>L2.14</b>	10	16	D	0,2	29756,25	10000
<b>L2.29</b>	10	16	D	0,2	46010,25	10000
<b>L2.16</b>	16	16	D	0,32	127806,25	20000
<b>L2.19</b>	10	16	D	0,2	29756,25	10000
<b>L2.20</b>	16	16	D	0,32	127806,25	20000

<b>L3</b>	32	16	C	0,32	127806,25	60000
<b>L3.1</b>	10	6	B	0,05	46010,25	5500
<b>L3.2</b>	16	6	C	0,16	127806,25	6500
<b>L4</b>	16	16	C	0,16	46010,25	25000
<b>L4.1</b>	10	6	B	0,05	46010,25	5000
<b>L4.2</b>	10	6	B	0,05	46010,25	5000
<b>L4.3</b>	10	6	B	0,05	46010,25	5000
<b>L4.4</b>	10	6	B	0,05	46010,25	5000
<b>L5</b>	125	16	D	2,5	184552225	200000
<b>L5.24</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.25</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.14.1</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.14.2</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5,14.3</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.28.1</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.28.2</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.28.3</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.28.4</b>	10	10	D	0,2	29756,25	9500
<b>L5.17</b>	10	10	D	0,2	46010,25	9500
<b>L5.15</b>	10	10	D	0,2	46010,25	9500
<b>L5.18</b>	10	10	D	0,2	46010,25	9500
<b>L5.21</b>	25	10	D	0,5	327184	40000
<b>L5.23</b>	32	10	D	0,64	736164	60000
<b>L5.1</b>	50	10	D	1	5234944	80000

<b>L6</b>	25	16	C	0,25	127806,25	55000
<b>L6.1</b>	10	6	B	0,05	46010,25	6000
<b>L6.2</b>	10	6	C	0,1	127806,25	6000

Tabla nº29: IA y comprobación de las condiciones para una protección eficiente

#### 6.4.5 Protección frente a sobretensiones

Las principales causas de sobretensiones se deben a descargas atmosféricas, maniobras en redes de transporte y distribución, maniobras en la instalación de usuario y sobretensiones de servicio. Los efectos que producen estas sobretensiones son: perforación de aislantes, averías en equipos electrónicos y averías en los consumos por sobrecarga.

En el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, concretamente la ICT-BT-23, se dan una serie de directrices para proteger las instalaciones interiores frente a sobretensiones transitorias. Se establecen cuáles son los criterios que determinan cuando una instalación debe disponer de medidas para la protección frente a sobretensiones y cuando no.

La tabla siguiente muestra la resistencia a sobretensiones que disponen los materiales y equipos conectados a instalaciones eléctricas. Presenta 4 niveles o categorías de sobretensión.

Tensión nominal de la instalación		Tensión soportada a impulsos 1,2/50 (Kv)			
Sist. Trifásicos	Sist. Monofásicos	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
230/400	230	6	4	2,5	1,5
400/690	-	8	6	4	2,5

Tabla nº30: Resistencia de equipos frente a sobretensiones (Fuente ITC-BT-23)

- Categoría I: Equipos sensibles como ordenadores (que se conectan a la instalación)
- Categoría II: Equipos resistentes como electrodomésticos y máquinas herramientas (que se conectan a la instalación)
- Categoría III: equipos y materiales como apartamentada, canalizaciones y accesorios (que constituyen la instalación eléctrica fija) y máquinas eléctricas y ascensores.
- Categoría IV: equipos instalados cerca del origen de la instalación como contadores, interruptor general...

Los tres tipos de protectores frente a sobretensión transitoria son:

	<b>Tipo 1</b>	<b>Tipo 2</b>	<b>Tipo 3</b>
<b>Capacidad de absorción</b>	Muy alta-Alta	Media-Alta	Baja
<b>Rapidez de respuesta</b>	Baja-media	Media-Alta	Muy alta
<b>Origen de la sobretensión</b>	Impacto directo de rayo	Sobretensiones de origen atmosférico y conmutaciones, conducidas o inducidas	

Tabla nº31: Tipos de protectores (Fuente: ICT-BT-23)

Se distinguen dos casos o situaciones para decidir, si es necesario o no, prever dispositivos de protección contra sobretensiones. Estos son, situación natural o situación controlada:

- La situación natural se produce si hay poca probabilidad de que se produzcan sobretensiones peligrosas y si la resistencia de los elementos de la instalación es por lo menos la que se observa en la tabla nº30. Esta situación se produce sobre todo en instalaciones alimentadas a través de líneas subterráneas, que no tienen tramo aéreo. Con todo esto, si la instalación cumple con lo dicho anteriormente, se considera que no hay necesidad de disponer de una protección suplementaria contra sobretensiones transitorias.
- La situación controlada se produce cuando la instalación se alimenta a través de líneas con tramos aéreos. También se considera situación controlada el caso en el que las instalaciones tengan características especiales como: valor económico de los equipos, necesidad de continuidad del servicio...

Para prevenir que el efecto de las sobretensiones afecte a las diferentes máquinas industriales (categoría III de la tabla nº30) que se utilizan en el edificio industrial, se va a proteger la instalación con un dispositivo de protección (tipo 2) situado en el cuadro general de distribución.

El dispositivo tendrá:  $U_p \leq 4 \text{ kV}$ . Siendo  $U_p$  el parámetro que caracteriza el funcionamiento del dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias limitando la tensión entre sus bornes. Esta tensión tiene que ser menor a la categoría de sobretensión de la instalación o dispositivo a proteger (en nuestro caso categoría III)

## 6.5 COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA

El método que se ha empleado es una compensación de potencia reactiva centralizada, mediante dos etapas de condensadores para poder regularlos en función de la demanda de potencia reactiva de los diferentes consumos.

Para calcular la potencia reactiva de los condensadores primero se ha obtenido la potencia reactiva consumida por la instalación. Como no disponemos de los valores del factor de potencia de todos los receptores, se han supuesto los siguientes:

P (kW)	cos( $\varphi$ )
$\leq 1$	0,7
0,25-10	0,75
$\geq 10$	0,85

Tabla nº32: Factor de potencia en función de la potencia del receptor

Luego, la potencia reactiva de los consumos que tenemos, se calcula de la siguiente forma:

$$Q_r = \alpha \cdot P \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad (22)$$

Siendo  $\alpha=0,6$  el coeficiente de simultaneidad. Y  $\operatorname{tg}(\varphi)$ :

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\sqrt{1-\cos^2(\varphi)}}{\cos(\varphi)} \quad (23)$$

P (kW)	cos( $\varphi$ )	tg( $\varphi$ )	Qr(kVAr)
18,64	0,85	0,620	11,554
4,80	0,75	0,882	4,235
3,06	0,75	0,882	2,696
4,25	0,75	0,882	3,749
25,91	0,85	0,620	16,055
2,98	0,75	0,882	2,631
5,59	0,75	0,882	4,932
0,37	0,7	1,020	0,380
2,24	0,75	0,882	1,973
15,20	0,85	0,620	9,420
11,19	0,85	0,620	6,932
11,19	0,85	0,620	6,932
6,00	0,75	0,882	5,292

3,05	0,75	0,882	2,690
4,10	0,75	0,882	3,617
3,05	0,75	0,882	2,690
3,50	0,75	0,882	3,087
2,24	0,75	0,882	1,973
4,10	0,75	0,882	3,616
7,45	0,75	0,882	6,570
4,00	0,75	0,882	3,528
11,00	0,85	0,620	6,817
0,45	0,7	1,020	0,459
0,30	0,7	1,020	0,306
0,37	0,7	1,020	0,380
1,10	0,75	0,882	0,970
3,00	0,75	0,882	2,646
2,24	0,75	0,882	1,973
5,53	0,75	0,882	4,879
5,50	0,75	0,882	4,851
7,00	0,75	0,882	6,173
15,75	0,85	0,620	9,761

Tabla nº33: Potencia reactiva de los consumos

Finalmente se obtiene una  $Q_r = 143,767$  kVAr (sin tener en cuenta el coeficiente de simultaneidad). Si se tiene en cuenta:  $Q_r = 86,26$  kVAr

Queremos conseguir un factor de potencia mínimo de 0,9 ( $\cos(\varphi_2) = 0,9$ ) para que el precio de "peaje" por la potencia reactiva sea el mínimo posible.

