



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA  
DE BAJA TENSIÓN EN UNA INDUSTRIA DE  
FABRICACIÓN DE PLÁSTICOS UBICADA EN  
EL P.I. DE SANT JOANET

**AUTORA:** NATALIA VIDAL BATALER

**TUTOR:** CARLOS ROLDÁN PORTA

**Curso Académico:** 2015-2016

## ÍNDICE

RESUMEN.....	3
DOCUMENTO Nº1: MEMORIA.....	4
1. MOTIVACIONES Y ANTECEDENTES.....	4
2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	5
4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INDUSTRIAL.....	5
5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN.....	5
5.1 ALUMBRADO.....	6
5.2 TOMAS DE CORRIENTE.....	22
5.3 INSTALACIÓN CUADROS SECUNDARIOS.....	22
5.4 CONDUCTORES.....	23
5.5 PROTECCIONES.....	29
5.5.1 SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	29
5.5.2 PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	30
5.5.3 INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.....	34
5.5.4 PROTECCIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES.....	38
5.5.5 PROTECCIÓN FRENTE A SOBRETENSIONES.....	44
5.5.6 COMPENSACIÓN ENERGÍA REACTIVA.....	45
6. CONCLUSIÓN.....	47
7. REFERENCIAS.....	47

DOCUMENTO N°2: CÁLCULOS.....	49
1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES.....	49
2. PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DEL CT.....	51
3. CÁLCULO DE SOBREINTENSIDADES.....	53
DOCUMENTO N°3: PRESUPUESTOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN.....	56
1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA.....	56
2. PRESUPUESTOS PARCIALES.....	61
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	72
4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	72
DOCUMENTO N°4: PLANOS.....	73

RESUMEN:

A continuación se presentan una serie de documentos, los cuales se han realizado para el diseño y cálculo de una instalación eléctrica de baja tensión en una planta industrial.

El diseño se ha realizado de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) según el Real Decreto 842/2002, hasta la última actualización en el año 2015.

## DOCUMENTO N°1: MEMORIA

### 1. MOTIVACIONES Y ANTECEDENTES

El proyecto aquí presentado “*Instalación eléctrica de baja tensión en una industria de fabricación de plásticos ubicada en el PI de Sant Joanet*” está dentro del trabajo académico final en el que se debe demostrar que se han adquirido los conocimientos y capacidades necesarias que se encuentran dentro del plan de estudios de la titulación que se ha cursado, Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

La motivación que nos ha traído a desarrollar este proyecto es que abarca temas estudiados ampliamente, cumpliendo con el objetivo al que está destinado, poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo del grado ayudando a desarrollar aptitudes y capacidades para desempeñar en un futuro la actividad profesional de una ingeniera industrial.

### 2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.

El objetivo de este proyecto es el diseño de todos los elementos que conforman la instalación eléctrica de baja tensión del edificio industrial al que haremos referencia a continuación, desde la salida del centro de transformación hasta los puntos de conexión de todos los receptores eléctricos presentes en dicho edificio como son:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. Instalaciones de enlace  | 4. Instalación del alumbrado exterior  |
| 2. Instalaciones interiores | 5. Protecciones                        |
| 3. Alumbrado                | 6. Compensación de la energía reactiva |

### 3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Puesto que desconocemos la ubicación real de la planta industrial que vamos a estudiar, escogemos su emplazamiento en el polígono industrial de Sant Joanet (Valencia).

En el estudio del emplazamiento se han tenido varios factores en cuenta para poder tomar dicha decisión. En primer lugar, se trata de un polígono industrial de un pueblo pequeño, por tanto el precio del suelo es más bajo que el de otras ciudades más grandes. En segundo lugar, está situado a 10 minutos de la autovía A-7 y a 20 minutos de la autovía A-35. Finalmente, este polígono está urbanizado en su totalidad, cubriendo por tanto las necesidades de luz, agua y gas.

La planta ocupará las parcelas F-4 y TTC4 situadas en la calle Les Foies 5-7 ya que estas parcelas están libres, cubre las necesidades de espacio de la industria previendo futuras ampliaciones, o la posible venta de parte de la parcela en un momento dado. Además, éstas están situadas en una esquina cerca de la entrada del polígono, facilitando así las maniobras de los vehículos de carga y descarga de materiales.



**Figura 1.** Vista en planta del polígono industrial de Sant Joanet. (Fuente: Google Maps)

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INDUSTRIAL

El edificio es una planta industrial dedicada a la fabricación de productos plásticos mediante inyección. Consta de dos niveles; en el primer nivel hay tres zonas claramente diferenciadas: una zona dedicada al almacenamiento, otra dedicada al proceso productivo y otra para uso de los trabajadores (vestuarios y comedor), en el segundo nivel se encuentra la zona dedicada a tareas administrativas (baños, despachos, sala de reuniones...). Además, en el exterior existe una zona destinada al aparcamiento de los empleados o clientes y otra zona dedicada a carga y descarga de materiales para el almacén.

En total, el edificio tiene una superficie de 2793, 25 m<sup>2</sup>. La planta tiene los siguientes locales distribuidos:

- Oficina 1 (planta 2)
- Sala de reuniones (planta 2)
- Zona de CT (planta 1)
- Aseos (planta 2)
- Oficina 2 (planta 2)
- Vestuarios (femeninos y masculinos) (planta 1)
- Local destinado a trituradora (planta 1)
- Entrada (planta 1)
- Comedor (planta 1)
- Local grupo de frío (planta 1)
- Almacén (planta 1)

La planta industrial tiene una altura total de 7 metros. Para que toda la planta tuviese la misma altura y tuviese un mejor acabado estético, se decidió que las zonas de no producción como son las oficinas, vestuarios, aseos, entrada y comedor se repartirían en dos plantas, de 3,5 metros cada una.

#### 5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN

El edificio está alimentado mediante un transformador situado en el CT, con una superficie de 18 m<sup>2</sup>. Tiene una relación de transformación de 20 kV/400 V, alimentado por una red de alta tensión situada en el mismo polígono industrial.

Los receptores eléctricos situados en la planta y su potencia demandada:

Identificación en el plano	RECEPTORES DE FUERZA MOTRIZ	Potencia kW
11	Taladro vertical de 35 mm broca ERLO	0'375
13	Torno de 2 m. e.p. AMUTIO	3'75
12	Fresadora de Torreta ERLO con 2 motores pot. Total 4 C.V	3
1-5	Máquina de Inyección DEMAG-240 de 240 tm.	30+10
7	Máquina de inyección FISHER F-650 de 650 Tm.	2x60+25
8	Máquina de inyección MARGARIT M-650 de 650 Tm	2x40+20
10	Máquina de inyección STUBBER-S-350 de 350 Tm	50+15
6	Máquina de inyección MARGARIT M-750 de 750 Tm	2x80+30
9	Máquina de inyección ANKELWERK A -76/400 de 350 Tm	60+15
23-24	Secador ATLAS COPCO FD 30	1
20	Compresor ATLAS COPCO tipo rotativo con nº de fabricación AII - 213027	20
21	Compresor ATLAS COPCO tipo rotativo con nº de fabricación AII - 253577	15
22	Compresor ATLAS COPCO tipo rotativo con nº de fabricación AII - 241136	18'75
19	Calderín de 1000 l. construido por FILCA, S.A. y placa del M.I. de Madrid nº 933319 de fecha 29/01/91 Presión de timbre 9 kg/cm <sup>2</sup>	1
25	Puente grúa marca G-H	15
14	Trituradora de PE de Exclusivas Puchades	25
26	Embolsadora Clareuvas 7/94	5
16	Grupo de frío CARRIER	36'8
17	Grupo de frío REFCON- COPPELAND	2x30
18	Grupo de frío HITEMA	2+25
27	Bomba : Grupo contra-incendios	11'25
15	Trituradora para PVC	7'5
28-30	Aire acondicionado oficinas	5
31	Carrusel de distribución	3
32	Ascensor OTIS para 4 personas	13,5
	Luminaria	8,12
	Tomas de corriente	30
	<b>POTENCIA TOTAL INSTALADA</b>	<b>936,05</b>

**TABLA 1:** Receptores de potencia presentes en la instalación

## 5.1 Alumbrado

El alumbrado en una planta industrial consta de dos partes, el alumbrado general y el de emergencia, sin embargo, en la planta de estudio al tener un aparcamiento dentro de su recinto deberemos tener en cuenta también el alumbrado exterior. Para diseñar la instalación de alumbrado existen diversos criterios; pero en el proyecto aquí desarrollado se han empleado los criterios de uniformidad, deslumbramiento, iluminancia horizontal y las curvas de distribución luminosa.

- La *uniformidad* es el cociente entre la iluminancia mínima y la máxima de un local. Se considera una buena uniformidad a partir de valores del 80% en el alumbrado general.
- El *deslumbramiento* es un fenómeno a evitar, ya que puede causar malestar en los trabajadores y las trabajadoras.
- La *iluminancia horizontal* viene determinada por el tipo de actividad que se realiza en él, como se indica en la norma **UNE EN 12464-1**.

Tipo de actividad o tarea	Iluminancia E (lux)	R <sub>a</sub>
Mostrados de recepción	300	80
Sala de conferencias y reuniones	500	80
Oficina	300	80
Instalaciones con intervención manual limitada	150	40
Pasillos y áreas de circulación	100	40
Escaleras	150	40
Vestuarios, servicios	200	80
Almacenes	200	60

**TABLA 2:** Valores de iluminancia recomendados (Fuente: UNE EN 12464-1)

- Las *curvas de distribución luminosa* son muy importantes para seleccionar el alumbrado ya que representan la intensidad luminosa mediante coordenadas polares.

### 5.1.1 Diseño del alumbrado general

Para poder diseñar el alumbrado de nuestra planta industrial primero debemos introducir el concepto de Iluminancia.

La iluminancia media del local se ha calculado mediante el programa informático DIALUX; la cual se determina a partir de la siguiente expresión:

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

Donde  $E_{med}$  es la iluminancia media del local en lux,  $\eta$  es el rendimiento de la luminaria,  $u_h$  es la relación entre la iluminancia media en el plano de trabajo y el flujo emitido por la luminaria por m<sup>2</sup>, también llamado factor de utilización,  $n$  es el número de luminarias,  $\Phi_{TOT}$  es el flujo emitido por todas las lámparas,  $A$  es el área del plano de trabajo (m<sup>2</sup>) y  $m$  es el factor de mantenimiento. Estos datos se obtienen de la geometría del local o son proporcionados por el fabricante de las luminarias.

Sin embargo, el factor de mantenimiento depende de la instalación, como recomendación emplearemos la siguiente tabla:

<b>Clasificación de la sala</b>	<b>Factor de mantenimiento según el grado de suciedad 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 3:** Factores de mantenimiento según el tipo de local (Fuente: libro de Tecnología Eléctrica)

Como ya hemos introducido anteriormente, el factor de mantenimiento depende de la instalación, por tanto, hemos escogido para cada local un valor u otro dependiendo de la finalidad del mismo, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los factores que se han escogido para cada local en función de la actividad que se va a destinar cada uno y de la tabla anteriormente presentada.

<b>Local</b>	<b>Factor de mantenimiento</b>	<b>Local</b>	<b>Factor de mantenimiento</b>
Entrada y pasillo	0.8	Oficina 1 y 2	0.8
Comedor	0.8	Sala de reuniones	0.8
Vestuario 1 y 2	0.8	Aseos 1 y 2	0.8
Almacén	0.7	Zona grupo de frío	0.7
Zona proceso industrial	0.7	Zona trituradora de plástico	0.7
Taller	0.7		

**TABLA 4:** Factores de mantenimiento empleados en los locales de la planta industrial

Para la distribución en planta de las luminarias, debemos determinar la iluminancia necesaria a la altura del plano útil de trabajo de cada local, la cual vendrá determinada según la actividad que se realice en él como se ha explicado en la Tabla 2, tomando estas iluminancias como el objetivo a alcanzar.

<b>Local</b>	<b>Iluminancia recomendada por UNE EN 12464-1 E (lux)</b>	<b>Local</b>	<b>Iluminancia recomendada por UNE EN 12464-1 E (lux)</b>
Entrada y pasillo	300	Oficina 1 y 2	500
Comedor	300	Sala de reuniones	500
Vestuario 1 y 2	200	Aseos 1 y 2	200
Almacén	200	Zona grupo de frío	200
Zona proceso industrial	150	Zona trituradora de plástico	200
Taller	200		

**TABLA 5:** Iluminancia objetivo para cada local

Definiremos la altura del plano útil de trabajo, como aquella altura a la que se realizan las tareas para las que ha sido diseñado el local. Para aquellas tareas que se realizan sentado, el plano de trabajo debe quedar a la altura de la mesa y para aquellas tareas que se realizan de pie, el plano de trabajo debe quedar a una altura de 0,85m. En la siguiente tabla identificaremos a que altura se encuentra el plano de trabajo según el local.

Local	Altura del plano de trabajo (m)	Local	Altura del plano de trabajo (m)
Entrada y pasillo	0	Oficina 1 y 2	0,75
Comedor	0,75	Sala de reuniones	0,75
Vestuario 1 y 2	0,85	Aseos 1 y 2	0,85
Almacén	0,85	Zona grupo de frío	0,85
Zona proceso industrial	0,85	Zona trituradora de plástico	0,85
Taller	0,85		

**TABLA 6:** Altura del plano útil de trabajo para cada local

Con el objetivo lumínico determinado, las actividades designadas que se van a realizar y la altura del plano útil de cada local, podemos proceder a la búsqueda de la luminaria que mejor se adapte a las especificaciones escogidas. Se trata de un proceso iterativo con muchas pruebas y error, ya que se existen muchas variables que deben tenerse en cuenta como son el flujo de la luminaria su uniformidad, la altura del punto de luz, etc. Una vez escogida la luminaria, la insertamos en DIALUX para que realice la distribución y determine el número de luminarias necesarias. Aquí radica la complejidad de este método, ya que el programa sólo nos proporciona dos distribuciones, la que cumple con la iluminancia media determinada o la que consigue la uniformidad adecuada (>80%) siendo poco frecuente la obtención de ambos objetivos al mismo tiempo.

El modelo óptimo al que aspiramos debe lograr la iluminancia media requerida y una uniformidad adecuada con el menor número de luminarias.

El primer paso a seguir para seleccionar la luminaria adecuada es determinar el tipo de flujo (spot angosto, spot medio, ancho...) que se va a necesitar en el local según sus dimensiones y su aplicación y la fuente de luz que se va a emplear, siendo necesaria la consideración de diversos factores entre ellos, el precio, el rendimiento a color, la eficiencia energética/lumínica...

El rendimiento a color ( $R_a$ ) es un factor que indica como de adecuada es una luminaria en función de las necesidades cromáticas del local.

Grupo rendimiento en color	Rango de rendimiento en color (IRC o $R_a$ )	Apariencia de color	Ejemplos para usos preferible	Ejemplos para uso aceptable
1 A	IRC $\geq$ 90	Cálido	Iguualaciones de color, exploraciones clínicas, galerías de arte	
		Intermedio		
		Frío		
1 B	90 > IRC $\geq$ 80	Cálido Intermedio	Casas, hoteles, restaurantes, tiendas, oficinas, escuelas, hospitales	
		Intermedio Cálido	Imprenta, industria de pintura y textiles, trabajo industrial	
2	80 > IRC $\geq$ 60	Cálido	Trabajo industrial	Oficinas, escuelas
		Intermedio		
		Frío		
3	60 > IRC $\geq$ 40		Industrias bastas	Trabajo industrial
4	40 > IRC $\geq$ 20			Trabajos bastos, trabajo industrial con bajo requerimiento de rendimiento de color

**FIGURA 2:** Rendimiento a color según uso del local (Fuente: aicvigo.blogspot.com)

Existen varias fuentes de luz, lámparas incandescentes, de descarga o lámparas LED. En primera instancia descartamos las lámparas incandescentes debido a su corta vida útil, su gran mantenimiento y su baja eficiencia lumínica (10-18 lm/W) supondría un gran coste económico. Las lámparas de descarga, sin embargo, tienen una larga vida útil y una buena eficiencia energética, pero un bajo rendimiento cromático ( $R_a \leq 40$ ), por esta razón son óptimas para el almacén, la zona de producción, el taller, la zona del grupo de frío y la zona de la trituradora ya que estos locales no requieren de un gran rendimiento cromático.

Para las oficinas, la entrada y el pasillo nos hemos decantado por lámparas de tipo LED por su larga vida útil, su gran respuesta cromática, además de su rendimiento de color que es necesario para que se desempeñe la actividad a la que han sido destinados los locales aunque la inversión sea mayor que con las lámparas fluorescentes.