La potencia reactiva final será:

$$Q_{rf} = \alpha \cdot P \cdot \operatorname{tg}(\varphi_2) \quad (24)$$

Siendo  $\alpha = 0,6$  y  $\operatorname{tg}(\varphi_2) = 0,48432$

$$Q_{rf} = 56,708 \text{ kVAr}$$

La potencia reactiva a compensar por los condensadores vendrá dada por:

$$Q_c = Q_r - Q_{rf} \quad (25)$$

$$Q_c = 86,26 - 56 - 708 = 29,553 \text{ kVAr}$$

El grupo de condensadores presentará tres escalones (Q, 2Q, 3Q), siendo:

$$Q = Q_c / 3 = 9,85 \text{ kVAr}$$

Para el cálculo de la intensidad demandada de la línea donde se conectan los condensadores, habrá que tener en cuenta un incremento entre 1,5 y 1,8 veces la intensidad nominal asignada del condensador, con el objetivo de tener en cuenta los armónicos y las tolerancias sobre las capacidades según la ICT-BT-48. Para ello se ha elegido un valor intermedio igual a 1,6.

$$I_B = 1,6 \cdot \frac{29,552}{\sqrt{3} \cdot 400} = 68,247 \text{ A}$$

## 7. CONCLUSIÓN

En primer lugar, es importante resaltar que el trabajo que se desarrolla en la industria se basa en la producción por lotes o pedidos de piezas, como ya se mencionó en el apartado 5. Las piezas pasan por diferentes procesos hasta alcanzar su acabado final, y estos procesos no están mecanizados, es decir, el paso de uno a otro requiere un tiempo de transporte y hasta que las piezas no terminan un proceso no pueden empezar el siguiente. Debido a esto, la potencia que tienen contratada con la empresa distribuidora de energía, es mucho menor que la potencia total instalada en la presente industria, por lo que en el diseño de las líneas eléctricas se han supuesto unos coeficientes de simultaneidad relativamente bajos con el objetivo de acercarse más a la realidad. Estos coeficientes se han tomado, aun así, de un valor superior a los que realmente presenta la industria, con lo que la instalación presentará mayor seguridad.

La instalación eléctrica se ha diseñado de tal manera que presente la mayor flexibilidad posible en caso de algún fallo eléctrico. Esto se ha tenido en cuenta en la instalación de los cuadros eléctricos, ubicándolos en lugares donde se puedan encontrar fácilmente. Además, se ha buscado como objetivo, que un fallo en una parte de la instalación no afectara a la totalidad de esta, ubicando de forma adecuada los dispositivos de protección frente a sobrecargas y frente a contactos indirectos.

En relación a los materiales de los conductores y los métodos de instalación de estos en la nave industrial, se han intentado seleccionar, con el objetivo principal de lograr un funcionamiento lo más seguro posible, teniendo en cuenta otros factores como abaratar los costes y dotar de una estética mínima la instalación.

Finalmente decir, que uno de los motivos por los que escogí este proyecto, fue para poner en práctica los conocimientos adquiridos en la asignatura de Tecnología Eléctrica y profundizar más sobre estos. Al realizar el presente proyecto puedo decir que he cumplido el objetivo, ya que me ha ayudado a conocer más en profundidad las instalaciones de baja tensión y tener un mayor acercamiento a la realidad.

## 8. PROGRAMAS UTILIZADOS

Los programas que se nos han ayudado a la elaboración del presente proyecto son los que se muestran a continuación:

- MICROSOFT OFFICE EXCEL
- MICROSOFT OFFICE WORD
- DIALUX (versión 4.12)
- AUTOCAD (versión estudiante)
- ARQUÍMEDES (versión estudiante)

## 9. REFERENCIAS

### 9.1 NORMATIVA

La normativa que se ha tenido en cuenta para la realización del proyecto es principalmente el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Se han contemplado una serie de instrucciones técnicas, aunque no todas se mencionan a lo largo de la memoria, pero aun así han sido tenidas en cuenta.

Estas son:

- ITC-BT - 01: Terminología.
- ITC-BT - 02: Normas de referencia en el REBT.
- ITC-BT - 04: Documentación y puesta en servicio de las instalaciones.
- ITC-BT - 08: Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica
- ITC-BT - 10: Previsión de cargas para suministros en Baja Tensión
- ITC-BT - 13: Instalaciones de enlace. Cajas generales de protección
- ITC-BT - 14: Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación
- ITC-BT - 15: Instalaciones de enlace. Derivaciones individuales
- ITC-BT - 18: Instalaciones de puesta a tierra•
- ITC-BT - 19: Prescripciones generales de las instalaciones interiores o receptoras.
- ITC-BT - 20: Sistemas de instalación de las instalaciones interiores o receptoras.
- ITC-BT - 21: Tubos y Canales protectoras.
- ITC-BT - 22: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobrecargas
- ITC-BT - 23: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones
- ITC-BT - 24: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos
- ITC-BT - 43: Instalación de receptores. Prescripciones generales
- ITC-BT - 44: Instalación de receptores. Receptores para alumbrado

### 9.2 OTROS

En este apartado se hace referencia otro tipo de documentación utilizada como libros y catálogos:

- Roger Folch, José; Riera Guasp, Martín; Roldán Porta, Carlos. "TECNOLOGÍA ELÉCTRICA" 3ªEdición, 2013.
- PRYSMIAN GROUP: Manual técnico y práctico de cables y accesorios de baja tensión, 2018.
- SCHNEIDER ELECTRIC ESPAÑA: Guía de distribución eléctrica de baja tensión – Características complementarias de los interruptores automáticos, 2009.
- SCHNEIDER ELECTRIC ESPAÑA: Catálogo ACTI 9, 2011.

## CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

### 1. DISEÑO DE LOS CONDUCTORES

Para describir detalladamente el proceso que se ha seguido para dimensionar los conductores, se ejemplificarán dos líneas en el dimensionado por criterio térmico, una de ellas enterrada bajo tubo y la otra sin enterrar. Con ello, obtendremos la sección que deberán tener los conductores y seguidamente se comprobará si cumplen el criterio de caída de tensión.

#### 1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES POR CRITERIO TÉRMICO

Como se ha descrito anteriormente, para dimensionar los conductores por el criterio térmico, partimos de la ecuación (2):

$$I_B = \frac{P_n}{\alpha U_n \cos\varphi};$$

$I_B$ : es la intensidad demandada por los distintos receptores.