Una vez escogida la fuente de luz, queda elegir la forma constructiva que debe tener la luminaria. En el primer y el último grupo de locales se han dispuesto luminarias de tipo empotrado en el techo o de superficie en el techo puesto que estos locales tienen una altura pequeña (3,5m) con lo cual, la iluminancia que llega al plano útil de trabajo es suficiente. En el segundo grupo de locales, en el caso del almacén y la zona de proceso industrial, como la altura es de 7m, se han dispuesto luminarias de tipo pendular para reducir la altura de montaje y que llegue al plano útil una mayor iluminancia.

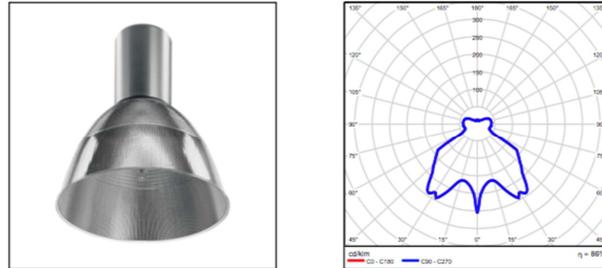
<b>Alumbrado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Potencia (W)</b>
Philips Lighting MPK460	16	227
Philips Lighting RS140B	6	11
Philips Lighting DN130B	12	22
LED Philips Lighting RC125B	23	41
Philips Lighting MPK561	3	43,5
Philips Lighting TCS760	9	89
Philips Lighting RVP151	6	80
Philips Lighting FFS764	6	171
Philips Lighting TBS260	2	46
Philips Lighting TCS640	6	110
ARCLUCE Q7833 KRIO LED	32	0,7
	<b>POTENCIA TOTAL</b>	<b>8116,9</b>

**TABLA 7:** Resumen de la potencia del alumbrado instalado

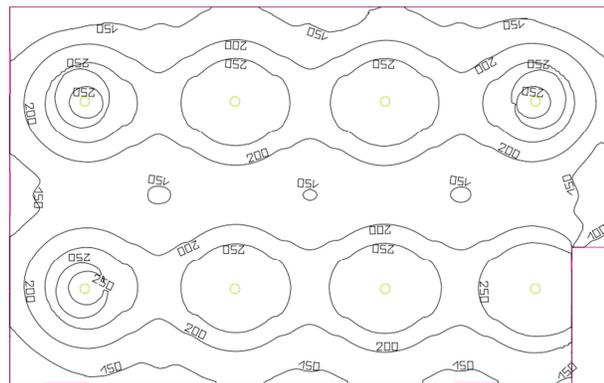
## 5.1.2 Diseño del alumbrado interior

## 5.2.2.1 Alumbrado de almacén y zona de producción:

Como ambos locales no requieren de un gran rendimiento cromático se ha escogido la misma luminaria suspendida con un spot medio para los dos. Se trata de una lámpara de descarga Philips Lighting MPK460 1xCDM-TPMW210W EB P- D635-NB.



**FIGURA 3:** Luminaria almacén y zona de producción



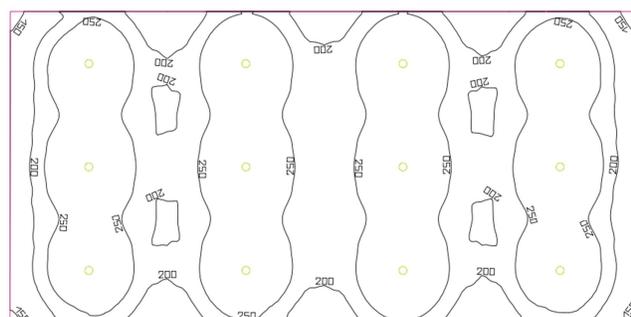
**FIGURA 4:** Distribución isolíneas del almacén

Illuminancia media: 204 lx

Illuminancia máxima: 320 lx

Nº de luminarias: 8

Tipo de luminaria: Pendular



**FIGURA 5:** Distribución isolíneas de la zona de producción

Illuminancia media: 245 lx

Illuminancia máxima: 322 lx

Nº de luminarias: 12

Tipo de luminaria: Pendular

5.2.2.2 Vestuarios y aseos:

Disponemos de dos luminarias distintas, empotradas en el techo para conseguir una mejor estética. Como se puede observar, la primera tiene un spot angosto para iluminar la zona del lavabo y la segunda un spot medio para iluminar el resto del local. No se ha empleado las distribuciones de DIALUX porque éstas no se adaptan a las necesidades del local. Ambas son tipo LED la primera es la luminaria Philips Lighting RS140B 1xLED6-32-/840 y la segunda la Philips Lighting DN130B D217 1xLED20S/830.



FIGURA 6: Luminaria aseos y vestuario tipo 1

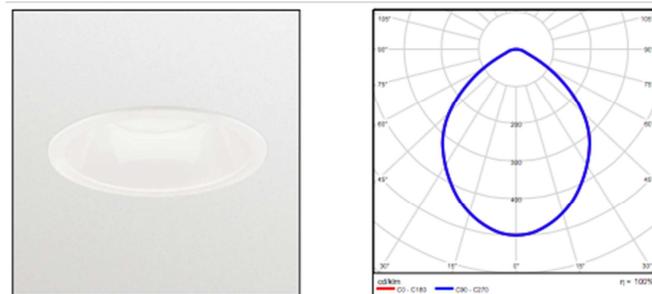
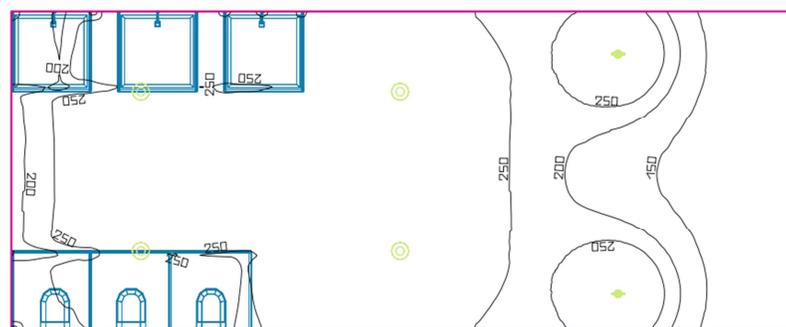


FIGURA 7: Luminaria aseos y vestuario tipo 2



**FIGURA 8:** Distribución isólineas de los vestuarios

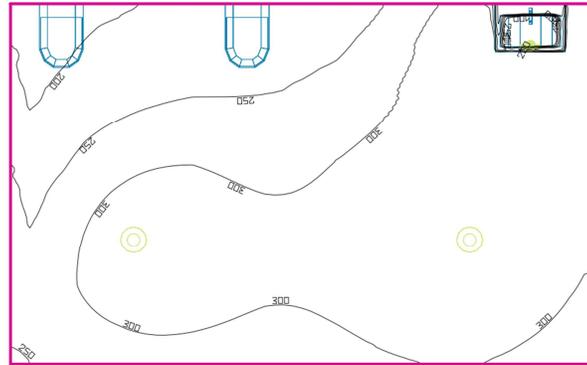
Illuminancia media: 264 lx

Illuminancia máxima: 399 lx

Nº de luminarias tipo 1: 2

Nº de luminarias tipo 2: 4

Tipo de luminaria: Empotrada

**FIGURA 9:** Distribución isólineas de los aseos

Illuminancia media: 300 lx

Illuminancia máxima: 508 lx

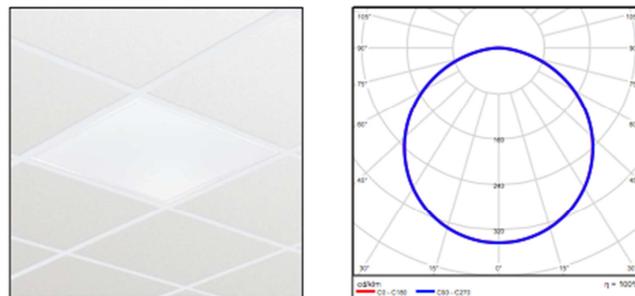
Nº de luminarias tipo 1: 1

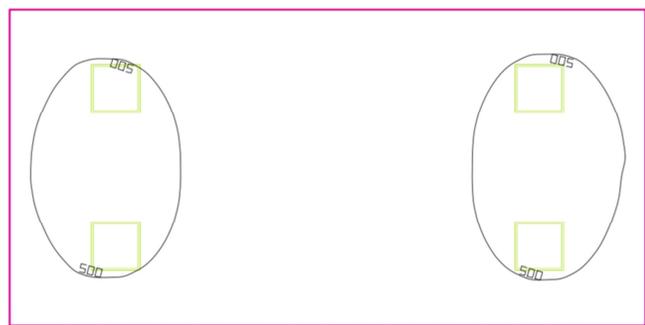
Nº de luminarias tipo 2: 2

Tipo de luminaria: Empotradas

#### 5.2.2.3 Oficinas 1, 2 y sala de reuniones:

En estos locales se ha empleado una luminaria empotrada en el techo de spot ancho para proporcionar una mayor uniformidad y que el plano útil de trabajo quede con el mismo nivel de iluminancia. Se trata de una lámpara LED Philips Lighting RC125B W60L60 1xLED34S/840 NOC

**FIGURA 10:** Luminaria en oficina 1, 2 y sala de reuniones

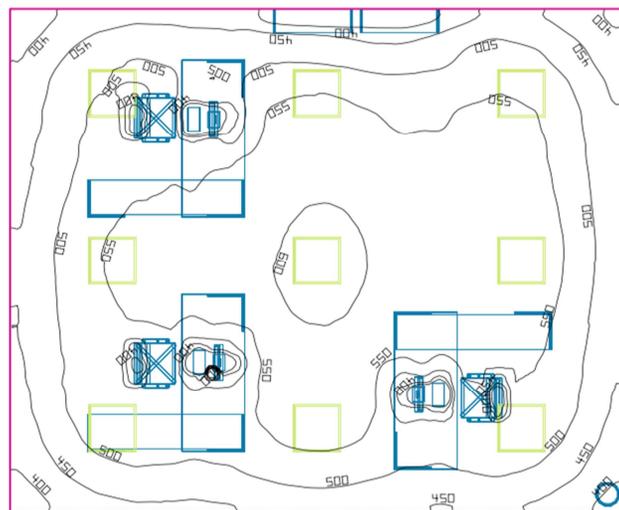
**FIGURA 11:** Distribución isófonas de la oficina 1

Illuminancia media: 471 lx

Illuminancia máxima: 534 lx

Nº de luminarias: 4

Tipo de luminaria: Empotradas

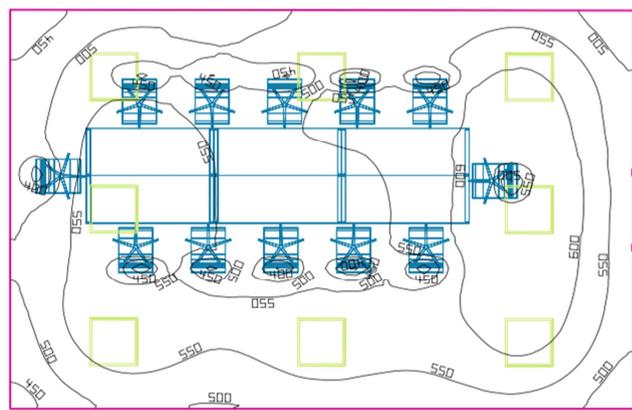
**FIGURA 12:** Distribución isófonas de la oficina 2

Illuminancia media: 516 lx

Illuminancia máxima: 790 lx

Nº de luminarias: 9

Tipo de luminaria: Empotradas



**FIGURA 13:** Distribución aislíneas de la sala de reuniones

Iluminancia media: 547 lx

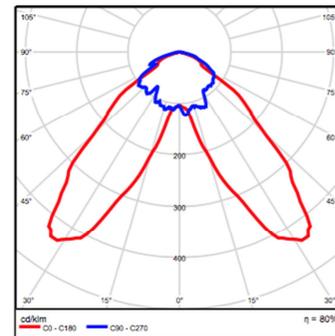
Iluminancia máxima: 651 lx

Nº de luminarias: 8

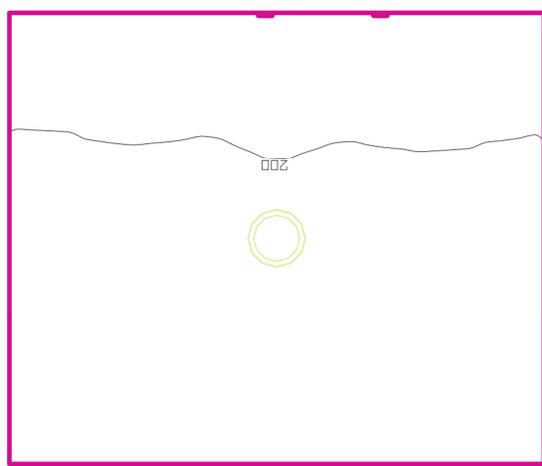
Tipo de luminaria: Empotradas

### 5.2.2.3 Zona de taller, trituradora y grupo de frío

En este caso hemos empleado una luminaria de spot ancho ya que al ser los locales pequeños con una sola luminaria cumplimos con los requerimientos lumínicos del local. Se trata de una lámpara de descarga Philips Lighting MPK561 1xCDM-T35W/930 EB DA



**FIGURA 14:** Luminaria zona de taller, trituradora y grupo de frío



**FIGURA 15:** Distribución isófonas de la zona de taller, trituradora y grupo de frío

Iluminancia media: 215 lx

Iluminancia máxima: 245 lx

Nº de luminarias: 1

Tipo de luminaria: Pendular

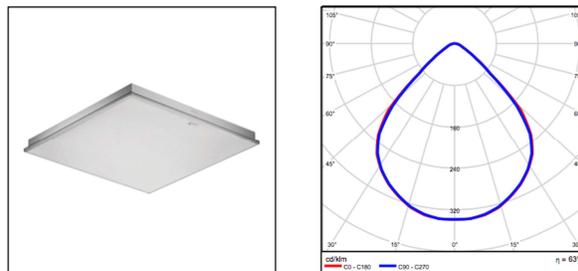
Nota: sólo se ha añadido una distribución de isófonas porque los tres locales tienen el mismo tamaño y no se ha creído necesaria la repetición de los datos.

#### 5.2.2.4 Pasillo y entrada

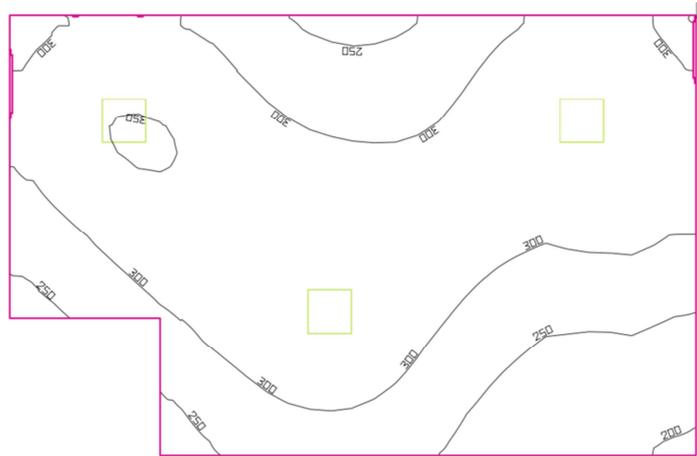
Para estos dos locales hemos empleado la misma luminaria ya que tienen la misma finalidad, son zonas de paso para los trabajadores.

Aunque en el caso de la entrada, al tener una recepción requiere mayor iluminancia que la zona de pasillo de la segunda planta.

Philips Lighting TCS760 4xTL5-20W HFP AC-MLO, se trata de una lámpara fluorescente.



**FIGURA 16:** Luminaria de la entrada y del pasillo



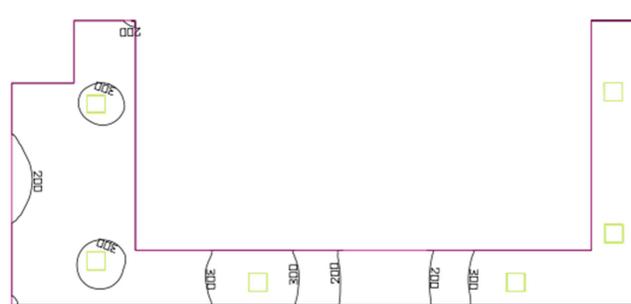
**FIGURA 17:** Distribución isófonas de la entrada

Iluminancia media: 300 lx

Iluminancia máxima: 354 lx

Nº de luminarias: 3

Tipo de luminaria: Empotrada



**FIGURA 18:** Distribución isófonas del pasillo

Iluminancia media: 296 lx

Iluminancia máxima: 460 lx

Nº de luminarias: 6

Tipo de luminaria: Empotrada

#### 5.2.2.5 Comedor

Para esta zona hemos empleado la misma luminaria que para las oficinas, ya que también se requiere una iluminancia uniforme a la altura del plano útil.

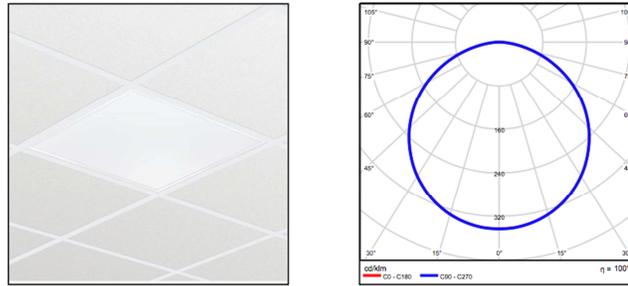


FIGURA 19: Luminaria zona comedor

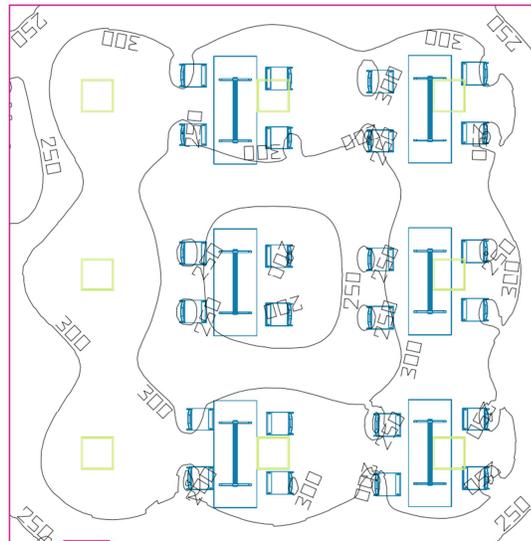


FIGURA 20: Distribución isolíneas del comedor

Iluminancia media: 300 lx

Iluminancia máxima: 374 lx

Nº de luminarias: 8

Tipo de luminaria: Empotrada

### 5.1.3 Alumbrado de emergencia

Los edificios como el de nuestro estudio requieren del diseño de unas vías de evacuación las cuales dirijan a todos los presentes en el edificio hacia el exterior del mismo en caso de cualquier fallo o accidente. Estas vías deben asegurar la seguridad de las personas frente a una posible avalancha, tal y como se describe en la norma **Básica de la Edificación CPI/96**.

Por la distribución de la planta, hemos dispuesto dos vías de evacuación posible, ya que existen dos zonas distintas conectadas entre sí. Éstas deben dirigir hacia el exterior del edificio siendo lo más sencillas posible, evitando los posibles obstáculos.

La primera vía de evacuación diseñada se encuentra en la zona del almacén. Hemos establecido como salida la pequeña puerta del mismo que da acceso al exterior. La

vía empezará en los locales interiores que están en el almacén y seguirá a través de cada uno de los pasillos que constituyen el mismo.

La segunda vía de evacuación diseñada se encuentra en la zona de producción, las zonas comunes y las oficinas. Para esta vía hemos diseñado dos puertas de emergencia; la primera es la misma puerta de entrada a la planta industrial y la segunda se encuentra en la parte posterior de la zona del proceso de producción.

Según la **ITC-BT-28** para diseñar el alumbrado de emergencia debemos tener en cuenta la reglamentación de protección contra incendios, regida por el **REAL DECRETO 2267/2004** del 3 de Diciembre; la cual indica que sólo es necesario instalar alumbrado de emergencia en las vías de evacuación y en aquellas zonas donde haya cuadros de alumbrado que puedan resultar peligrosos ante una posible evacuación. Aunque el CT se encuentre en el exterior del edificio para poder tener acceso desde el exterior, como dicta la norma, también debemos situar en su interior un alumbrado de emergencia.

El alumbrado debe proporcionar, a nivel del suelo y en el eje de los pasos principales una iluminación mínima de 1 lux, y para la zona de los cuadros de distribución 5 lux, siendo la distancia entre luminarias inferior en todo momento a 8 metros.

Otro punto importante en el diseño del alumbrado de emergencia es el tipo de conexión que se va realizar, si va estar en líneas distintas o en la misma línea que el alumbrado general.

Ambas opciones son igual de válidas, no obstante, con la primera opción podemos correr el riesgo de que el alumbrado de emergencia se ponga en marcha sin que haya ocurrido ningún problema. Por esta razón optamos por conectar ambos alumbrados a la misma línea, así cuando el alumbrado general se quede sin alimentación (el interruptor diferencial se abra) el alumbrado de emergencia se encenderá de forma selectiva por distintos sectores.

La luminaria escogida en el diseño del alumbrado de emergencia ha sido, lámparas empotradas en la pared que serán situadas en todas la puertas para garantizar que las vías de acceso estarán iluminadas, para el pasillo de la segunda planta y la zona de entrada se ha escogido aplicar un kit de emergencia sobre algunas de las luminarias del alumbrado general que en caso de emergencia hará que éstas actúen como si de luminarias de emergencia se tratasen. No obstante, para las zonas de producción y la zona de almacén al tener los techos altos, la solución empleada en otros locales no es válida ya que todos los kits de emergencia están dirigidos a lámparas LED o fluorescentes; por tanto, se ha decidido instalar luminaria fluorescente en las vías de acceso las cuales sólo actuarán en caso de emergencia.



FIGURA 23: Kit de transformación a luminaria de emergencia

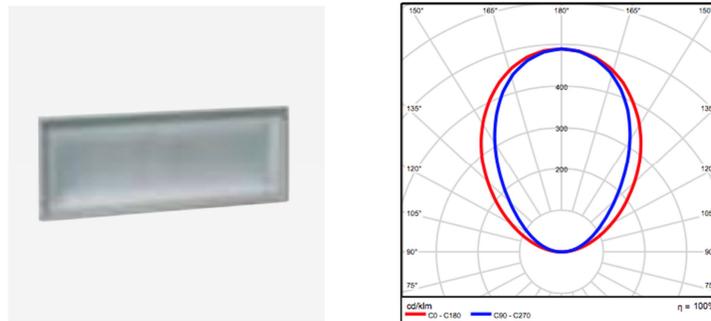


FIGURA 24: Luminaria emergencia empotrada en la pared

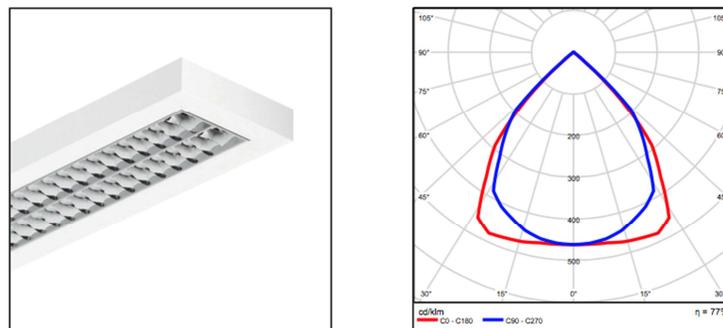
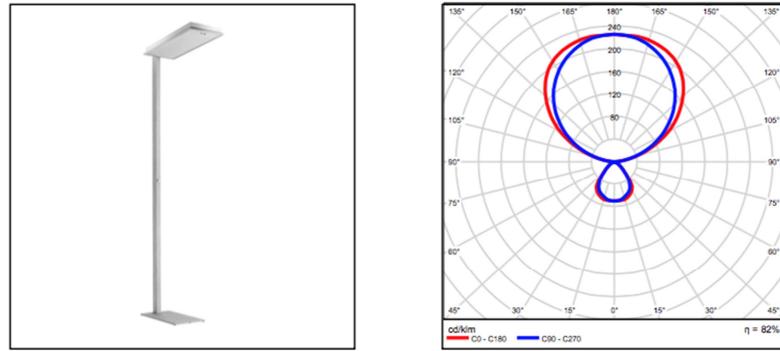


FIGURA 25: Luminaria empleada en almacén y zona de producción como luminaria de emergencia

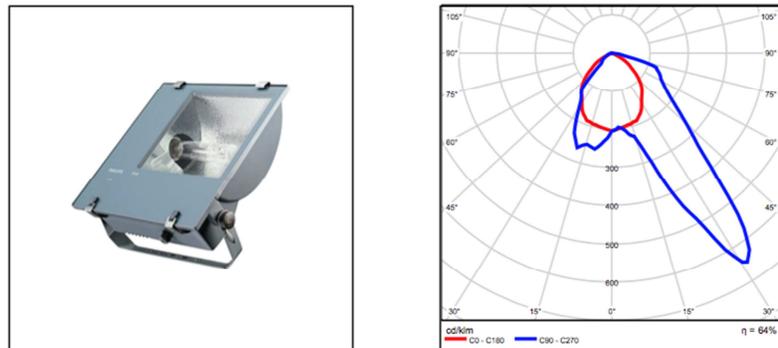
#### 5.1.4 Alumbrado del exterior

Como en el **REBT** no se establece ninguna norma a seguir, hemos diseñado la luminaria exterior de forma que todos los accesos a la planta industrial desde el exterior quedaran iluminados.

Siguiendo la idea planteada anteriormente, hemos situado luminarias empotradas en la pared, en la zona de carga y descarga del almacén, y en la zona de la acera dispuesta en delante del aparcamiento de empleados, iluminando así el aparcamiento. También se ha dispuesto de una luminaria en la puerta de acceso para vehículos y otra en la zona de acceso para camiones.

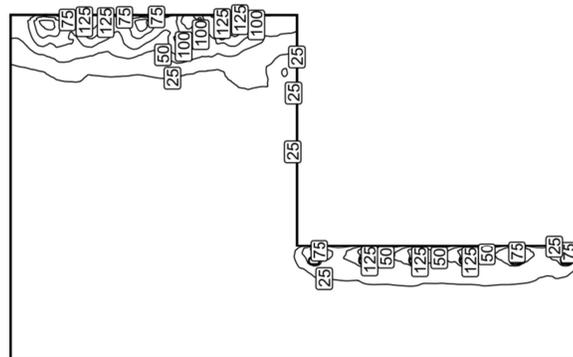


**FIGURA 26:** Luminaria exterior zona aparcamiento



**FIGURA 27:** Luminaria exterior zona carga y descarga

Los resultados son:



**FIGURA 28:** Distribución isolíneas del exterior de la planta

Illuminancia media: 24,4 lx

Illuminancia máxima: 300 lx

Nº de luminarias aparcamiento: 6

Nº de luminarias zona carga y descarga: 6

Tipo de luminaria aparcamiento: De pie

Tipo de luminaria zona carga y descarga: Empotrada en la pared

## 5.2 Tomas de corriente

Al tratarse de un edificio industrial con una zona de oficinas, debemos establecer distintas tomas de corriente para permitir conectar otros receptores no previstos.

Se ha decidido que la mejor forma de actuar, sería posicionar una caja empotrada en el suelo cerca de cada puesto de trabajo teniendo en cuenta las necesidades de cada uno. Existen diversos fabricantes y modelos, pero en nuestro caso nos hemos decantado por los modelos de 45x45 y el 90x45 de Schneider, los cuales ocupan poco espacio y se integran en su totalidad con el suelo, por tanto no resultarán ser un obstáculo.

Debemos ser cautelosos a la hora de escoger la ubicación de estas tomas de corriente, ya que podríamos correr el riesgo de que se deterioren rápidamente a causa de los pasos del personal sobre ellos. Por esta razón deberemos instalarlas en las zonas más alejadas del acceso del personal a su puesto de trabajo. También debemos tener en cuenta que este tipo de tomas de corriente no se pueden emplear en la sala de reuniones, por esa razón ubicaremos la toma de corriente sobre la mesa.

Sin embargo, la disposición de tomas de corriente no queda ahí, también debemos ubicar algunas más a lo largo de la planta. El tipo escogido para estos casos son enchufes vacíos empotrados en la pared.

En resumen, hemos ubicado tomas de corriente en:

- Oficina 1: una caja de suelo módulo 45x45 y una toma de corriente doble
- Oficina 2: tres cajas de suelo de módulo 45x45, y dos tomas dobles.
- Sala de reuniones: un puesto de mesa POP-UP y una toma de corriente doble.
- Aseo 1: dos tomas de corriente doble
- Aseo 2: dos tomas de corriente doble
- Vestuario 1: dos tomas de corriente simple y una doble
- Vestuario 2: dos tomas de corriente simple y una doble
- Cocina: una toma de corriente doble y dos simple
- Almacén: dos tomas de corriente simple
- Zona de producción: dos tomas de corriente trifásicas.
- Zona de taller: dos tomas de corriente dobles

## 5.3 Instalación cuadros secundarios

El número de cuadros que se ha decidido ha sido para conseguir una instalación más flexible y de actuación más fácil en caso de cualquier avería sin incurrir en un mayor coste de instalación.

El cuadro general es el que recibe la corriente del CT para alimentar todos los elementos de esta instalación. Éste se encuentra cerca del CT ya que ser el que mayor corriente recibe minimizamos así las pérdidas mediante un trazado recto y corto.

En primer lugar, se han instalado los cuadros encargados del alumbrado. Debido a que es una instalación bastante extensa, se han definido diversas zonas de alumbrado alimentadas por varios cuadros secundarios, obteniendo una mayor flexibilidad en la instalación para evitar el corte de la luz si se presentan problemas en alguna de las zonas.

Los cuadros se han instalado para minimizar las longitudes de las líneas, agrupando los receptores más próximos a los mismos intentando que éstos no se sobrecarguen.

Los cuadros secundarios se eligen en función de los dispositivos que protegen cada línea que sale del cuadro, teniendo en cuenta que un dispositivo tetrapolar requiere un espacio de 4 módulos de 18 mm, mientras que los bipolares requieren 2 módulos de 18 mm. En función de estos requerimientos de espacio, se escoge el cuadro secundario, teniendo en cuenta que se deja un margen superior del 25% del espacio total demandado para posibles cambios. Así pues, los cuadros seleccionados son:

Cuadro de distribución	Modelo	Alto (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Nº módulos
<b>CG</b>	PRA 10204 Schneider	750	426	125	48
<b>C1</b>	PRA 10204 Schneider	750	336	123	44
<b>C2</b>	PRA 10204 Schneider	750	336	123	48
<b>C3</b>	PRA 10204 Schneider	750	336	123	36
<b>C4</b>	PRA 10203 Schneider	600	336	123	26
<b>C5</b>	PRA 10202 Schneider	450	336	123	16
<b>C6</b>	PRA 10202 Schneider	450	336	123	8
<b>C7</b>	PRA 10203 Schneider	600	336	123	24
<b>C8</b>	PRA 10202 Schneider	450	336	123	10
<b>C9</b>	PRA 10201 Schneider	300	336	123	4
<b>C10</b>	PRA 10201 Schneider	300	336	123	6
<b>C11</b>	PRA 10203 Schneider	600	336	123	22
<b>C12</b>	PRA 10202 Schneider	450	336	123	12

**TABLA 8:** Cuadros de distribución

## 5.4 Conductores

### 5.4.1 Diseño de los conductores

#### - Material conductor

Aplicando el **ITC-BT-19**, hemos diseñado de los conductores; utilizando los materiales principales, el cobre y el aluminio, optando por uno o por otro en función de sus características. Principalmente nos hemos decantado por el cobre, y solo en líneas de longitud elevada que alimentan a receptores no industriales, se ha optado por aluminio, por ser más económico, aunque, sus prestaciones mecánicas y eléctricas sean menores que las del cobre; y por tanto su vida útil es más corta, necesitando a la vez un mayor mantenimiento.

En el caso de líneas que alimentan receptores industriales, se ha dispuesto como conductor cobre, ya que se pueden producir picos de intensidad durante el arranque de los motores, aconsejándose, por tanto su uso.

#### - Método de instalación

Escoger el método de instalación requiere tener en cuenta diversos factores, entre ellos el económico, la facilidad de construcción o el estético, aunque este factor se considerará en menor medida al tratarse de una zona industrial.

Para las líneas que alimentan a receptores de tipo industrial, se ha optado por el uso de bandejas ya que los receptores están distribuidos cerca de elementos constructivos y estéticamente es agradable. Se escogerá el menor recorrido posible para abaratar los costes teniendo en cuenta que la instalación de los conductores no se entremezclar con otras canalizaciones de la instalación, como

por ejemplo las de la ventilación. En este sentido se ha decidido disponer estas bandejas de forma que tracen tramos horizontales o verticales, evitando las diagonales, y facilitando así las tareas de mantenimiento.