$U_n$ : se refiere a la tensión nominal, 400 V para líneas trifásicas y 230 para monofásicas.

$\cos\varphi$ : es el factor de potencia que debido al sistema de compensación de la energía reactiva tendrá el valor de 0,9 para sistemas trifásicos y de 1 para monofásicos.

$\alpha$ : será igual a 1 para receptores monofásicos e igual a  $\sqrt{3}$  para receptores trifásicos.

$P_n$ : es la potencia absorbida de la red por los receptores. Cuando estos son motores, se calcula dividiendo la potencia útil de este entre su rendimiento. La potencia útil viene dada por la placa de características del motor que las proporciona cada fabricante. Debido a la falta de información de muchos de los motores eléctricos de las máquinas empleadas en la industria y con el objetivo de tener en cuenta el rendimiento de estos, hemos asignado un valor de rendimiento para una serie de rangos de potencias, que se especifica a continuación:

- Potencias entre 0-1 KW:  $\eta=0,7$
- Potencias entre 1-10 KW:  $\eta=0,8$
- Potencias entre 10-20 kw:  $\eta=0,9$
- Potencias mayores de 20 KW:  $\eta=0,95$

Se va a explicar a continuación el procedimiento para obtener la sección y la intensidad admisible para la línea 1 (L.1), la cual está enterrada bajo tubo (método de instalación D1).

$$I_B = \frac{0,8 * (1,25 * 25,9 + 40,52)}{\sqrt{3} * 400 * 0,9 * 0,8} = 116,3 A$$

De los valores de la expresión en el dividendo tenemos lo siguiente:

El "0,8" se refiere al coeficiente de simultaneidad que afecta a la línea. El "1,25 · 25,9" se trata del incremento del 25% en el motor de más potencia de todos los que alimenta a la línea. Luego los 40,52 KW se refiere a la suma de las potencias de los motores restantes.

En el divisor hay que destacar el valor de 0,8 correspondiente con el rendimiento de los motores.

Los factores de corrección descritos en el apartado 6.4.4 que se han utilizado para el cálculo de esta línea (L.1) son los siguientes:

- $K_r = 1,075$  (se ha obtenido interpolando, partiendo una resistividad de  $1,72 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{m/W}$  procedente del terreno del polígono industrial L'Horteta II de Rafelbuñol)

Resistividades Térmicas ( $^\circ\text{C} \cdot \text{m/W}$ )	
Rocas compactas	0.29
Rocas porosas	0.43
Arena húmeda	0.72
Suelo compacto natural (húmedo)	0.48
Arcilla	1.08 ( $\cong 100$ )
Arena seca	1.72
Grava rodada (seca)	1.23
Cascote de ladrillo	2.24

Tabla nº34: Resistividades térmicas en función del terreno  
(Fuente: libro de Tecnología eléctrica)

- $K_a = 0,7$  (debido a que esa línea está en contacto con dos circuitos de cables unipolares)

Número de circuitos unipolares de dos o tres cables	Distancia entre conductos (a)*			
	Nula (conductos en contacto)	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

Tabla nº35: Factor de corrección por agrupamiento de circuitos  
(Fuente: apuntes de la asignatura Tecnología Eléctrica)

- $K_t = 0,97$  (obtenido suponiendo una temperatura de 30°C)

Luego de esto obtenemos la intensidad de cálculo  $I_1$  mediante la ecuación (4):

$$I_1 = \frac{I_B}{k} = \frac{116,3}{1,075 \cdot 0,7 \cdot 0,97} = 159,3 \text{ A}$$

Tras esto buscamos en las tablas correspondientes (según la ICT-BT-07) la intensidad admisible, que sea inmediatamente superior a la anterior ( $I_1$ ) para un cable de cobre con aislante XLPE, y obtenemos también su sección.

*Métodos D1/D2	Sección mm²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Cobre	PVC2	20	27	36	44	59	76	98	118	140	173	205	233	264	296	342	387
	PVC3	17	22	29	37	49	63	81	97	115	143	170	192	218	245	282	319
	XLPE2	24	32	42	53	70	91	116	140	166	204	241	275	311	348	402	455
Aluminio	XLPE3	21	27	35	44	58	75	96	117	138	170	202	230	260	291	336	380
	XLPE2	-	-	-	-	-	70	89	107	126	156	185	211	239	267	309	349
	XLPE3	-	-	-	-	-	58	74	90	107	132	157	178	201	226	261	295

Tabla nº36: Intensidades admisibles para conductores enterrados, método de instalación D1/D2 (Fuente: Manual Técnico de Baja Tensión- GUÍA PRYSMIAN)

Como hay que tener en cuenta los valores de intensidad nominal de los interruptores automáticos para la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, en un primer momento se escogió un conductor de 70 mm<sup>2</sup> y 170 A, pero finalmente fue más conveniente escoger el conductor de 95 mm<sup>2</sup> y 202 A. Con lo que  $I_T = 202 \text{ A}$ .

Con todo esto, obtenemos la intensidad admisible de esta línea:

$$I_z = k \cdot I_T = 1,075 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 202 = 147,44$$

En cuanto al la línea superficial L1.10.1 (método de instalación F “en bandeja bajo tubo”), el procedimiento es muy parecido al anterior, por lo que se explicará de un modo más general:

$$I_B = \frac{1,25 \cdot 25,9}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 2,806 \text{ A}$$

$K_a = 0,88$  ( puesto que la línea se encuentra en contacto con

$K_t = 1,15$  (suponiendo una temperatura de 30 °C)

AISLAMIENTO	TEMPERATURA AMBIENTE ( $\theta_a$ ) (°C)											
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Tipo PVC (termoplástico)	1,4	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,70	0,57	
Tipo XLPE o EPR (termoestable)	1,26	1,23	1,19	1,14	1,10	1,05	1,00	0,96	0,90	0,83	0,78	

Tabla nº37: Factor de corrección de la temperatura en función del tipo de aislante (Fuente: Manual Técnico de Baja Tensión- GUÍA PRYSMIAN)

No tenemos en cuenta  $K_r$ , puesto que el cable no está enterrado. Con lo que:

$$I_1 = \frac{I_B}{k} = \frac{2,806}{0,88 \cdot 1,15} = 2,77 \text{ A}$$

Según las tablas recogidas en la instrucción ICT-BT-19 que remite a la norma UNE 20 460-5-523, se obtiene que el conductor tiene una sección de 1,5 mm<sup>2</sup> y una intensidad  $I_T = 17 \text{ A}$ .

Finalmente obtenemos una intensidad admisible de:

$$I_z = k \cdot I_T = 0,88 \cdot 1,15 \cdot 17 = 17,204 \text{ A}$$

El procedimiento es análogo para las demás líneas, pero cada una de ellas presentará diferencias, fundamentalmente si se trata de un receptor monofásico o trifásico.

## 1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES POR CAÍDA DE TENSIÓN

Se va a comprobar si la línea L1 ( con conductor de cobre y aislamiento de XLPE) cumple con el criterio de caída de tensión (c.d.t  $\leq 5\%$ ). Para el cálculo de esta se procede de la siguiente manera:

Como vimos en el apartado 6.4.4, partiremos de la expresión (9):

$$\varepsilon = \frac{L \cdot \rho \cdot P}{S \cdot U_n^2} \cdot 100$$

Siendo  $S$ , la sección del conductor en mm<sup>2</sup>,  $P$  la potencia absorbida por cada uno de los receptores en vatios,  $U_n$  la tensión nominal en voltios (400 V para receptores trifásicos y 230 V para monofásicos),  $L$  la longitud de la línea en metros y  $\rho$  la resistividad del conductor en  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  (siendo esta diferente en caso de que el conductor sea de cobre o aluminio y según si se encuentra recubierta con aislante de PVC o XLPE).

Para obtener el valor de la resistividad, se tiene en cuenta que esta varía con la temperatura, por ello obtenemos a continuación una aproximación de la temperatura real de funcionamiento que tendrá el conductor:

$$T_{\text{real}} = T_{\text{amb}} + (T_z - T_{\text{amb}}) \cdot \left(\frac{I_B}{I_z}\right)^2 \quad (26)$$

$$T_{\text{real}} = 30 + (90 - 30) \cdot \left(\frac{116,33}{147,44}\right)^2 = 67,35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para  $T_z$  (temperatura admisible del conductor en régimen permanente) igual a 90°C si el aislante es XLPE y 70°C si lo es de PVC.

Asumiendo que la variación de la resistividad con la temperatura tiene carácter lineal, se calcula la resistividad del conductor (haciendo uso de los valores de resistividad a una temperatura de 20°C) con la siguiente expresión:

$$\rho_{Cu} = \rho_{Cu_{20^{\circ}C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \rho_{Cu} &= 0,017241 \cdot (1 + 0,00393 \cdot (67,35 - 20)) \\ &= 0,020449 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Siendo:

$$\rho_{Cu_{20^{\circ}C}} = 0,017241 \, (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$$

$\alpha$ : es el coeficiente de temperatura igual a 0,00393 para el cobre a una temperatura ambiente de 20 °C.

Finalmente:

$$\varepsilon = \frac{49,4 \cdot 0,020449 \cdot 58323}{95 \cdot 400^2} \cdot 100 = 0,387612 \, \%$$

Como  $0,387612 \leq 5\%$  cumple el criterio de caída de tensión y el conductor esta dimensionado correctamente. Para las demás líneas el procedimiento es parecido al anterior.

## 2. PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DEL EDIFICIO INDUSTRIAL

Haciendo uso de la expresión (11) obtenemos la resistencia de puesta a tierra:

$$R_a = \frac{2\rho}{L} = \frac{2 \cdot 500}{134,5} = 7,433 \, \Omega$$

Para la elección de la resistividad del terreno se ha utilizado la siguiente tabla escogiendo un valor de 500  $\Omega \cdot \text{m}$ :

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad ( $\Omega \cdot \text{m}$ )
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles y otros terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

Tabla nº38: Resistividad en función del terreno (Fuente: GUÍA-BT-18)

Se comprueba ahora sí:

$$R_a \ll R_{adm} = \frac{U_L}{I_{\Delta N}}$$

Según el sistema de protección contra contactos indirectos elegido (protección diferencial),  $I_{\Delta N} = 1000 \, \text{mA}$ . Por lo tanto, siendo  $U_L = 50 \, \text{V}$ :

$$7,433 \, \Omega \ll \frac{50}{1} = 50 \, \Omega$$

### 3. Cálculo frente a sobreintensidades

Para justificar los resultados que se han mostrado en el documento N°1 referente al uso de dispositivos de protección frente a sobreintensidades, se va a poner de ejemplo la línea L1.10.1, siendo el procedimiento análogo para las otras líneas.

Primero se verifican las condiciones que debe cumplir el interruptor automático seleccionado tomando como datos iniciales:

$$I_b = 2,807 \text{ A}$$

$$I_z = 17,204 \text{ A}$$

Para que el interruptor automático cumpla la primera condición, la  $I_n$  del dispositivo, tiene que tener un valor de intensidad que se encuentre entre los dos valores anteriores. Seleccionando un interruptor automático que presente una intensidad nominal  $I_n = 10 \text{ A}$ , se cumple la condición (16):  $I_b \leq I_n \leq I_z$ , puesto que:

$$2,807 \text{ A} \leq 10 \text{ A} \leq 17,204 \text{ A}$$

Ahora solo falta comprobar la segunda condición (17):

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

$$1,45 \cdot 10 \leq 1,45 \cdot 17,204$$

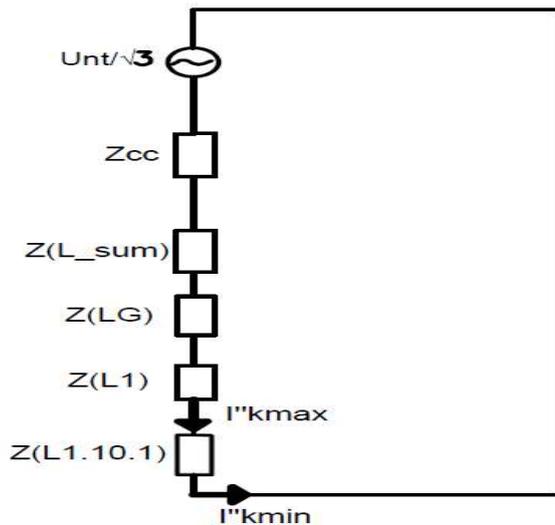
$$14,5 \text{ A} \leq 24,945 \text{ A}$$

El siguiente paso es calcular las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas de cada una de las líneas. Para ellos se ha utilizado la siguiente expresión:

$$I''_k = \frac{U_{nt}}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (28)$$

$U_{nt}$  es la tensión nominal del secundario del transformador y  $Z_k$  es la impedancia de defecto del circuito.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito máxima y mínima de la línea L1.10.1 tenemos el siguiente circuito monofásico que equivale a un cortocircuito en un punto alejado del transformador:



Donde  $Z_{cc}$  es la impedancia de cortocircuito del transformador,  $Z(L_{sum})$  es la impedancia de la línea que va desde el transformador hasta los contadores y  $Z(LG)$ ,  $Z(L1)$  y  $Z(L1.10.1)$  son las demás impedancias que se tendrán en cuenta para el cálculo de las corrientes de cortocircuito en la línea L1.10.1.

Se ha supuesto que la red de media tensión tiene potencia infinita, para así despreciar la caída de tensión producida por la corriente de defecto en la línea de media tensión. Al suponer esto la tensión en bornes del transformador es constante e igual a la nominal, y la corriente de cortocircuito está limitada únicamente por la impedancia del transformador, por lo que los valores que se calculan serán mayores que los reales.

Los datos de partida que se necesitan para el cálculo de la impedancia de defecto del transformador son:

- $S_{nT}$ , potencia nominal de transformador (kVA)
- $U_{nt}$ , tensión nominal secundaria, de valor 400 V
- $\varepsilon_{R_{cc}}(\%)$  y  $\varepsilon_{X_{cc}}(\%)$ , componentes resistiva e inductiva de la caída de tensión en cortocircuito.

Como no disponemos de estos datos, se ha escogido un transformador con una potencia nominal asignada de 630 kVA, más que suficiente para nuestra industria. A través de un catálogo de transformadores hemos obtenido los siguientes datos para transformadores de esta potencia: las pérdidas de carga  $P_{cc}=6500$  W y la impedancia de cortocircuito en valor porcentual  $\varepsilon_{Z_{cc}}=4\%$ .