- Aislante del conductor

Se pueden utilizar dos tipos de aislantes, el polietileno reticulado (XLPE) y el cloruro de polivinilo (PVC), para evitar el contacto con las personas.

Sólo podremos utilizarse XLPE, ya que las bandejas requieren conductores de 1000V, y el PVC tan solo aporta 750 V. Además, presenta mejores características térmicas y eléctricas que el PVC gracias a su condición de material termoestable, con lo cual el factor de pérdidas en la conducción es más pequeño, y por ello en el caso de potencias elevadas se hace muy adecuado el uso de este aislante. En el caso de líneas con receptores de potencias pequeñas como máquinas industriales pequeñas o luminarias, y líneas pequeñas, se dispondrá aislamiento de PVC, por satisfacer las necesidades técnicas y ser más económico.

Línea	Longitud (m)	Conductor	Aislamiento	Método de instalación
LG	10,8	Cobre	XLPE	D
L1	33,2	Cobre	XLPE	F
L1.1	50,7	Cobre	PVC	B1
L1.2	4,3	Cobre	XLPE	B1
L1.3	11,5	Cobre	XLPE	B1
L1.4	1,65	Cobre	PVC	B1
L1.5	4,7	Cobre	XLPE	B1
L1.6	5,4	Cobre	XLPE	F
L2	32,5	Cobre	XLPE	F
L2.1	18,3	Cobre	XLPE	F
L2.2	4	Cobre	XLPE	F
L2.3	20,3	Cobre	XLPE	F
L2.4	45,2	Cobre	XLPE	F
L2.5	77,5	Cobre	PVC	F
L2.6	31,4	Cobre	PVC	B1
L3	37,3	Cobre	XLPE	F
L3.1	34,3	Cobre	XLPE	F
L3.2	35,5	Cobre	XLPE	F
L3.3	3,7	Cobre	XLPE	F
L3.4	84,4	Cobre	XLPE	F
L3.5	91,9	Cobre	XLPE	F
L3.6	21,4	Cobre	PVC	B1
L4	54,2	Cobre	PVC	F
L4.1	68,2	Cobre	PVC	F
L4.2	65,9	Cobre	PVC	F
L4.3	118,6	Cobre	PVC	F
L4.4	43,2	Cobre	PVC	B1
L5	59,7	Cobre	XLPE	F
L5.1	4,1	Cobre	PVC	B1
L5.1.1	37,3	Cobre	PVC	B1
L5.1.2	27,8	Cobre	PVC	B2

L5.1.3	19,8	Cobre	PVC	B1
L5.1.4	30,8	Cobre	PVC	B1
L5.2	14,5	Cobre	XLPE	B1
L5.2.1	17,9	Cobre	PVC	B1
L5.2.2	17,9	Cobre	PVC	B1
L5.2.3	11,8	Cobre	PVC	B1
L.6	56	Aluminio	PVC	F
L6.1	6,2	Cobre	PVC	B1
L6.1.1	71,9	Cobre	PVC	B1
L6.1.2	42,7	Cobre	PVC	B1
L6.2	12,4	Cobre	XLPE	B1
L6.2.1	19,5	Cobre	PVC	B1
L6.2.2	17	Cobre	PVC	B1
L6.2.3	11,7	Cobre	PVC	B1
L6.2.4	12,9	Cobre	PVC	B1
L6.3	7,5	Cobre	XLPE	B1
L6.3.1	46,8	Cobre	PVC	B1
L6.3.2	22,4	Cobre	PVC	B1
L6.3.3	14,3	Cobre	PVC	B1

**TABLA 9:** Dimensionamiento de los conductores

#### 5.4.2 Dimensionamiento de los conductores

Una vez diseñadas las líneas y los recorridos que van a seguir, queda dimensionarlas. Se deben cumplir dos criterios según la **ITC-BT-19**: el criterio del calentamiento térmico y de caída de tensión.

##### 5.4.2.1 Criterio térmico

En este criterio analizamos que la temperatura que alcanza el conductor sea menor de 90°C si el aislante es XLPE o de 70°C si se trata de PVC, para que no se degraden los elementos que lo conforman. La norma **UNE EN 20-460-5-525**, a la que se nos remite la **ITC-BT-19** nos proporciona unas tablas con la intensidades admisibles y la sección mínima que tiene que cumplir en función del material conductor y aislante, la distribución de los circuitos eléctricos (unipolares, bipolares, tripolares...), y el método de instalación.

Así buscamos los valores normalizados de secciones, y en función de éstas, sabremos que intensidad máxima admisible podrán transportar, dependiendo del material conductor y aislante. Esta intensidad normalizada debe ser mayor que la intensidad demandada por la línea.

La intensidad demandada se obtiene a partir de los datos suministrados por los receptores:

$$I_B(A) = \frac{P(W)}{\sqrt{3} \cdot U(V) \cdot \cos(\varphi)} \quad (2)$$

Donde U(V) viene dado de la relación de transformación del transformador empleado 400/230 V, P(W) es la potencia absorbida por la red (producto de la potencia nominal por el rendimiento del motor eléctrico), cos(φ) es el factor de potencia, el cual hemos rectificado mediante la compensación reactiva, por tanto su valor será cos(φ)=0,9.

Cuando calculemos las líneas que alimente a motores, debemos tener en cuenta que durante el arranque, el motor absorbe entre 3 y 8 veces más corriente que la nominal. En el caso de que no lo tuviésemos en cuenta podríamos diseñar una línea de menor sección a la necesaria, con protecciones incapaz de soportar dicha corriente de arranque. Esta es la razón por la cual la **ITC-BT-47** establece que debemos prevenir un 25% de aumento en la corriente en el consumo del mayor motor alimentado por la línea.

$$I_B(A) = 1,25 \frac{P(W)}{\sqrt{3} \cdot U(V) \cdot \cos(\varphi)} \quad (3)$$

Debemos tener en cuenta cuando dimensionamos los conductores, que a éstos no se les va a demandar en todo momento la corriente que necesita la instalación con todos los receptores a pleno funcionamiento; por tanto, emplearemos un coeficiente de simultaneidad, no obstante no disponemos de los datos del fabricante, así que nos guiaremos por las recomendaciones que aparecen en la siguiente tabla. Tomando dicha tabla como referencia decidimos escoger el coeficiente de simultaneidad como **0,8** ya que podemos asemejar nuestra industria a la cerámica.

TIPO DE INSTALACIÓN	COEFICIENTE DE SIMULTANEIDAD
Industria mecánica	0,25
Papeleras	0,5-0,7
Industria textil	0,6-0,75
Industria del caucho	0,6-0,7
Industria química, refinerías	0,5-0,7
Cementera	0,8-0,9
Industria de alimentación	0,7-0,9
Minería	0,8-1
Alumbrado	1
Industria del mueble	0,6-0,7
Industria cerámica	0,7-0,8
Hoteles	0,6-0,8
Pequeñas oficinas	0,5-0,7
Grandes oficinas	0,7-0,7
Grandes almacenes	0,7-0,9
Escuelas	0,5-0,75
Hospitales	
Líneas de enchufe:	
- En viviendas	0-2
- En tiendas	0,3
- Otros	0,1

**TABLA 10:** Coeficientes de simultaneidad (Fuente: Libro TE)

Solo emplearemos este criterio de en la línea general, aquella que sale del CT, para el resto de líneas, es mejor ponernos del lado de la seguridad calculándolas como si todos los receptores estuviesen a pleno funcionamiento simultáneamente, ya que carecemos de los datos de los fabricantes.

Para el alumbrado vamos a emplear líneas monofásicas y llevarán una intensidad máxima de 10 A para lograr secciones pequeñas que se adaptan mejor a las luminarias sin ser necesario realizar cambios de sección para realizar la conexión; también sería posible alimentar las líneas con más de 10 A aunque no es lo más aconsejable ya que se necesitaría añadir cambios de

secciones, y en éstos protecciones, complicando la instalación y aumentando los costes. Dependiendo de la intensidad máxima seleccionada, analizamos el número máximo de luminarias que se puede conectar en cada línea.

La intensidad de diseño se calcula con la expresión:

$$I_B = \frac{P(W)}{U_F} \quad (4)$$

Para las de luminarias de descarga y de tipo LED, esta expresión se debe modificar, por tratarse de cargas no lineales. En las luminarias de descarga debemos multiplicar la expresión anterior por un coeficiente de compensación de valor 1,8 y para las LED por 1,5; así compensamos el bajo factor de potencia y al mismo tiempo evitamos las posibles averías causadas por las deformaciones en la forma de onda de la intensidad, pudiendo provocar el calentamiento del conductor de la línea debido a la posible aparición de armónicos. El procedimiento a seguir para calcular cuantas luminarias disponer en cada línea será:

$$I_B = \text{coef de compensación} \cdot \frac{\sum \text{Pot luminarias por línea}}{230} \leq 10A \quad (5)$$

Vamos a calcular como ejemplo las línea que alimentarán al alumbrado del almacén:

$$I_B = \frac{1,8 \cdot n \cdot 227 + 1,5 \cdot 110}{230} \leq 10 \rightarrow n \leq 5,22 \rightarrow n=5 \text{ luminarias} \quad (6)$$

No obstante, en vez de 5 luminarias, tomaremos sólo 4, porque el almacén consta de 8 luminarias; si cogiéramos la líneas con 5 luminaria una quedaría menos cargada.

Para la zona del taller, del grupo de frío y la trituradora:

$$I_B = \frac{1,8 \cdot n \cdot 43,5}{230} \leq 10 \rightarrow n \leq 30 \quad (7)$$

En este caso podríamos tomar hasta 30 luminarias, sin embargo, para esta zona de la planta sólo hay 3 luminarias.

En el caso del alumbrado de emergencia, la intensidad demandada por las líneas que las alimentan no se obtiene a partir de la expresión (16), sino que se trata de un 10% de la misma, ya que este tipo de alumbrado funciona con una fuente de alimentación ajena a la general. Se alimentan del CG para cargarse, pero solo consumen un 10% ya que la carga se realiza durante 24h.

También debemos tener especial cuidado al realizar el dimensionamiento de las tomas de corriente, ya que no se conoce la potencia de los receptores conectados. Para evitar cualquier problema de sobrecarga, se ha supuesto para cada línea instalada de una potencia no superior a 3kW.

La intensidad demandada calculada en todas las líneas, debe ser rectificada mediante unos factores de corrección (k), los cuales dependen de la temperatura ambiente, el método de instalación, etc.; y así normalizar la intensidad.

$$I_1 \geq \frac{I_B}{k} \quad (8)$$

Obtendremos una sección S de forma que la intensidad  $I_1$  sea menor que la intensidad admisible.

$$I_T \geq I_1 \quad (9)$$

Finalmente, al ser la intensidad admisible un valor normalizado, debemos multiplicarlo por el factor k para transformar el resultado a condiciones reales.

$$I_z = k \cdot I_T \quad (10)$$

#### 5.4.2.2 Caída de tensión

La norma establece los límites de máximas caídas de tensión que pueden sufrir los conductores en función de la aplicación. La caída de tensión se calcula entre el inicio de la instalación (la salida del transformador) y el punto que se quiere calcular, considerando que la línea está alimentando simultáneamente todos los receptores que tiene a su cargo.

Para una instalación industrial, como la que nos atañe, se limita la caída de tensión al 4,5% para el alumbrado y un 6,5% para el resto de los casos. Utilizaremos la siguiente expresión:

$$U_1 - U_2 = \Delta U = \frac{L}{u_2} \cdot (R_u \cdot P + X_u \cdot Q) \quad (11)$$

Para las líneas monofásica, como son las líneas alumbrado, la caída de tensión se calcula como:

$$\Delta U = 2 \cdot (R \cdot I \cdot \cos(\varnothing) + X \cdot I \cdot \sin(\varnothing)) \quad (12)$$

Expresada en % :

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \quad (13)$$

Línea	$I_B$	$I_{z0}$	$I_z$	Cdt(%)	S <sub>térmico</sub>
LG	237,28882	550	227,797	0,02037	5x240
L1	299,20627	506	364,32	0,59693	185
L1.1	0,925435	18,5	15,3032	0,13598	2,5
L1.2	62,14534	85	81,6	0,14159	16
L1.3	17,44079	27	18,144	0,40638	2,5
L1.4	16	23	17,664	0,89605	2,5
L1.5	147,14413	258	198,144	0,07019	95
L1.6	67,35753	110	84,48	0,12608	25
L2	344,4319	599	431,28	0,15706	3x240
L2.1	336,78766	506	427,4688	0,36873	185
L2.2	256,60012	382	322,7136	0,08636	120
L2.3	181,22383	328	277,0944	0,36838	95
L2.4	248,58137	328	277,0944	1,16726	95
L2.5	8,69275	24	18,4992	2,00513	2,5
L2.6	63	68	63,92	1,08878	16
L3	369,823	599	442,7808	0,68788	240
L3.1	140,32819	268	198,1056	0,63362	70
L3.2	76,17816	135	99,792	0,93203	25

L3.3	140,32819	268	198,1056	0,06835	70
L3.4	8,69275	24	18,4992	2,15245	2,5
L3.5	8,69275	24	18,4992	2,35705	2,5
L3.6	63	68	63,92	0,74203	16
L4	11,73854	21	14,805	12,1173	2,5
L4.1	8,69275	23	19,0256	1,85602	2,5
L4.2	8,69275	23	19,0256	1,79343	2,5
L4.3	3,5087	23	21,62	1,22093	2,5
L4.4	16	123	23	2,26078	2,5
L5	19,57217	24	20,2752	2,51080	4
L5.1	6,52406	16,5	10,857	0,0860	2,5
L5.1.1	5,15942	18,5	17,39	0,97206	2,5
L5.1.2	16	17	17	2,55322	1,5
L5.1.3	1,28986	18,5	13,912	0,0745	2,5
L5.1.4	7,43478	18,5	13,912	0,72732	2,5
L5.2	5,34049	19,5	13,104	0,39954	1,5
L5.2.1	0,79710	18,5	13,912	0,04132	2,5
L5.2.2	0,79710	18,5	13,912	0,04132	2,5
L5.2.3	16	17	16	1,08374	1,5
L.6	138,65338	207	174,8736	1,95458	35
L6.1	19,1594	23	21,62	0,40181	2,5
L6.1.1	3,86957	18,5	11,3035	0,40186	2,5
L6.1.2	0,79710	18,5	11,3035	0,08796	2,5
L6.2	73	137	85,488	0,23018	35
L6.2.1	2,37681	18,5	12,173	0,13799	2,5
L6.2.2	1,78261	18,5	12,173	0,08935	2,5
L6.2.3	16	17	16	1,07456	1,5
L6.2.4	18,0422	39	25,662	0,31966	6
L6.3	15,4349	27	16,848	0,39361	2,5
L6.3.1	1,785144	18,6	13,9872	0,24541	2,5
L6.3.2	16	17	16	2,05727	1,5
L6.3.3	10,02344	22	16,544	0,28910	4

**TABLA 11:** Intensidades nominales y caídas de tensiones

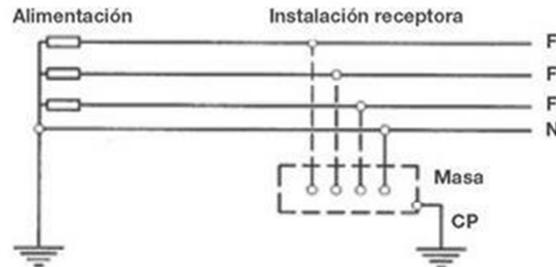
## 5.5 Protecciones

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

Para realizar el diseño de la instalación eléctrica debemos empezar por la elección del esquema de distribución que se va a seguir. Como en nuestro proyecto está alimentado por un CT propio, según la **ITC-BT-08**, podremos cualquiera de los tres esquemas de distribución siguientes: TT, TN y IT.

Su principal diferencia es como se conectan a tierra el neutro del transformador y las masas de baja tensión. La primera letra se refiere al transformador, si ésta es una "T" el neutro está conectado directamente a tierra, pero si ésta es una "I" el neutro está aislado. La segunda letra se refiere a las masas de baja tensión, si ésta es una "T" las masas están conectadas directamente a tierra, pero si se trata de una "N" están conectadas a través del neutro del transformador.