Ahora necesitamos calcular la resistencia y la reactancia de cortocircuito, para usamos la expresión:

$$P_{cc} = 3 \cdot R_{cc} \cdot I_n^2 \quad (29)$$

Donde la intensidad nominal se calcula como:

$$I_n = \frac{S}{U \cdot \sqrt{3}} \quad (30)$$

$$= \frac{630 \cdot 1000}{400 \cdot \sqrt{3}} = 909,326 \text{ A}$$

Luego despejando de la ecuación (29) se obtiene la resistencia de cortocircuito:

$$R_{cc} = \frac{6500}{3 \cdot 909,3^2} = 0,00262 \text{ } (\Omega) = 2,62 \text{ (m}\Omega)$$

Luego:

$$Z_{cc} = \frac{\varepsilon_{Z_{cc}}(\%) U_{nt}^2}{100 S_{nt}} \quad (31)$$

$$= \frac{4 \cdot 400^2}{100 \cdot 630} = 10,158 \text{ (m}\Omega)$$

Y despejando  $X_{cc}$  en la expresión:

$$Z_{cc} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2} \quad (32)$$

Obtenemos  $X_{cc} = 9,814 \text{ (m}\Omega)$

El conductor ( $L_{sum}$ ) que va desde el transformador hasta los contadores del edificio industrial, se ha supuesto de longitud  $L=50\text{m}$  y sección  $S=240\text{mm}^2$ . Se ha calculado su resistividad  $\rho = 0,03738 \text{ } (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$ .

Para la línea general de alimentación se ha supuesto una potencia prevista  $\leq 125 \text{ kW}$ , lo que supone un sección mínima de fases de  $95\text{mm}^2$ . Presenta una longitud  $L=3\text{m}$  y una resistividad  $\rho = 0,02198 \text{ } (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$ .

Para el cálculo de las impedancias  $Z(L_{sum})$ ,  $Z(LG)$ ,  $Z(L1)$  y  $Z(L1.10.1)$  se han utilizado la expresión (32) pero aplicada a cada una de las líneas:

$$Z_i = \sqrt{R_i^2 + X_i^2}$$

$$R_i = \frac{\rho \cdot l_i}{n_i \cdot s_i} \quad (33)$$

Siendo  $R_i$  las resistencia de las líneas medida en  $(\Omega)$

$\rho$  : resistividad de la línea  $(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$

$l_i$  : longitud de la línea (m)

$n_i$  : número de conductores en paralelo por fase

$s_i$  : sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

$$X_i = x_i' \cdot l_i \quad (34)$$

Siendo las  $X_i$  reactancias de las líneas medida en  $(\Omega)$

$x_i'$  : reactancia por metro de línea de valor 0,00008  $\Omega/m$

$l_i$  : longitud de la línea (m)

Para la línea L1.10.1 tendremos:

$$R_i = \frac{\rho \cdot l_i}{n_i \cdot S_i} = \frac{0,01799 \cdot 12,5}{1 \cdot 1,5} = 0,149 \Omega$$

$$X_i = x_i' \cdot l_i = 0,00008 \cdot 12,5 = 0,0010 \Omega$$

$$Z_i = \sqrt{R_i^2 + X_i^2} = 1000 \cdot \sqrt{0,149^2 + 0,0010^2} = 149,92 \text{ m}\Omega$$

Siendo este cálculo idéntico para todas las líneas.

Luego, para calcular la corriente de cortocircuito máxima haciendo uso de la ecuación (28) tenemos:

$$I''_k = \frac{U_{nt}}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 28,225} = 8,182 \text{ kA}$$

Donde  $Z_k = \sqrt{(\sum R_i)^2 + (\sum X_i)^2} = 28,225 \text{ m}\Omega$  (referido a las resistencias y reactancias del transformador, L\_sum, LG y L1)

Y la corriente de cortocircuito mínima será:

$$I''_k = \frac{U_{nt}}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 172,7} = 1,337 \text{ kA}$$

Donde  $Z_k = \sqrt{(\sum R_i)^2 + (\sum X_i)^2} = 172,7 \text{ m}\Omega$  (referido al sumatorio de las resistencias y reactancias del transformador, L\_sum, LG, L1 y L1.10.1)

Puesto que ya tenemos calculadas las intensidades de cortocircuito máximas y mínimas tenemos que comprobar ahora las tres condiciones para verificar que nuestro dispositivo de protección (interruptor automático) protege eficazmente la línea:

- a) Poder de corte del IA  $> I_{cc,m\acute{a}x}$   
10 kA  $>$  8,8182 kA
- b)  $I_{cc,m\acute{i}n} > I_a$   
1,337 kA  $>$  0,2 kA  
Curva D:  $I_a = 20 \cdot I_n = 20 \cdot 10 = 200 \text{ A} = 0,2 \text{ kA}$
- c)  $I_{cc,m\acute{a}x} < I_b$   
 $(I^2 \cdot t)_{disp.} < (I^2 \cdot t)_{adm}$  (Según gráfica de IA NG 125)  
9000  $<$  29756,25

**PRESUPUESTO GENERAL DE LA INSTALACIÓN**

Para la elaboración del presupuesto se ha tomado como base el Banco de precios de la junta de Extremadura, proporcionado por el programa Arquímedes. En cuanto a las unidades de obra y los precios que se muestran a continuación en cada una de ellas, se han tenido en cuenta dentro de estos, los costes de la mano de obra de instalación de los elementos que las constituyen.

**1. DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA****CAPÍTULO 1: CUADROS ELÉCTRICOS**

- Unidad de obra 1 (UO1): Cuadro general de distribución “CGD” (ud)

Cuadro eléctrico principal, de donde parten las líneas que van a los cuadros secundarios, pero sin incluir los dispositivos de protección, que formarán todos ellos una unidad de obra diferente.

<b>UO1</b>	<b>Cuadro general de distribución</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Cuadro eléctrico	1	213,21	213,21

- Unidad de obra 2 (UO2): Cuadros secundarios “CS” (ud)

Cuadros eléctricos secundarios de donde parten las líneas que alimentan a los distintos consumos de la instalación. No incluye dispositivos de protección.

<b>UO2</b>	<b>Cuadros secundarios</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Cuadro eléctrico 1	6	53,76	322,596

**CAPÍTULO 2: ALUMBRADO**

- Unidad de obra 3 (UO3): Alumbrado de tipo pendular taller (ud)

Luminarias de tipo pendular correspondientes a la zona del taller y del almacén. Incluyendo su instalación.

<b>UO3</b>	<b>Alumbrado 1 (taller/almacen)</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Alumbrado led 200 W	30	172,01	5160,3

- Unidad de obra 4 (UO4): Alumbrado de superficie en techo (ud)

Luminarias de superficie (montaje en techo) correspondientes a las zonas de baños, duchas y vestuarios. (naves 1 y 2). Incluyendo su instalación.

<b>UO4</b>	<b>Alumbrado 2 (baños...)</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Alumbrado led 34 W	8	55,208	441,664

- Unidad de obra 5(UO5): Alumbrado en oficinas, sala de reuniones y sala de marcado láser (ud)

Luminarias empotradas en techo, correspondientes a las zonas de oficinas, sala de reuniones y sala de marcado láser. (naves 1 y 2). Incluyendo su instalación.

<b>UO5</b>	<b>Alumbrado 3 (oficinas...)</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Alumbrado led 49,5 W	24	36,874	884,976

#### CAPÍTULO 3: LÍNEAS

- Unidad de obra 6 (UO6): Conductores eléctricos y canalizaciones (ud)

Conductores de todas las líneas empleadas en la instalación, diferenciando secciones y aislamientos. Incluyendo los métodos de instalación y mano de obra de instalación.

<b>UO6</b>	<b>LÍNEAS</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
m	Cable Cu/XLPE 1x1,5 mm <sup>2</sup>	824,85	0,16	131,976
m	Cable Cu/XLPE 1x2,5 mm <sup>2</sup>	202,35	0,25	50,587
m	Cable Cu/XLPE 1x4 mm <sup>2</sup>	80,1	0,41	32,841
m	Cable Cu/XLPE 1x6 mm <sup>2</sup>	85,5	0,9	76,95
m	Cable Cu/XLPE 1x10 mm <sup>2</sup>	63,3	1,42	89,886
m	Cable Cu/XLPE 1x16 mm <sup>2</sup>	123,3	2,12	261,396
m	Cable Cu/XLPE 1x95 mm <sup>2</sup>	282,9	10,35	2928,015
m	Cable Cu/XLPE 1x120 mm <sup>2</sup>	70,8	13,18	933,144
m	Cable Cu/PVC 1x1,5 mm <sup>2</sup>	337,2	0,12	40,464
m	Tubo enterrado	145,4	170	24718
m	Bandeja	97,4	90	8766
m	Tubo PVC	294,42	11	3238,62
			Importe total	41267,879

#### CAPÍTULO 4: TOMA DE TIERRA INDEPENDIENTE

- Unidad de obra 7 (U07): Puesta a tierra de las masas de baja tensión (ud)

Conductor de acero de 134,5 m a lo largo del perímetro de la nave 1. Incluyendo su instalación.

<b>U07</b>	<b>PUESTA A TIERRA</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Descompuestos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
m	Conductor de acero	134,5	2,129	286,371

#### CAPÍTULO 5: PROTECCIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES

- Unidad de obra 8 (U08): Interruptores automáticos

Interruptores magnetotérmicos, diferenciándose estos por su poder de corte, su intensidad nominal y el tipo de curva (B, C, D). Incluyendo su instalación.

<b>U08</b>	<b>Interruptores automáticos</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	IA In=200 A, Curva D, Pdc=16 kA	1	702	702
ud	IA In=125 A, Curva D, Pdc=16 kA	2	592,26	1184,52
ud	IA In=10 A, Curva D, Pdc=10 kA	17	150,3	2555,1
ud	IA In=16 A, Curva D, Pdc=10 kA	5	158,6	793
ud	IA In=63 A, Curva D, Pdc=10 kA	1	474,17	474,17
ud	IA In=160 A, Curva D, Pdc=16 kA	1	623	623
ud	IA In=40 A, Curva D, Pdc=10 kA	1	209,12	209,12
ud	IA In=16 A, Curva D, Pdc=16 kA	6	178,5	1071
ud	IA In=20 A, Curva D, Pdc=16 kA	1	115,42	115,42
ud	IA In=10 A, Curva B, Pdc=6 kA	6	89,44	536,64
ud	IA In=40 A, Curva D, Pdc=16 kA	1	240,12	240,12
ud	IA In=32 A, Curva D, Pdc=16 kA	3	192,22	576,66
ud	IA In=10 A, Curva D, Pdc=16 kA	3	175,34	526,02
ud	IA In=16 A, Curva C, Pdc=6 kA	1	138,2	138,2
ud	IA In=25 A, Curva D, Pdc=10 kA	1	168,98	168,98
ud	IA In=32 A, Curva D, Pdc=10 kA	1	176,22	176,22
ud	IA In=50 A, Curva D, Pdc=10 kA	1	446,97	446,97
ud	IA In=25 A, Curva C, Pdc=16 kA	1	180,3	180,3
ud	IA In=10 A, Curva C, Pdc=6 kA	1	101,2	101,2
			Importe total	10818,64

#### CAPÍTULO 6: PROTECCIÓN DIFERENCIAL

- Unidad de obra 9 (U09): Interruptor diferencial

Interruptores diferenciales de diferente sensibilidad (1000 mA, 300 mA, 30 mA).  
Incluyendo su instalación.

<b>U09</b>	<b>Interruptores diferenciales</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	ID I_ ΔN=1000 mA, selectivo	7	345,13	2415,91
ud	ID I_ ΔN=300 mA	16	255,02	4080,32
ud	ID I_ ΔN=30 mA	4	304,08	1216,32
			Importe total	7712,55

#### CAPÍTULO 7: COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA

- Unidad de obra 10 (UO10): Condensadores

Equipo de compensación de energía reactiva empleando transformadores de 10 kVAr. Incluye mano de obra de instalación.

<b>UO10</b>	<b>Condensadores</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Condensador 10 kVAr	3	600,905	1802,716

#### CAPÍTULO 8ª: TOMAS DE CORRIENTE

- Unidad de obra 11 (UO11): Tomas de corriente nave 1

Tomas de corriente de 16 A (incluyendo su instalación) situadas en la nave 1 en los locales de oficinas, baños...

<b>U011</b>	<b>Tomas de corriente nave 1</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Torreta metal 8 tomas 16 A	2	49,924	99,848

- Unidad de obra 12 (UO12): Tomas de corriente nave 2

Tomas de corriente de 16 A (incluyendo su instalación) situadas en la nave 2 en la zona de marcado láser y vestuarios.

<b>U012</b>	<b>Tomas de corriente nave 1</b>			
<i>Unidades</i>	<i>Concepto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio/Ud</i>	<i>Importe(€)</i>
ud	Torreta metal 8 tomas 16 A	1	49,924	49,924

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

<b>(1) Presupuesto de ejecución material (PEM)</b>		
Capítulo	Unidad de obra	Importe(€)
1	UO1,UO2	535,806
2	UO3,UO4,UO5	6486,94
3	UO6	41267,875
4	UO7	286,3709
5	UO8	10818,64
6	UO9	7712,55
7	UO10	1802,7163
8	U011,U012	149,7723
	Importe total	69060,670

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

<b>(2) GASTOS GENERALES</b>	
16% del PEM	11049,707 €
<b>(3) BENEFICIO INDUSTRIAL</b>	
6% del PEM	4143,640 €

<b>(4) PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</b>	
(1)+(2)+(3)	84254,01801 €

4. PRESUPUESTO FINAL

<b>(5) I.V.A</b>	
21%	17693,343 €

<b>(6) PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN</b>	
(4)+(5)	101947,361 €

**PLIEGO DE CONDICIONES**

Por motivos de extensión del presente trabajo sólo se hará mención a los elementos que componen este apartado:

1. Calidad de materiales:
  - Conductores eléctricos
  - Conductores de protección
  - Identificación de los conductores
  - Tubos protectores
  - Cajas de empalme y derivación
  - Aparatos de mando y maniobra
  - Aparatos de protección
2. Normas de ejecución de las instalaciones.
3. Pruebas reglamentarias.
4. Condiciones de uso, mantenimiento y seguridad.