En este proyecto hemos optado por un esquema TT, que es el más utilizado en plantas industriales como la que se estudia en este proyecto, ya que se trata de una planta no muy grande, además esta distribución ofrece un mantenimiento más sencillo y facilita la actuación de las protecciones en caso de posibles fallos. En este esquema las corrientes de defecto se ven limitadas por la impedancia de los cables y por las resistencias de puesta a tierra (masas de baja tensión ( $R_A$ ), del neutro del transformador ( $R_B$ ) y de la resistencia de defecto ( $R_D$ ))



**Figura 29.** Esquema de distribución TT( Fuente: REBT)

Hemos descartado el esquema de distribución IT también ya que al ser su principal ventaja garantizar una mayor continuidad de servicio al no desconectar la instalación ante el primer defecto de aislamiento, el sobre coste que implicaría este esquema no sería amortizado, ya que esta instalación no requiere de una elevada continuidad.

### 5.5.2 Protección frente a contactos directos e indirectos

La protección frente a contactos directos e indirectos es muy importante para garantizar la seguridad de las personas, está regida por la **ITC-BT-24** y por la norma **UNE 20-460**.

Un contacto directo es aquel que se produce entre una persona entra en contacto con una parte de a instalación que en su funcionamiento normal está bajo tensión; por el contrario un contacto indirecto se define como el contacto de una zona de la instalación que en condiciones normales no debería estar a tensión, pero que por culpa de un fallo de aislamiento o de sujeción sí que se encuentra bajo tensión.

#### 5.5.2.1 Protección frente a contactos directos

Según la norma, la protección frente a contactos directos se puede llevar a cabo de tres formas: mediante sistemas que protejan frente a todo contacto directo (accidental o intencionado), frente a contactos directos accidentales o protección complementaria mediante interruptores diferenciales de alta sensibilidad.

Debemos tener en cuenta la clase de edificio que vamos a estudiar para poder diseñar las protección de forma óptima. En este caso se trata de un edificio de carácter industrial con acceso restringido al público. En este caso, podríamos deducir que los trabajadores estarán formados en materia eléctrica; no obstante, en este edificio, no sólo está la parte productiva, sino que también hay una parte de oficinas, por tanto, no se puede afirmar que no todos los trabajadores estarán formados en dicha materia. Así que, por

precaución consideraremos que el personal de la planta no estará debidamente formado.

Escogemos una protección mediante envolventes con un grado de protección

#### 5.5.2.2 Protección frente a contactos indirectos

Existen diversos métodos de protección contra contactos indirectos según la **ITC-BT-24**. En nuestra instalación hemos empleado el corte automático de la alimentación en caso de la detección de un defecto de aislamiento.

Las condiciones que se debe cumplir la instalación para estar protegida son:

- El dispositivo que provoca la desconexión debe actuar siempre que aparezca una tensión de defecto mayor que la límite convencional.
- Para cualquier defecto con tensión de defecto mayor que  $U_L$ , el tiempo transcurrido desde la detección del defecto hasta la desconexión debe ser menor que el tiempo admisible ( $t_a$ ), tiempo en que la tensión que aparece no supone ningún riesgo, se obtiene a partir de las curvas de seguridad.

$$t_i < t_a \quad (14)$$

- Todas las masas accesibles deben estar conectadas a la misma toma de tierra, para que en casos de defectos simultáneos salte la protección.

Escogemos como dispositivos de protección interruptores automáticos de protección diferencial, los cuales detectan la corriente diferencial debida a fallos de aislamiento en los conductores activos donde se instalan. La intensidad que a partir de la cual deben actuar se calcula para que no supere la tensión límite convencional, mediante la siguiente expresión:

$$I_{\Delta N} \cdot R_A \leq U_L = 50 \text{ V} \quad (15)$$

Donde  $I_{\Delta N}$  es la corriente diferencial nominal del dispositivo,  $R_A$  la resistencia de puesta a tierra y  $U_L$  es la tensión límite convencional. Esta expresión nos describe como una persona al entrar en contacto con una masa que posee un defecto de aislamiento, quedan al mismo potencial y al estar la masa puesta a tierra mediante  $R_A$ , se genera una intensidad de defecto, cuyo producto con  $R_A$  es la tensión de contacto. De esta forma, la corriente nominal del dispositivo, multiplicada por la resistencia, debe resultar una tensión de contacto menor o igual a la máxima admisible para que no haya ningún peligro,  $U_L = 50 \text{ V}$  (caso de locales secos, como el de estudio).

El interruptor diferencial (ID) cortará la alimentación en el caso que se detecte la intensidad para proteger la instalación aguas abajo.

Como la instalación es muy extensa, no podemos protegerla con un solo dispositivo en la línea general, ya que éste produciría un corte de la

alimentación de toda la instalación, por tanto, escogemos situar un ID en cada línea para que sólo se corte la alimentación aguas abajo de aquellas líneas en las que se produzca un fallo de aislamiento.

Al ser el esquema de la instalación de tipo TT, las masas de BT y el neutro del transformador tienen puestas a tierra independientes, por tanto, en el caso de producirse un fallo en la instalación, existiría una corriente de defecto  $I_D$  que circularía en bucle entre estas dos PAT, como se indica en la siguiente figura

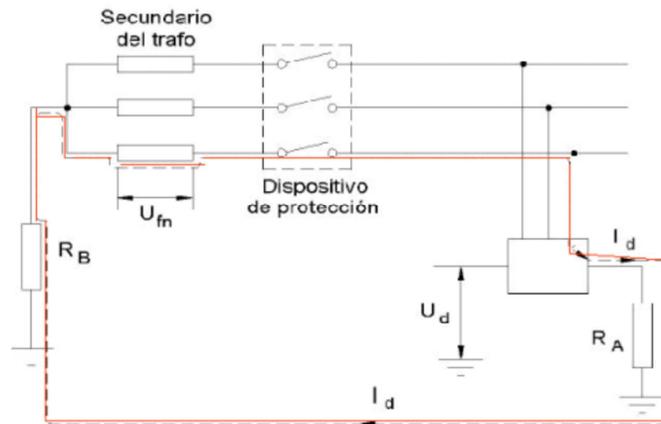


FIGURA 30: Bucle de defecto en una instalación con esquema TT (Fuente: Libro TE)

Considerando la resistencia de defecto ( $R_D$ ) igual a 0 para calcular la intensidad en el peor de los casos.

$$I_D = \frac{U_{fn}}{R_A + R_B + R_D} = \frac{230}{2 + 25 + 0} = 8,519 A \quad (16)$$

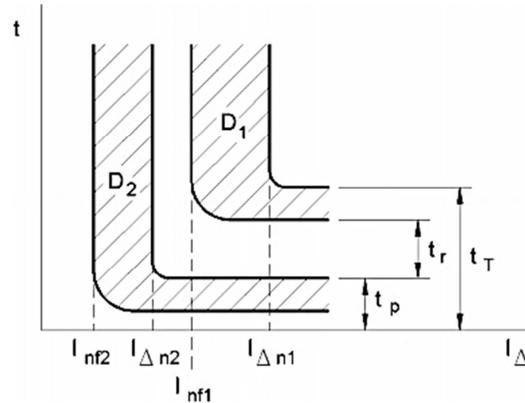
$$U_{cmás} = R_A \cdot I_D = U_{fn} \frac{R_A}{R_A + R_B} = \frac{2}{2 + 25} \cdot 230 = 17,037 V \quad (17)$$

Seguidamente calcularemos la intensidad necesaria para que la tensión de contacto no sea peligrosa utilizando la expresión (9):

$$I_{\Delta N} \cdot R_A \leq U_L \rightarrow I_{\Delta N} \leq \frac{50}{2} = 25 A \quad (18)$$

Como tenemos diversos dispositivos a lo largo de toda la instalación eléctrica, el valor de esta intensidad de defecto sólo se considerará para el interruptor diferencial de la línea general.; pero debemos calcular la intensidad nominal del resto de diferenciales siguiendo un esquema de distribución en serie.

Una distribución de ID en serie se consigue mediante la disposición de la banda I/t de disparo del primer diferencial (ID1) por encima y a la derecha de la banda I/t del siguiente diferencial (ID2). Entenderemos como banda I/t la franja que se queda entre  $I_{\Delta Nf}$  y  $I_{\Delta N}$ , siendo  $I_{\Delta Nf}$  la intensidad por debajo de la cual el circuito al que protege el ID seguiría funcionando, e  $I_{\Delta N}$  es la intensidad a partir de la cual el ID abriría el circuito. Así, al estar la banda del ID1 más a la derecha que la del ID2 actuará primero el ID2. Llamamos a este funcionamiento, funcionamiento selectivo.



**FIGURA 31:** Condiciones para el funcionamiento selectivo de diferenciales en serie (Fuente: Libro TE)

Según los cálculos previos, el diferencial de origen requiere una intensidad nominal menor de 2500mA. Las sensibilidades de los diferenciales normalizados son: 3000, 1000, 500, 300, 30 y 10 mA. Podríamos escoger cualquiera excepto el de 3000mA; no obstante, como hay varios niveles de distribución, la intensidad del primer diferencial debe permitir el dimensionamiento del resto, por esa razón escogeremos el siguiente diferencial con una sensibilidad de 1000mA.

- Para el caso de LG se necesita:

$$I_{\Delta N} \leq 25 A \rightarrow I_{\Delta N} = 1000mA \tag{19}$$

Para que funcione correctamente, debemos diseñarlo con un retardo, de esta manera cuando circule una corriente de defecto, el ID esperará un tiempo de retardo ( $t_r$ ) independiente de la  $I_d$  antes de abrir el circuito y dándole tiempo al interruptor aguas abajo para que corte la línea.

- Para el caso L1, L2, L3, L4, L5 y L6

Estos interruptores diferenciales están en serie con DLG, y además tienen otros dispositivos en serie con ellos. Para que estos dispositivos sean selectivos con el DLG se debe cumplir:

$$I_{\Delta N2} < \frac{I_{\Delta N1}}{2} = 500mA \tag{20}$$

$$I_{\Delta N2} = 300mA \tag{21}$$

- Para las líneas L5.1, L5.2, L5.3, L6.2 y L6.3 que tienen dispositivos aguas abajo.

$$I_{\Delta N2.1} < \frac{I_{\Delta N2}}{2} = 150mA \tag{22}$$

$$I_{\Delta N2.1} = 100mA \tag{23}$$

- Para el resto de las líneas escogeremos un dispositivo instantáneo ya que éstas no tienen ningún dispositivo instalado aguas abajo.

$$I_{\Delta N5.1.1} < \frac{I_{\Delta N5.1}}{2} = 50mA \quad (24)$$

$$I_{\Delta N5.1.1} = 30mA \quad (25)$$

### 5.5.3 Instalaciones de puesta a tierra

La definición “Puesta a Tierra” según el REBT es toda la ligazón metálica directa, sin fusible ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo, o grupo de electrodos, enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la de descarga de origen atmosférico.

Los objetivos de la PAT son, principalmente:

- Limitar la diferencia de tensión entre la instalación y sus inmediaciones.
- Llevar a tierra las corrientes de defecto.
- Asegurar la actuación de las protecciones de la instalación.

Aplicando la norma **UNE 20-460**, nuestra instalación debe contar con una puesta a tierra de baja tensión y otra en el CT; por tanto, vamos a proceder a su diseño siguiendo las especificaciones recogidas en la **ITC-BT-18**.

#### 5.5.3.1 Puesta a tierra del neutro del transformador ( $R_B$ )

Según la **ITC-BT-18** podremos llevar a cabo la instalación de la PAT mediante diversas opciones; en este caso escogemos la conexión mediante un electrodo ya que ante la aparición de una corriente de defecto ésta irá a través de él hacia la tierra, facilitando así la actuación de las protecciones y disminuyendo su deterioro. Al disponer de una PAT independiente con una impedancia reducida, no es necesario disponer en la instalación de un pararrayos para la prevención de sobretensiones tal y como se indica en la instrucción **MIE-RAT 12**. Finalmente, el electrodo escogido para instalarlo a lo largo de las celdas del CT será una pica vertical de 8 metros de longitud, ya que la impedancia obtenida es  $R_B < 30 \Omega$  lo que garantiza un correcto funcionamiento.

$$R_B = \frac{\rho}{L} = \frac{200}{8} = 25\Omega \quad (26)$$

#### 5.5.3.2 Puesta a tierra de las masas de baja tensión ( $R_A$ )

Todas las masas de BT deberán conectarse al electrodo  $R_A$  para limitar la aparición de tensiones debidas a defectos de aislamiento. Esta conexión evita que se produzca una tensión de contacto en caso de que una persona toque la masa averiada. El electrodo escogido tiene forma de cinta de acero (sección  $30 \times 35 \text{ mm}^2$ ) que será enterrado en las zanjas de cimentación, por todo el perímetro del edificio (201,4497m).

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho}{L} \frac{2 \cdot 200}{201,45} = 2 \Omega \quad (27)$$

### 5.5.3.3 Puesta a tierra de las masas del CT

En el caso de  $R_T$  se ponen a tierra todas las masas en el interior del CT mediante una toma de tierra independiente de  $R_A$ . Como es sabido, como al ser el transformador el que alimenta el conjunto de la instalación, es donde mayores intensidades circulan, y donde se produce la mayor tensión de contacto en caso de un fallo de aislamiento.

Debido a que la construcción de CT por parte de abonados individuales, como es nuestro caso, es tan extensa, existen electrodos normalizados que nos ayudan a simplificar las tareas de diseño.

En este caso hemos optado por el diseño más común, un electrodo en forma de anillo rectangular, instalado en la zanja perimetral de cimentación del CT. Hemos recurrido a las tablas de "UNESA" con las dimensiones de nuestro CT (6x3m) para obtener los parámetros característicos del electrodo escogido. Estas tablas nos han dirigido a la página A<sub>2</sub>-A<sub>21</sub>, de la cual obtenemos los siguientes datos que mostramos a continuación en la Tabla 3.

Profundidad (m)	Sección del conductor (mm <sup>2</sup> )	Diámetro de las picas (mm)	Resistencia (K <sub>r</sub> )	Tensión de paso (K <sub>p</sub> )	Tensión de contacto exterior (K <sub>c</sub> )
0,5	50	14	0,107	0,0213	0,0637

TABLA 12: Parámetros característicos de RT

Debemos comprobar en primera instancia que la configuración más sencilla (la aquí escogida) cumple los criterios de seguridad, si ésta no fuera suficiente añadiríamos picas en los vértices y/o puntos medios de los lados, si fuera necesario.

$$R_T = K_r \cdot \rho_1 = 0,107 \cdot 200 = 21,4 \Omega \quad (28)$$

Siendo  $\rho_1 = 100 - 200 (\Omega \cdot m)$  la resistividad del terreno en el que está enterrado los electrodos, que se comprobará una vez se haga la instalación.

En el Documento N°2, se llevarán a cabo las comprobaciones necesarias para que la puesta a tierra de las masas del CT escogida cumpla con las condiciones de seguridad, tanto para los materiales como para las personas, establecidos en la norma.

El resultado de las distintas instalaciones de puesta a tierra queda resumido en la **Tabla 13**.

$R_A (\Omega)$	$R_B (\Omega)$	$R_T (\Omega)$
2	25	21,4

TABLA 13: Impedancia de la puesta a tierra de las masas de la instalación a tierra

## 5.5.3.4 Diseño de los elementos que componen la instalación a tierra

- **Toma de tierra:** según la **ITC-B-01** “es el electrodo en contacto con el suelo que asegura la conexión eléctrica del mismo”. Se trata de elementos metálicos que así facilitan la conducción de las corrientes de defecto.

La resistencia del electrodo debe cumplir:

$$R_t = \rho \cdot F \ll R_{adm} \quad (29)$$

Siendo  $R_{adm}$  un valor impuesto por el esquema de distribución y del sistema de protección contra contactos indirectos.

Las dimensiones de los electrodos deben garantizar su resistencia mecánica y frente a la acción corrosiva del terreno.

- **Borne principal de tierra:** se trata de un dispositivo de unión del conductor de tierra con los conductores de protección y los de equipotencialidad. En este proyecto hemos escogido una regleta de conexión que aporta mayor fiabilidad que las regletas o barras tradicionales
- **Conductores de protección (CP):** conexiones eléctricas que unen las masas con el conductor de tierra para lograr una mejor protección contra contactos indirectos. Los conductores siguen la misma canalización que los conductores activos.

El material de los CP es el mismo que el de los conductores activos y la sección según la **ITC-BT-28** que exponemos en la siguiente tabla.

Sección de los conductores de fase de la instalación $S(\text{mm}^2)$	Sección de los conductores de protección $S_p(\text{mm}^2)$
$S \leq 16$	$S_p=S$
$16 < S \leq 35$	$S_p=16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

**TABLA 14:** Secciones mínimas de los CP en función de las secciones de los conductores de fase  
(Fuente: ITC-BT-28)

Línea	S línea (mm <sup>2</sup> )	Sección protección (mm <sup>2</sup> )	Línea	S línea (mm <sup>2</sup> )	Sección protección (mm <sup>2</sup> )	Línea	S línea (mm <sup>2</sup> )	Sección protección (mm <sup>2</sup> )
LG	6x240	120	L3.2	25	16	L5.2.1	2,5	2,5
L1	185	120	L3.3	70	35	L5.2.2	2,5	2,5
L1.1	2,5	2,5	L3.4	2,5	2,5	L5.2.3	1,5	1,5
L1.2	16	16	L3.5	2,5	2,5	L6	35	16
L1.3	4	4	L3.6	16	16	L6.1	2,5	2,5
L1.4	2,5	2,5	L4	2,5	2,5	L6.1.1	2,5	2,5
L1.5	95	50	L4.1	2,5	2,5	L6.1.2	1,5	1,5
L1.6	25	16	L4.2	2,5	2,5	L6.2	35	16
L2	3x240	120	L4.3	2,5	2,5	L6.2.1	2,5	2,5
L2.1	185	120	L4.4	2,5	2,5	L6.2.2	2,5	2,5
L2.2	95	50	L5	4	4	L6.2.3	1,5	1,5

L2.3	95	50	L5.1	2,5	2,5	L6.2.4	6	6
L2.4	95	50	L5.1.1	2,5	2,5	L6.3	2,5	2,5
L2.5	2,5	2,5	L5.1.2	1,5	1,5	L6.3.1	2,5	2,5
L2.6	16	16	L5.1.3	2,5	2,5	L6.3.2	1,5	1,5
L3	240	120	L5.1.4	2,5	2,5	L6.3.3	2,5	2,5
L3.1	70	35	L5.2	1,5	1,5			

**TABLA 15:** Secciones de las líneas y de los conductores de protección

- **Conductor de tierra:** conductores que salen del borne principal de tierra, y se unen con los electrodos presentes en la instalación. Su dimensionamiento sigue el mismo método que el de los CP, pero debe tener como mínimo una sección de 25mm<sup>2</sup> (cobre sin protección frente a corrosión) siempre que se compruebe que cumple con las sollicitaciones térmicas, tal y como se indica en la **ITC-BT-18**.

TIPO	PROTEGIDO MECÁNICAMENTE	NO PROTEGIDO MECÁNICAMENTE
Protegido contra la corrosión	Mismo método que el de los CP	16mm <sup>2</sup> Cobre 16mm <sup>2</sup> acero galvanizado
No protegido contra la corrosión	25mm <sup>2</sup> Cobre 25mm <sup>2</sup> Acero	

**TABLA 16:** Secciones de los conductores de tierra

El conductor escogido será de cobre y aislado con XLPE favoreciendo así la conducción y disminuir la sección necesaria. Si se dimensiona como los conductores de protección, el resultado obtenido sería una sección de 150 mm<sup>2</sup>, pero se va a intentar poner una sección menor al tener parte del conductor enterrado. Se comprueba si con el mínimo de S=25 mm<sup>2</sup> se logran las especificaciones. Así pues, con esta configuración, la integral de Joule puede alcanzar el valor antes de degradarse de:

$$(I^2t)_{adm} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 25)^2 = 1,27 \cdot 10^7 \text{ A}^2 \cdot \text{S} \quad (30)$$

- Condiciones relativas a la seguridad

Para que el diseño del electrodo sea el correcto, éste debe satisfacer las siguientes condiciones para cumplir la seguridad de las personas

1) La tensión de paso máxima debe ser inferior a la tensión de paso admisible:

$$V_{pm} = K_p \cdot \rho \cdot I_d \leq V_{p,adm} = V_{ca,adm} \left( 5 + \frac{6\rho_2}{1000} \right) \quad (31)$$

2) La tensión de contacto máxima debe ser inferior a la tensión de contacto admisible:

$$V_{cm} = K_c \cdot \rho \cdot I_d \leq V_{cad} = V_{ca,adm} \left( 2 + \frac{1,5 \cdot \rho_2}{1000} \right) \quad (32)$$

3) La corriente de defecto originada por un fallo de aislamiento franco debe ser mayor que la corriente de arranque del relé de protección:

$$I_d \geq I_a \quad (33)$$

1') La tensión de paso máxima en el exterior debe ser menor que la tensión de paso admisible:

$$V_{p,ext} = 1494,765 \text{ V} \leq V_{p,adm} = 19542,857 \text{ V} \quad (34)$$

2') La tensión de paso en el acceso máxima debe ser menor que la tensión de paso en el acceso admisible. Se debe comprobar para los 2 accesos que tiene el CT, desde la planta y desde la acera.

- Diseño de los sistemas de PAT

Una vez dimensionados los elementos de la puesta a tierra, debemos instalarlos en el edificio a cierta distancia de seguridad para asegurar que éstas sean independientes entre ellas y así evitar que exista transferencia entre los sistemas.

En el caso de la toma de tierra del CT, debemos limitar la tensión ya que la  $I_D$  es muy elevada. Ahora calcularemos la distancia mínima necesaria para que la  $R_T$  sea independiente respecto a  $R_A$  según la **ITC-BT-18**, mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\rho_1 \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot U} = \frac{200 \cdot 350,8838}{2 \cdot \pi \cdot 1200} = 9,3122 \quad (35)$$

Donde  $U=1200 \text{ V}$ , es el valor estándar en sistemas de distribución TT con un tiempo de actuación ( $t_a$ )  $\leq 5\text{s}$ .

Seguidamente debemos calcular la distancia mínima necesaria para que  $R_A$  sea independiente de  $R_T$ :

$$D = \frac{\rho_1 \cdot I_d}{2000 \cdot \pi} = \frac{200 \cdot 350,8838}{2000 \cdot \pi} = 11,17 \text{ m} \quad (36)$$

El **ITC-BT-18** sugiere que se pueden unificar ambas puestas de tierra en una sola si la tensión transferida es menor de  $1000\text{V}$ , la cual garantizaría la no perforación de los aislamiento de la instalación.

$$V_{d,MT} = I_d \cdot R_{t,MT} = 350,8838 \cdot 21,4 = 7508,91332 \quad (37)$$

$$V_{d,MT} > 1000\text{V} \rightarrow \text{No es posible una puesta de tierra común}$$

#### 5.5.4 Protección frente a sobreintensidades

La protección frente a sobreintensidades se rige por la **ITC-BT-22**, la cual distingue entre protección frente a sobrecargas y frente a cortocircuito. Definimos una *sobrecarga* como la circulación de una intensidad superior a la admisible por el circuito durante un cierto tiempo en ausencia de un fallo eléctrico. Definimos *cortocircuito* como la sobreintensidad originada por un defecto de aislamiento de impedancia despreciable entre dos puntos de la instalación que en servicio normal tienen unos potenciales definidos y distintos.

Para proteger al circuito de estas sobreintensidades existen tres dispositivos: los fusibles, los interruptores automáticos (IA) y los pequeños interruptores automáticos (PIA). Si es posible, la mejor opción son los *PIAs* ya que se instalan fácilmente, pueden utilizarse por personal no formado en materia eléctrica

proporcionando un mantenimiento más sencillo y económico. No obstante, sólo podrán proteger líneas de sección pequeña ya que su poder de corte alcanza hasta los 25kA, pudiendo circular una intensidad inferior a 125A. Los fusibles y los IAs poseen mayor poder de corte y mayor intensidad de circulación. Entre estos dos instrumentos, hemos escogido los IAs que aunque su precio es superior que el de los fusibles, requieren de un menor mantenimiento.

Se ha diseñado las protecciones, para que un solo instrumento se encargue tanto de las sobrecargas como de los cortocircuitos, siendo esta solución más económica. Por esta razón empezamos diseñando el aparato en función de la sobrecarga aunque debemos tener en cuenta primero la corriente máxima del cortocircuito de la línea y así obtener el poder de corte necesario del dispositivo.

5.5.4.1 Protección frente a sobrecargas

Si por un conductor circula una intensidad mayor que la prevista ( $I > I_z$ ), su temperatura aumenta y tiende a estabilizarse en una temperatura mayor que la admisible ( $T_{eq} > T_{ad}$ ) en un tiempo de calentamiento ( $t_{cal}$ ), la cual daña el aislamiento del conductor (los conductores con aislamiento XLPE al soportar mayores temperaturas sin dañarse, podrán soportar una mayor corriente de sobrecarga). Utilizaremos los dispositivos antes mencionados que cortarán la alimentación en un tiempo de actuación ( $t_{ac} < t_{cal}$ ) para evitar que el aislamiento se dañe. Ante la dificultad de obtener  $t_{cal}$  la instrucción previamente nombrada plantea la siguiente comprobación:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \tag{38}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \tag{39}$$

Donde  $I_n$  es la intensidad nominal del dispositivo,  $I_z$  la intensidad que garantiza el accionamiento del dispositivo. En función de la intensidades dispuestas en la siguiente tabla, obtendremos un dispositivo capaz de soportar sobrecargas para más adelante verificar la protección frente a cortocircuitos.

Dispositivo	PIAs	IA	Fusibles
Intensidad	$I_2 = 1,45 \cdot I_n$	$I_2 = 1,3 \cdot I_n$	$I_2 = 1,6 \cdot I_n$

TABLA 17: Intensidades de accionamiento

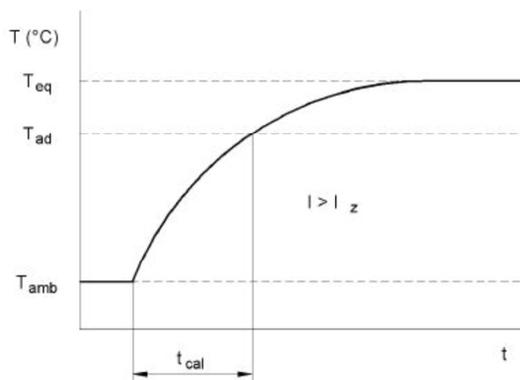
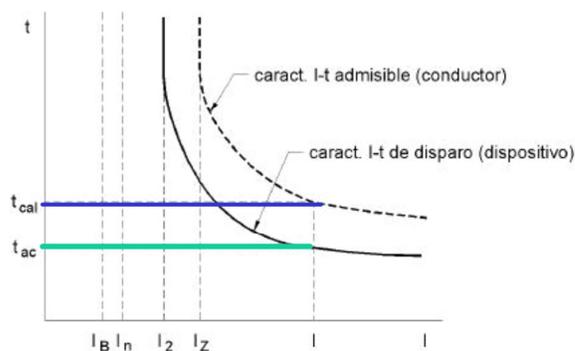


FIGURA 32: Proceso de calentamiento de un conductor desde la  $T_{amb}$  hasta  $T_{eq}$  (Fuente: Libro TE)



**FIGURA 33:** Condición para la protección efectiva frente a sobrecargas  
(Fuente: Libro TE)

En la **Tabla 18**, se exponen las intensidades nominales de los dispositivos de protección.

Línea	$I_B$	$I_n$	$I_z$	$1,45 \cdot I_z$	$I_2$
LG	1423,7329	1600	1700,16	14791,392	2080
L1	299,2063	320	364,32	528,264	416
L1.1	0,925435	1	15,3032	22,18964	1,45
L1.2	62,14534	63	81,6	118,32	91,35
L1.3	17,44079	20	24,193	35,0784	26
L1.4	16	16	17,664	25,6128	23,2
L1.5	147,14413	160	173,376	251,3952	208
L1.6	67,35753	80	92,064	133,4928	104
L2	1033,2956	1250	1293,84	5628,204	1625
L2.1	336,78766	400	427,4688	619,8298	520
L2.2	256,60012	320	322,7136	467,9347	416
L2.3	181,22383	250	277,0944	401,78688	325
L2.4	248,58137	250	277,0944	401,78688	325
L2.5	8,69275	10	18,4992	26,82384	14,5
L2.6	63	63	63,92	92,684	91,35
L3	369,823	400	442,7808	642,03216	520
L3.1	140,32819	160	198,1056	2287,25312	208
L3.2	76,17816	80	99,792	144,25312	81,9
L3.3	140,32819	160	198,1056	2287,25312	208
L3.4	8,69275	10	18,4992	26,82384	14,5
L3.5	8,69275	10	18,4992	26,82384	14,5
L3.6	63	63	63,92	92,684	91,35
L4	11,7385	10	14,805	21,46725	14,5
L4.1	8,69275	10	19,0256	27,58712	14,5
L4.2	8,69275	10	19,0256	27,58712	14,5
L4.3	3,5087	6	21,62	31,349	8,7
L4.4	16	16	21,62	31,349	23,2
L5	19,57217	20	20,2752	29,39904	26
L5.1	6,52406	10	10,857	15,74265	13
L5.1.1	5,15942	6	17,39	25,2155	8,7
L5.1.2	16	16	17,39	25,2155	23,2
L5.1.3	1,28986	2	17,39	25,2155	2,9
L5.1.4	7,43478	16	17,39	25,2155	23,2

L5.2	5,34049	6	13,104	19,0008	8,7
L5.2.1	0,79710	1	13,912	20,1724	14,5
L5.2.2	0,79710	1	13,912	20,1724	14,5
L5.2.3	16	16	20,68	29,986	23,2
L.6	138,65338	160	174,8736	253,556672	208
L6.1	19,1594	20	21,62	31,35	29
L6.1.1	3,86957	4	11,3035	16,390075	5,8
L6.1.2	0,79710	1	11,3035	16,390075	1,45
L6.2	73	80	85,488	123,9576	104
L6.2.1	2,37681	3	12,173	17,65085	4,35
L6.2.2	1,78261	2	12,173	17,65085	2,9
L6.2.3	16	16	20,68	29,986	23,2
L6.2.4	18,0422	20	25,662	37,2099	29
L6.3	15,4349	16	16,848	24,4296	23,2
L6.3.1	2,37386	3	13,9872	20,28144	4,35
L6.3.2	16	16	20,69	29,986	23,2
L6.3.3	10,02344	16	16,544	23,9888	23,2

**TABLA 18:** Intensidades nominales de los IA

#### 5.5.4.2 Protección frente a cortocircuitos

Para considerar que una línea está protegida frente a cortocircuitos, se deben cumplir las siguientes condiciones, que están particularizadas para los IA:

- 1) Poder de corte del IA  $> I_{cc,m\acute{a}x}$

Así, el IA podrá cortar la máxima corriente que pueda producirse en la línea.

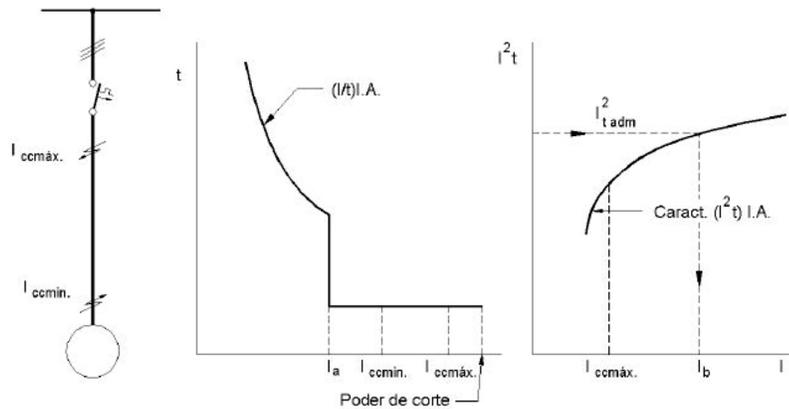
- 2)  $I_{cc,m\acute{i}n} > I_a$

Donde  $I_a$  es la intensidad de actuación del disparador, el dispositivo actuará frente a cualquier intensidad de cortocircuito por pequeña que sea.

- 3)  $I_{cc,m\acute{a}x} < I_B$

Donde  $I_B$  es la intensidad que corresponde al  $(I^2t)_{adm}$  determinada de la ecuación (40).

$$(I^2t)_{adm} = (K \cdot S)^2 \geq (I^2t) \quad (40)$$



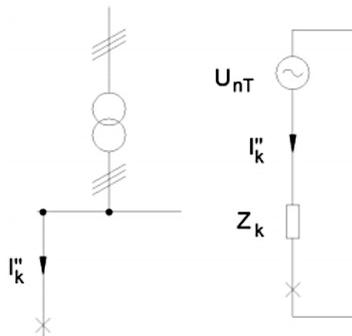
**FIGURA 34:** Protección frente a cortocircuitos mediante IA (Fuente: Libro TE)

Para calcular las corrientes de cortocircuito empleamos la siguiente expresión:

$$I''_K = \frac{U_{nT}}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (41)$$

Donde  $U_{nT}$  es la tensión nominal secundaria del transformador y  $Z_k$  es la impedancia de defecto del circuito, se calcula como el sumatorio de las impedancias de cortocircuito desde la salida del transformador hasta el punto en el que se produce el cortocircuito.

$$Z_k = R_k + jX_k \quad (42)$$



**FIGURA 35:** Circuito monofásico equivalente para un cc tripolar (Fuente: Libro TE)

Como ya hemos comprobado en el apartado anterior que los dispositivos escogidos cumplen frente a sobrecargas, ahora debemos comprobar que éstos también cumplirán frente a cortocircuitos.