**PLANOS**

PLANO Nº1: UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA INDUSTRIAL

PLANO Nº2: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

PLANO Nº3: DISTRIBUCIÓN DEL ALUMBRADO

PLANO Nº4: DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

PLANO Nº5: DIAGRAMA UNIFILAR COMPLETO

PLANO Nº6: DIAGRAMA UNIFILAR AMPLIADO PARTE 1

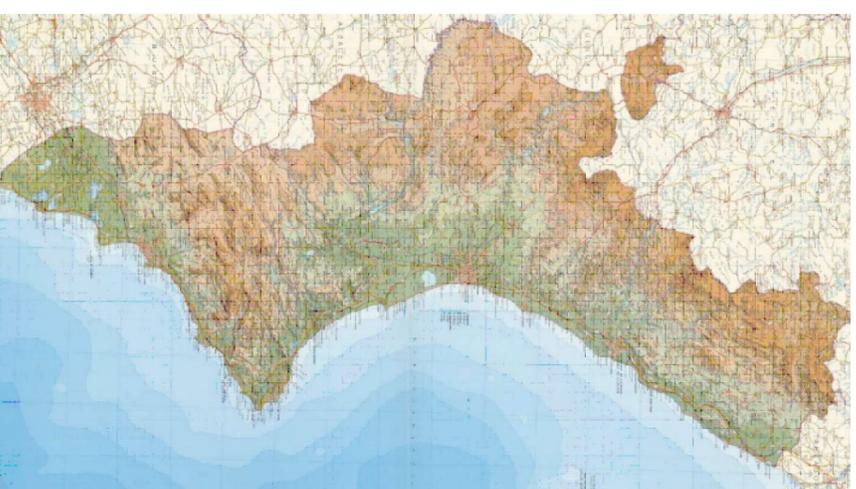
PLANO Nº7: DIAGRAMA UNIFILAR AMPLIADO PARTE 2

PLANO Nº8: DIAGRAMA UNIFILAR AMPLIADO PARTE 3

1



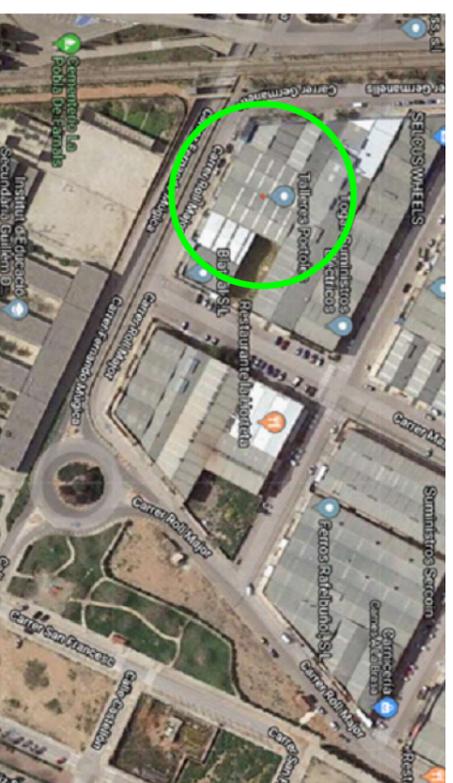
2

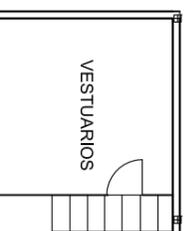
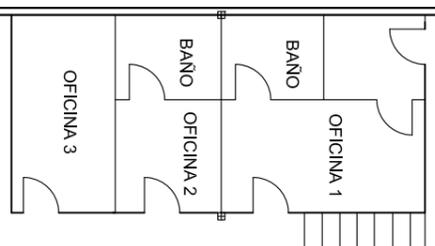
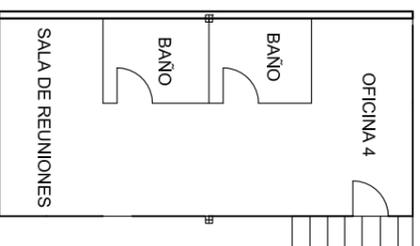


3

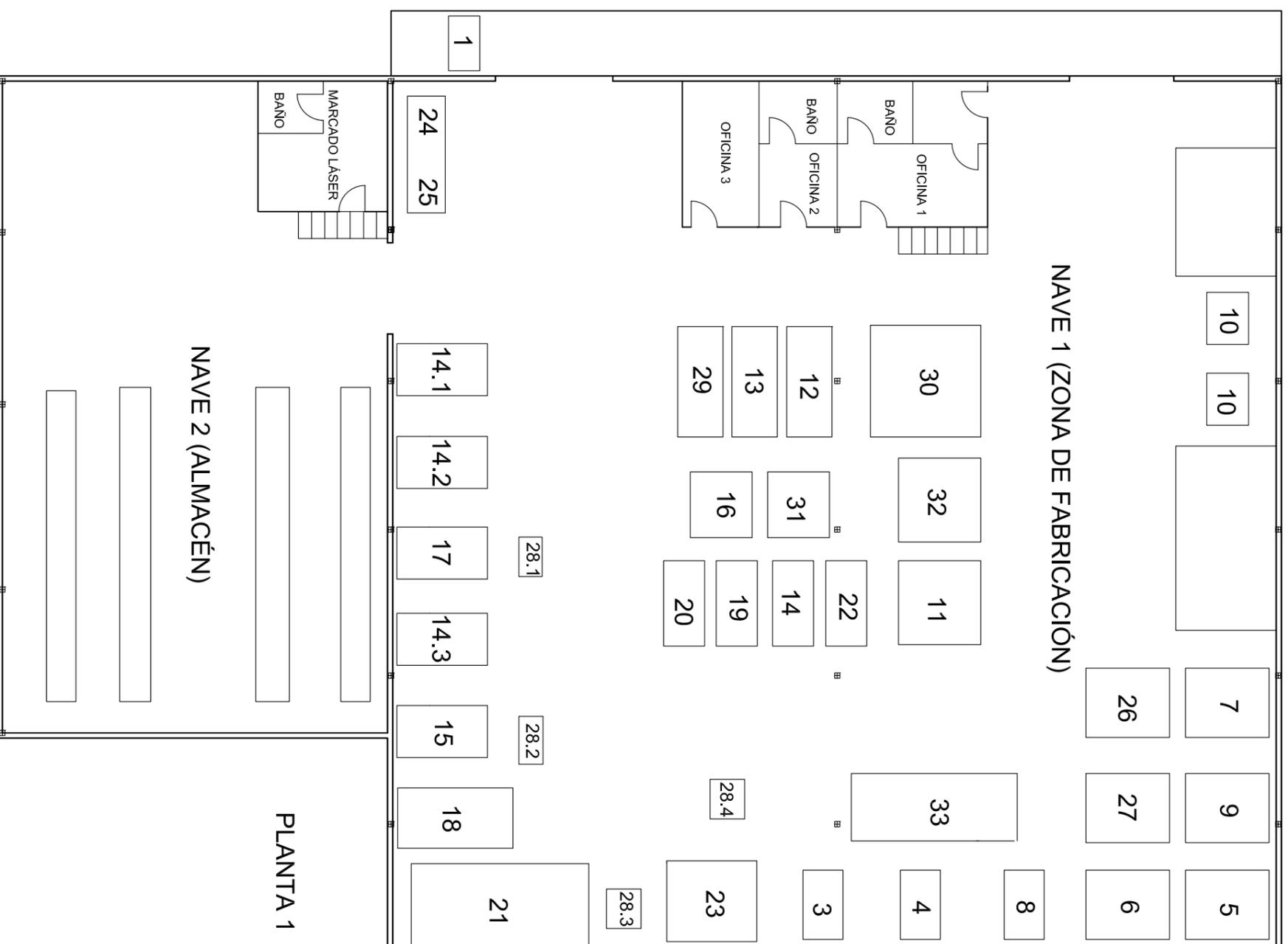


4





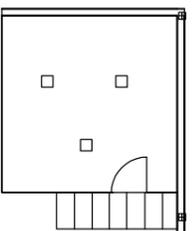
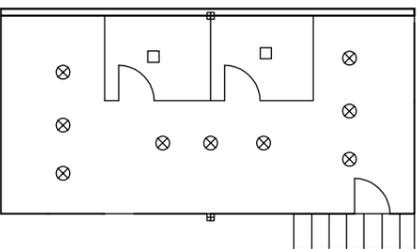
PLANTA 2