Antes que nada, realizamos los cálculos de las impedancias de defecto, tanto de la línea de media tensión como la impedancia de baja tensión del transformador que se encuentra en nuestro CT. Para calcular la de la línea de media tensión debemos emplear los datos proporcionados por la compañía de suministro eléctrico, para la del transformador deberemos emplear sus caídas de tensión porcentuales en cortocircuito. La REE suministra en la provincia de Valencia una potencia de cortocircuito ( $S''_k$ ) en el CT de unos 350MVA.

En la **Tabla 19** se adjuntan los valores de las impedancias de cada línea y el valor de la intensidad máxima y mínima de cortocircuito para las mismas. Mientras que en la **Tabla 20**, se adjuntan los IA/PIA asociados a cada línea con sus principales características.

Línea	Z (mΩ)	I <sub>ccMAX</sub> (kA)	I <sub>ccMIN</sub> (kA)	Línea	Z (mΩ)	I <sub>ccMAX</sub> (kA)	I <sub>ccMIN</sub> (kA)
Z <sub>MT</sub>	10,8	-	21,3833	Z <sub>L.4.2</sub>	22,9436	12,8709	5,032786
Z <sub>BT</sub>	12,9	21,3833	17,23	Z <sub>L.4.3</sub>	27,473	12,8709	4,203049
Z <sub>LG</sub>	13,5468	17,23	8,523786	Z <sub>L.4.4</sub>	21,382	12,8709	5,4
Z <sub>L1</sub>	16,2028	17,04757	7,126547	Z <sub>L.5</sub>	18,334	17,04757	6,298146
Z <sub>L.1.1</sub>	20,2761	14,25309	5,694882	Z <sub>L.5.1</sub>	18,6637	12,59629	6,186879
Z <sub>L.1.2</sub>	16,5469	14,25309	6,97837	Z <sub>L.5.1.1</sub>	21,3321	12,37376	5,412961
Z <sub>L.1.3</sub>	17,1248	14,25309	6,742863	Z <sub>L.5.1.2</sub>	20,1765	12,37376	5,722983
Z <sub>L.1.4</sub>	16,3356	14,25309	7,06862	Z <sub>L.5.1.3</sub>	21,1586	12,37376	5,45735
Z <sub>L.1.5</sub>	16,5788	14,25309	6,964919	Z <sub>L.5.1.4</sub>	19,52494	12,37376	5,91398
Z <sub>L.1.6</sub>	16,6348	14,25309	6,941468	Z <sub>L.5.2</sub>	19,5097	12,59629	5,918609
Z <sub>L.2</sub>	14,4135	17,04757	8,011257	Z <sub>L.5.2.1</sub>	20,9478	11,83722	5,512286
Z <sub>L.2.1</sub>	15,8775	16,02251	7,27257	Z <sub>L.5.2.2</sub>	20,9478	11,83722	5,512286
Z <sub>L.2.2</sub>	14,7335	16,02251	7,837258	Z <sub>L.5.2.3</sub>	20,4557	11,83722	5,644877
Z <sub>L.2.3</sub>	16,0375	16,02251	7,200012	Z <sub>L.6</sub>	18,027	17,04757	6,405419
Z <sub>L.2.4</sub>	18,0295	16,02251	6,404511	Z <sub>L.6.1</sub>	18,52582	12,81084	6,232926
Z <sub>L.2.5</sub>	20,3229	16,02251	5,681769	Z <sub>L.6.1.1</sub>	20,7519	12,46585	5,564322
Z <sub>L.2.6</sub>	16,9258	16,02251	6,82211	Z <sub>L.6.1.2</sub>	21,08	12,46585	5,477718
Z <sub>L.3</sub>	16,5308	17,04757	6,985144	Z <sub>L.6.2</sub>	19,019	12,81084	6,071312
Z <sub>L.3.1</sub>	19,2748	13,97029	5,990719	Z <sub>L.6.2.1</sub>	20,586	12,14262	5,609158
Z <sub>L.3.2</sub>	19,371	13,97029	5,960987	Z <sub>L.6.2.2</sub>	20,385	12,14262	5,664471
Z <sub>L.3.3</sub>	16,8268	13,97029	6,862268	Z <sub>L.6.2.3</sub>	19,9570	12,14262	5,78594
Z <sub>L.3.4</sub>	22,8744	13,97029	5,048004	Z <sub>L.6.2.4</sub>	20,0519	12,14262	5,758548
Z <sub>L.3.5</sub>	23,4774	13,97029	4,918349	Z <sub>L.6.3</sub>	18,6305	12,81084	6,197918
Z <sub>L.3.6</sub>	18,2431	13,97029	6,32953	Z <sub>L.6.3.1</sub>	22,3909	12,39584	5,157015
Z <sub>L.4</sub>	17,9428	17,04757	6,435461	Z <sub>L.6.3.2</sub>	20,4264	12,39584	5,652987
Z <sub>L.4.1</sub>	23,0722	12,8709	5,004726	Z <sub>L.6.3.3</sub>	19,7768	12,39584	5,838658

**TABLA 19:** Intensidades de cortocircuito mínimas y máximas

Línea	IA/PIA	Curva	I <sub>n</sub>	Poder de corte (kA)	(I <sup>2</sup> t) <sub>adm</sub> =(KS) <sup>2</sup> (A <sup>2</sup> t)	(I <sup>2</sup> t) (A <sup>2</sup> t)	I <sub>a</sub> (A)
LG	ABBT7	C	1600	50	1,2·10 <sup>9</sup>	25·10 <sup>6</sup>	16000
L1	ABBT4	C	320	36	7·10 <sup>8</sup>	0,75·10 <sup>6</sup>	3200
L1.1	S200	B	1	16	3,61·10 <sup>4</sup>	2·10 <sup>2</sup>	5
L1.2	S200	B	63	16	5,2·10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	315
L1.3	S200	B	20	16	3,27·10 <sup>5</sup>	6·10 <sup>4</sup>	100
L1.4	ABBT1	C	16	16	1,8·10 <sup>8</sup>	0,8·10 <sup>6</sup>	1600
L1.5	ABBT1	C	160	16	2,5·10 <sup>7</sup>	0,8·10 <sup>6</sup>	800
L1.6	S200	C	80	25	8,27·10 <sup>4</sup>	4,5·10 <sup>4</sup>	160
L2	ABBT7	C	1250	50	1,2·10 <sup>9</sup>	25·10 <sup>6</sup>	12500
L2.1	ABBT5	C	400	36	7·10 <sup>8</sup>	3,25·10 <sup>6</sup>	4000
L2.2	ABBT4	C	320	36	2,9·10 <sup>8</sup>	0,75·10 <sup>6</sup>	3200
L2.3	ABBT4	C	250	36	1,8·10 <sup>8</sup>	0,75·10 <sup>6</sup>	2500
L2.4	ABBT4	C	250	36	1,8·10 <sup>8</sup>	0,75·10 <sup>6</sup>	2500

L2.5	S200	Z	10	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L2.6	S200	B	63	16	$3,38 \cdot 10^6$	$10^5$	315
L3	ABBT5	C	400	36	$1,2 \cdot 10^9$	$3,25 \cdot 10^6$	4000
L3.1	ABBT1	C	160	16	$1 \cdot 10^8$	$0,8 \cdot 10^6$	1600
L3.2	ABBT1	C	80	16	$1,278 \cdot 10^8$	$0,8 \cdot 10^6$	800
L3.3	ABBT1	C	160	16	$1 \cdot 10^8$	$0,8 \cdot 10^6$	1600
L3.4	S200	Z	10	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L3.5	S200	Z	10	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L3.6	S200	B	63	16	$3,38 \cdot 10^6$	$10^5$	315
L4	S200	Z	10	25	$1,3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L4.1	S200	Z	10	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L4.2	S200	Z	10	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L4.3	S200	C	6	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	60
L4.4	S200	C	16	25	$8,27 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L5	S200	B	20	25	$3,27 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^4$	100
L5.1	S200	Z	10	25	$3,61 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	30
L5.1.1	S200	C	6	25	$3,61 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	60
L5.1.2	S200	C	16	25	$2,98 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L5.1.3	S200	B	2	25	$8,27 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^2$	13
L5.1.4	S200	C	16	25	$8,27 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L5.2	S200	C	6	25	$4,6 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	60
L5.2.1	S200	B	1	25	$3,61 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2$	5
L5.2.2	S200	B	1	25	$3,61 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2$	5
L5.2.3	S200	C	16	25	$2,98 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L6	ABBT1	C	160	16	$2,5 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^6$	1600
L6.1	S200	C	20	25	$2,98 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L6.1.1	S200	B	4	25	$3,61 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	20
L6.1.2	S200	B	1	25	$3,61 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2$	5
L6.2	ABBT1	C	80	16	$2,5 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^6$	800
L6.2.1	S200	C	3	25	$3,61 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	30
L6.2.2	S200	B	2	25	$3,61 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^2$	13
L6.2.3	S200	C	16	25	$2,98 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L6.2.4	S200	B	20	25	$2,08 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^4$	100
L6.3	S200	C	16	25	$1,28 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L6.3.1	S200	C	3	25	$3,61 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	30
L6.3.2	S200	C	16	25	$2,98 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160
L6.3.3	S200	C	16	25	$9,242 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	160

TABLA 20: Resumen de IA y PIAs empleados

### 5.5.5 Protección frente a sobretensiones

La instrucción que rige la protección frente a sobretensiones es la **ITC-BT-23**, la cual indica como proceder para realizar la protección de las instalaciones eléctricas interiores, aunque la instalación también estará protegida frente a otros tipos de sobretensiones.

Existen muchos problemas derivados de una sobretensión, pero los más comunes son: la perforación de aislantes, las averías en equipos electrónicos, averías en los consumos.

Antes de profundizar en la cuestión, debemos analizar si es necesaria la protección frente a sobretensiones, ya que no es siempre de obligado cumplimiento. La norma nos especifica que tipo de situaciones se pueden producir:

- Situación natural, es aquella en la que existe un bajo riesgo de que se produzca una sobretensión, por ejemplo en las instalaciones alimentadas mediante líneas subterráneas. En este caso no sería necesaria la protección frente a sobretensiones transitorias.
- Situación controlada, en este caso si que es precisa la protección frente a sobretensiones transitorias.

Nuestra planta industrial se encuentra en un polígono industrial de nueva construcción, y por tanto, está alimentada por una línea subterránea. Por esta razón no es necesaria una protección frente a sobretensiones.

### 5.5.6 Compensación energía reactiva

Para que la generación de potencia activa no se vea limitada y para evitar la penalización económica por consumo de energía reactiva vamos a compensar dicha energía que produce cada receptor. Al realizar dicha compensación podremos alcanzar valores de factor de potencia ( $\cos(\varphi)$ ) cercanos a 1; no obstante, si no la realizáramos la compensación, los valores del  $\cos(\varphi) \in (0,7, 0,9)$ , siendo mayores las pérdidas debidas al efecto Joule.

Para poder compensarla, debemos conocer la demanda de potencia reactiva de nuestra instalación, la cual deberá calcularse individualmente a partir de la potencia de cada receptor, obviando a las luminarias ya que éstas por norma presentan un  $\cos(\varphi)$  próximo a 0,9.

No obstante, en nuestra instalación desconocemos la potencia reactiva exacta demandada ya que carecemos de los datos del fabricante, sin embargo, hemos supuesto unos valores aproximados según la potencia activa demandada:

$$\begin{aligned} P \leq 2 \text{ kW} &\rightarrow \cos(\varphi) \square 0,75 \\ P \leq 20 \text{ kW} &\rightarrow \cos(\varphi) \square 0,85 \\ P > 20 \text{ kW} &\rightarrow \cos(\varphi) \square 0,87 \end{aligned}$$

Rigiéndonos por los valores aquí expuestos y con la potencia demandada por cada receptor, obtendremos la potencia reactiva (Q) a partir de la siguiente expresión:

$$Q_r = P \cdot \tan(\varphi) \quad (43)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{\sqrt{1-\cos(\varphi)^2}}{\cos(\varphi)} \quad (44)$$

Potencia kW	$\cos(\varphi)$	$\tan(\varphi)$	$Q_r$ (kVAr)	Potencia kW	$\cos(\varphi)$	$\tan(\varphi)$	$Q_r$ (kVAr)
0'375	0,75	0,882	0,33072	18'75	0,85	0,62	11,62021
3'75	0,85	0,62	2,32404	1	0,75	0,882	0,88192
3	0,85	0,62	1,85923	15	0,85	0,62	9,29617

30	0,87	0,567	17,00178	25	0,87	0,567	14,16815
120	0,87	0,567	68,00713	5	0,85	0,62	3,09872
80	0,87	0,567	45,33809	36'8	0,87	0,567	20,85552
50	0,87	0,567	28,33631	60	0,87	0,567	34,00357
160	0,87	0,567	90,67618	2	0,75	0,882	1,76383
60	0,87	0,567	34,00357	11'25	0,85	0,62	6,97212
1	0,75	0,882	0,88192	7'5	0,85	0,62	4,64808
20	0,85	0,62	12,39489	15	0,85	0,62	9,29617
15	0,85	0,62	9,29617	3	0,85	0,62	1,85923
13,5	0,85	0,62	8,36655				

TABLA 21: Cálculo de la potencia reactiva

Dividiremos el coste por consumo de la energía reactiva entre los distintos escalones según el factor de potencia. Se quiere compensar la energía reactiva de forma que el factor de potencia no sea menor que  $\cos(\varphi')=0,9$ . Para conseguirlo instalaremos en un conjunto de condensadores en el cuadro general.

$$\cos(\varphi') = 0,9 \rightarrow \tan(\varphi) = 0,48432$$

$$P \cdot \tan(\varphi') = Q_f \quad (45)$$

Siendo  $Q_f$  la potencia reactiva que tendrá al final nuestra instalación.

$$Q_f = 864,425 \cdot 0,8 \cdot 0,48432 = 334,93 \text{ kVAr} \quad (46)$$

$$Q_c = Q_f - Q_r \rightarrow Q_c = 505,83859 \cdot 0,8 - 334,93 = 64,512 \text{ kVAr} \quad (47)$$

Decidimos realizar la compensación de energía reactiva de forma centralizada y regulable, así podremos realizar la compensación mediante una instalación de condensadores en el cuadro general. Este método nos permite ajustar la regulación para la gran variedad de factores de potencia de nuestra instalación sin un excesivo mantenimiento.

Para esta instalación se ha creado un grupo de condensadores regulable que dividimos en 4 escalones distintos; de esta manera la compensación se realizará en función de la necesidad de la instalación. Los escalones son:

$$\begin{aligned}
 & - Q_u \\
 & - 2 \cdot Q_u \\
 & - 3 \cdot Q_u \\
 & - 4 \cdot Q_u
 \end{aligned}
 \quad
 Q_u = \frac{Q_c}{4} = \frac{64,512}{4} = 16,128 \text{ kVAr}$$

Finalmente obtenemos la intensidad demandada por los condensadores para poder calcular la línea que va a alimentarlos.

$$I_B = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16,128}{\sqrt{3} \cdot 400} = 23,28 \text{ A} \quad (48)$$

## 6 CONCLUSIÓN

En este proyecto hemos realizado el diseño de una instalación de baja tensión de una planta industrial dedicada a la industria del plástico, desde su salida del centro de transformación hasta las tomas de corriente para alimentar a los receptores imprevistos.

La instalación muestra una gran flexibilidad en el diseño de los cuadros secundarios y en las protecciones previstas frente a sobreintensidades aportando elevadas prestaciones de servicio y una continuidad del mismo aceptable de acuerdo a las necesidades del edificio. Seguidamente, se ha conseguido que los posibles fallos que sufra la instalación (tanto en los receptores como en la líneas) no se contagie al resto de la instalación de manera que no deriven en pérdidas económicas debidas por un paro en la producción o por la sustitución de algún elemento de la instalación.

El siguiente aspecto a recalcar de este diseño es la búsqueda del confort y del ahorro económico. Por esta razón, las canalizaciones se han diseñado de forma que resulte sencilla su comprensión de acuerdo con el resto de instalaciones presentes (agua, gas, telefonía...), es decir, evitando recorridos laberínticos. De la misma manera se ha actuado al instalar los cuadros de alumbrado o de las protecciones para facilitar su mantenimiento, etc.