PLANTA 1

NAVE 2 (ALMACÉN)

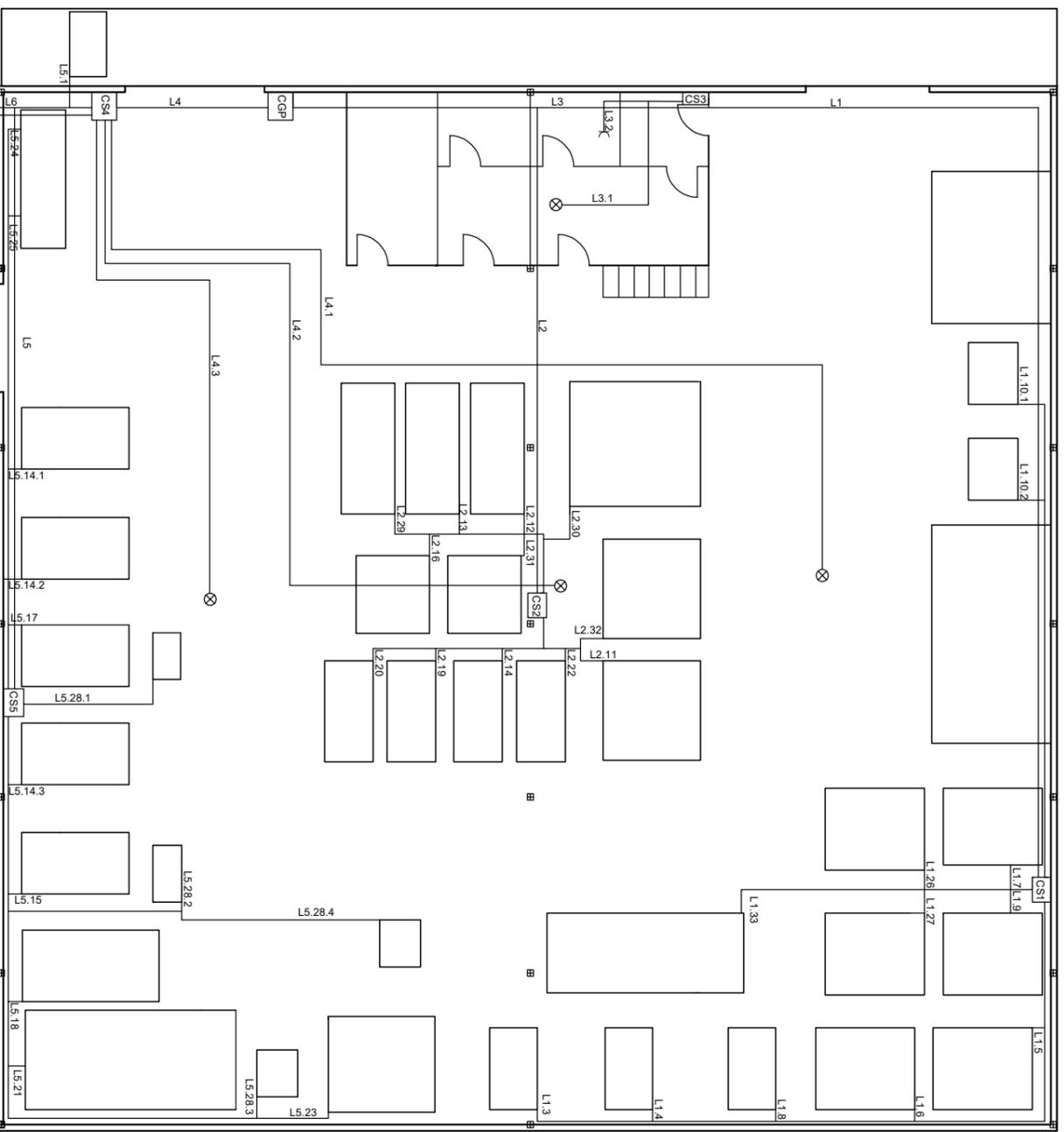
NAVE 1 (ZONA DE FABRICACIÓN)

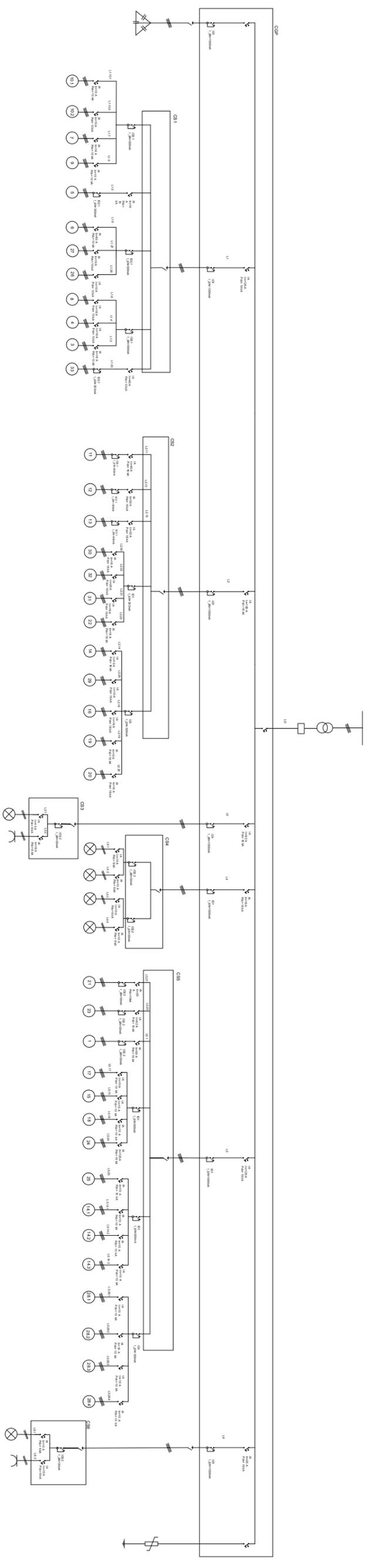


PLANTA 2

PLANTA 1

LEYENDA	
○	Alumbrado de almacén y zona de fabricación
⊗	Alumbrado de oficinas, sala de reunión y zona de marcado láser
□	Alumbrado de baños y vestuarios





LEYENDA	
	Alarmando
	Toma de corriente monofásica
	Receptor magnum
	Línea trifásica
	Línea
	Interfaz
	Tierra
	Conexiones
	Transformador
	Interruptor diferencial
	Interruptor automático



Proyecto:

PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN NAVE INDUSTRIAL DE 1500 m<sup>2</sup>

Plano:

DIAGRAMA UNIFILAR AMPLIACIÓN PARTE 1

Autor:

Garay Portolés, Alejandro

Fecha:

JULIO 2019

Escala:

Sin escala

Nº Plano:

6