Finalmente, la realización de este proyecto ha supuesto una gran oportunidad para ampliar y asentar mis conocimientos sobre las instalaciones eléctricas de baja tensión, además de adquirir ciertas de la competencias transversales que se imparten en el grado que he cursado.

## 7 REFERENCIAS

### 7.1 Normativas

- [1] **“Reglamento electrotécnico de baja tensión”**, REAL DECRETO 842/2002. □ Del total de las instrucciones que componen el REBT, estas son las que han sido utilizadas:
- [2] **ITC-BT-19**: “Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales”. □
- [3] **ITC-BT-20**: “Instalaciones interiores o receptoras. Sistemas de instalación”. □
- [4] **ITC-BT-21**: “Tubos y canales protectoras”
- [5] **ITC-BT-08**: “Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica”.
- [6] **ITC-BT-18**: “Instalaciones de puesta a tierra”.
- [7] **ITC-BT-22**: “Protección contra sobreintensidades”.
- [8] **ITC-BT-23**: “Protección contra sobretensiones”.
- [9] **ITC-BT-24**: “Protección contra los contactos directos e indirectos”.

[10] **“Reglamentos de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”**, REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de Diciembre.

[11] **“Normas particulares y condiciones técnicas y de seguridad 2005: Capítulo 4 Centros de transformación, seccionamiento y entrega”**. Endesa

[12] **“Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría”**. Unesa

[13] **“UNE 20460-5-523 (Edición Noviembre 2004)”**. Instalaciones máximas admisibles en conductores para instalaciones eléctricas en edificios.

[14] **“Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (Mayo 2002)”**. Iberdrola.

## 7.2 Bibliografía

[15] Roger Folch, José; Martín Riera Guasp, Martín; Roldán Porta, Carlos. **“Tecnología eléctrica”**. 3a edición Síntesis

[16] Roger Folch, José; Riera Guasp, Martín; Roldán Porta, Carlos. **“Problemas de tecnología eléctrica”**. 1a edición Síntesis.

[17] **“Guía técnica de aplicación del REBT”**. 8a edición Creaciones Copyright.

## 7.3 Catálogos industriales

[18] PHILIPS ESPAÑA. Tarifas iluminarias 2016.

[19] ABB ESPAÑA. Tmax. Generación T. Interruptores automáticos en caja moldeada de baja tensión hasta 1600 A

[20] ABB ESPAÑA. **System pro M compact**

DOCUMENTO N°2: CÁLCULOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

## 1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

En este apartado se va a profundizar más en el método de obtención de la sección necesaria de un conductor. Como ya se ha explicado en la memoria, el primer criterio que se va a aplicar es el térmico, para posteriormente, comprobar si dicha sección cumple frente al criterio de caída de tensión.

## 1.1 Criterio térmico

Para poder aplicar este criterio, debemos calcular la  $I_B$ :

$$I_B(A) = \frac{P(W)}{\sqrt{3} \cdot U(V) \cdot \cos(\varphi)} \quad (1)$$

Donde U(V) viene dado de la relación de transformación del transformador empleado 400/230 V, P(W) es la potencia absorbida por la red (producto de la potencia nominal por el rendimiento del motor eléctrico),  $\cos(\varphi)$  es el factor de potencia, el cual hemos rectificado mediante la compensación reactiva, por tanto su valor será  $\cos(\varphi)=0,9$ .

Para ejemplificar como se han llevado a cabo los cálculos de todas las líneas, vamos a explicar con detalle el diseño de la línea L3.2.

$$I_B(A) = \frac{P(W)}{\sqrt{3} \cdot U(V) \cdot \cos(\varphi)} = \frac{(30000 \cdot 1,25 + 10000)}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 76,18 \quad (2)$$

Atendiendo a los datos de la potencia nominal de esta maquina, tenemos que su potencia nominal es de 40 kW, nos obstante, parte de esta potencia está dedicada al motor y otra parte a los otros procesos que lleva a cabo.

$$P(W)_3 = 30000(P_{motor}) + 10000(P_{restante}) = 40000W \quad (3)$$

Para obtener el factor de corrección k, hemos empleado las tablas de la **ITC-BT-19**. En estas tablas debemos tener en cuenta el método de instalación, el conductor y el aislante empleado en la línea que estamos calculando.

La línea L3.2 está compuesta por un cables unipolar de cobre aislada mediante XLPE e instalada en una bandeja perforada, siendo su instalación de referencia la F.

Como el conductor está instalado en una bandeja perforada con más de una línea, y las intensidades nominales se han obtenido con una temperatura ambiente de 30°C y una sola línea, debemos calcular el facto de corrección. Para el factor de corrección de temperatura, teniendo en cuenta los datos meteorológicos de la zona en la que está ubicada la planta industrial, se ha considerado una temperatura ambiente de 35°C, obteniendo así un factor de corrección  $k_T=0,96$ . Para el factor de corrección por agrupamiento, al estar agrupados 4 circuitos, se ha obtenido un factor de corrección  $k_A=0,77$ .

Por tanto, el factor de corrección total será:

$$k = k_t \cdot k_a = 0,7392 \quad (4)$$

Ahora ya podemos calcula la intensidad demandada :

$$I_1 = \frac{I_B}{k} = \frac{76,18}{0,7392} = 103,055 A \quad (5)$$

Una vez calculada la intensidad demandada, buscamos en la tabla A.52-1 cuál es la intensidad admisible inmediatamente superior. Entrando en la tabla con el método de instalación F y con XLPE3 obtenemos:

$$I_T = 135 \text{ A y } S = 25 \text{ mm}^2$$

Estos datos están normalizados, por tanto, para adecuarlos a las condiciones de nuestra instalación debemos:

$$I_Z = I_T \cdot k = 135 \cdot 0,7392 = 99,792 \quad (6)$$

## 1.2 Criterio de caída de tensión

Para comprobar la caída de tensión en la línea, debemos calcular primero la impedancia de la misma.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{n \cdot S} = \frac{0,0205 \cdot 35,5}{25 \cdot 1} = 0,026 \ \Omega \quad (7)$$

Donde **l** es la longitud de la línea en metros, **n** el número de fases del conductor, **S** la sección del conductor en  $\text{mm}^2$  y  **$\rho$**  la resistividad del conductor.

Como la resistividad del material depende de la temperatura, primero deberemos calcular a qué temperatura se encuentra el material y así, obtener un valor más aproximado al real.

$$T_{cu} = T_{amb} + (T_Z - T_{amb}) \cdot \left(\frac{I_Z}{I_B}\right)^2 = 35 + (90 - 35) \cdot \frac{99,792}{76,178} = 67,05^\circ\text{C} \quad (8)$$

Ahora ya podemos calcular el valor real de la resistividad del material conductor:

$$\rho_{cu} = \rho_{20^\circ\text{C}} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,01724 \cdot (1 + 0,00397 \cdot (67,05 - 20)) = 0,0205 \ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \quad (9)$$

Para calcular la reactancia de las líneas se requiere de la siguiente expresión:

$$X = x' \cdot l = 0,00008 \cdot 35,5 = 2,84 \times 10^{-3} \ \Omega \quad (10)$$

Donde  $x'$  es la reactancia por kilómetros de línea. Como aproximación, consideraremos que  $x' = 0,00008 \ \Omega \cdot \text{m}$ .

Una vez calculadas las impedancias, podemos proceder al cálculo de la caída de tensión según la siguiente expresión:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R \cdot I_B \cdot \cos\varphi + X \cdot I_B \cdot \sin\varphi) \quad (11)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (0,026 \cdot 76,18 \cdot 0,9 + 0,00284 \cdot 76,18 \cdot 0,436) = 3,25 \text{ V} \quad (12)$$

Como la instrucción exige el cumplimiento en porcentaje de caída de tensión respecto a la intensidad nominal, ésta la deberemos calcular mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{3,25}{400} \cdot 100 = 0,813\% \ll 6,5\% \quad (13)$$

Como podemos observar, la caída de tensión obtenida es muy inferior a la máxima admisible por la instrucción, por tanto, podemos determinar que la sección escogida es válida.

Para las líneas de alumbrado el cálculo de la caída de tensión se realiza de forma distinta debido a la aparición de varias cargas múltiples; también es debido a que despreciamos la

reactancia respecto a la resistencia ya que es muy inferior. Para ejemplificar como se ha realizado el cálculo de las líneas de alumbrado, hemos escogido la línea L5.1.1. En primer lugar, debemos calcular la alimentación necesaria para cada una de las luminarias presentes; para la línea que nos ocupa, existen ocho luminarias.

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{89}{230 \cdot 0,9} = 0,43 \text{ A} \quad (14)$$

Seguidamente, separamos la línea en tramos según el número de luminarias presentes, y calculamos la intensidad necesaria en cada tramo.

$$\begin{aligned} I_{01} &= 0,43 \cdot 8 = 3,44 \text{ A} & I_{05} &= 0,43 \cdot 4 = 1,72 \text{ A} \\ I_{02} &= 0,43 \cdot 7 = 3,01 \text{ A} & I_{06} &= 0,43 \cdot 3 = 1,29 \text{ A} \\ I_{03} &= 0,43 \cdot 6 = 2,58 \text{ A} & I_{07} &= 0,43 \cdot 2 = 0,86 \text{ A} \\ I_{04} &= 0,43 \cdot 5 = 2,15 \text{ A} & I_{08} &= 0,43 \cdot 1 = 0,43 \text{ A} \end{aligned}$$

Seguidamente hallaremos la caída de tensión en el caso de una línea monofásica:

$$A = \frac{\rho \cdot \cos\varphi}{s} = \frac{0,0194 \cdot 0,9}{1,5} = 0,0112 \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{01} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 3,44 = 0,361 \text{ V} & \Delta U_{05} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 1,72 = 0,181 \text{ V} \\ \Delta U_{02} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 3,01 = 0,316 \text{ V} & \Delta U_{06} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 1,29 = 0,136 \text{ V} \\ \Delta U_{03} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 2,58 = 0,271 \text{ V} & \Delta U_{07} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 0,86 = 0,09 \text{ V} \\ \Delta U_{04} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 2,15 = 0,226 \text{ V} & \Delta U_{08} &= 0,0112 \cdot 2 \cdot 4,69 \cdot 0,43 = 0,045 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\sum \Delta U = 1,626 \text{ V} \quad (16)$$

## 2. PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DEL CT

Como ya se ha explicado en la memoria el cálculo básico de la puesta a tierra de las masas del CT, en este apartado, nos adentraremos en el cumplimiento de la normativa en base a la seguridad, tanto de los materiales de la instalación, como de las personas.

En primer lugar debemos calcular la intensidad máxima que se tendría en caso de que se produjera un defecto franco fase-masa. Siendo  $R_n$  y  $X_n$  la resistencia y reactancia de la puesta a tierra de la subestación de transformación que alimenta a nuestro CT. Tomamos  $R_n = 0$ , para calcular la intensidad que circularía en el peor de los casos.

$$I_d = \frac{U_F}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{21,4^2 + 25^2}} = 350,8838 \text{ A} \quad (17)$$

$$V_{bt} = 8000 \text{ V} \geq V_{t,máx} = I_{d,máx} \cdot R_t = 350,8838 \cdot 21,4 = 7508,91 \text{ V} \quad (18)$$

Observamos que cumple las condiciones de seguridad para los materiales, por tanto, podemos proceder a la comprobación de las medidas de seguridad para las personas.

Seguidamente se calculan las tensiones máximas de paso y de contacto, también calcularemos las tensiones exteriores. Aunque el nuevo reglamento introduce una resistencia debida al calzado, en nuestro caso, para prever la peor de las situaciones, aquella en que la persona no utiliza un calzado adecuado, no la utilizamos.

$$V_{cm} = V_{cm,ext} = K_c \cdot \rho_1 \cdot I_d = 4470,26 \text{ V} \quad (19)$$

$$V_{pm} = V_{pm,ext} = K_p \cdot \rho_1 \cdot I_d = 1494,765 V \quad (20)$$

Condiciones relativas a la seguridad de las personas:

$$1. V_{pm} = 1494,765 V \leq V_{p,adm} = 19542,857 V \rightarrow \text{Se cumple} \quad (21)$$

$$2. V_{cm} = 4470,26 V \leq V_{cad} = 565,714 V \rightarrow \text{No se cumple} \quad (22)$$

$$3. I_d = 350,8838 \geq I_a = 0,7 \quad (23)$$

Al no cumplirse la segunda condición debemos añadir medidas adicionales que consisten en que las puertas y las rejillas metálicas que dan al exterior no tengan contacto eléctrico con masas conductoras y en instalar un mallazo electrosoldado constituido por redondos de diámetro superior a 4 mm. Seguidamente comprobamos que dichas medidas adicionales son suficientes para cumplir las condiciones de seguridad.

t(s)	K	n
$0,9 \geq t \geq 0,1$	72	1
$3 \geq t \geq 0,9$	78,645	0,18
$5 \geq t \geq 03$	64	0
$t \geq 5$	50	0

**TABLA 1:** Constantes K, n para el cálculo de las tensiones admisibles (Fuente: libro TE)

En nuestros cálculos hemos supuesto el valor de  $t = 0,7$  y  $n = 1$ .

$$V_{cad} = \frac{K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot \rho_2}{1000}\right) = \frac{72}{0,7^1} \cdot \left(1 + \frac{1,5 \cdot 3000}{1000}\right) = 565,714 V \quad (24)$$

$$V_{pad} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho_2}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 72}{0,7^1} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 3000}{1000}\right) = 19542,857 V \quad (25)$$

$$V_{p(acc)ad} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho_2 + 3 \cdot \rho'_2}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 72}{0,7^1} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 3000 + 3 \cdot 1000}{1000}\right) = 13371,428 V \quad (26)$$

$$V_{p(acc)ad} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho_2 + 3 \cdot \rho'_2}{1000}\right) = \frac{10 \cdot 72}{0,7^1} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 3000 + 3 \cdot 3000}{1000}\right) = 19542,8571 V \quad (27)$$

K y n son constantes que dependen del tiempo, tomando éste como el tiempo de actuación de las protecciones,  $\rho_2$  ( $\Omega \cdot m$ ) es la resistividad del suelo que está en el CT.

$$1. V_{pm,ext} = 1494,765 V \leq V_{p,adm} = 19542,857 V \quad (28)$$

$$2. V_{p(acc)m} = V_{cm,ext} = 4470,26 V \leq V_{p(acc)acera} = 13371,428 V \quad (29)$$

### 3. SOBREINTENSIDADES

Para proceder a determinar las protecciones necesarias frente a sobreintensidades, primero deberemos calcular las corrientes de cortocircuito que puedan aparecer en las líneas.

$$I''_K = \frac{U_{nT}}{\sqrt{3} \cdot Z_K} \quad (30)$$

Donde  $U_{nT}$  es la tensión nominal secundaria del transformador (400 V) y  $Z_K = (R_K + j \cdot X_K)$  es la impedancia de defecto del circuito. Esta impedancia se calcula como el sumatorio de las impedancias de cc desde la salida del transformador hasta el punto donde se produce el cortocircuito

Para explicar el procedimiento que se ha llevado a cabo en el diseño y selección de los dispositivos para la protección frente a sobreintensidades, vamos a desarrollar los pasos realizados para la línea L1.1, siendo los de las demás líneas análogos.

La caída de baja tensión provocada por la corriente del tr

#### 3.1 Sobrecargas

Para explicar el procedimiento que se ha llevado a cabo en el diseño y selección de los dispositivos para la protección frente a sobreintensidades, vamos a desarrollar los pasos realizados para la línea L1.1, siendo los de las demás líneas análogos.

→ Procedemos a comprobar, mediante las fórmulas (51) y (52) que el dispositivo que hemos escogido, cumple frente a sobrecargas:

$$I_B = 0,925435 \leq I_n = 1 \leq I_z = 15,3032 \quad (31)$$

$$I_2 = 1,45 \leq 1,45 \cdot I_z = 22,18964 \quad (32)$$

#### 3.2 Cortocircuito

La impedancia de la línea de media tensión es:

$$Z_{MT} = 1,1 \cdot \frac{U_{nT}^2}{1000 \cdot S''_K} = 1,1 \cdot \frac{400^2}{1000 \cdot 350} = 0,5028 \text{ m}\Omega \quad (33)$$

$$X_{MT} = 0,995 \cdot Z_L = 0,50034 \text{ m}\Omega \quad (34)$$

$$R_{MT} = 0,1 \cdot X_L = 0,05028 \text{ m}\Omega \quad (35)$$

La impedancia de cortocircuito del transformador es:

$$Z_{BT} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2} = 12,9 \text{ m}\Omega \quad (36)$$

$$R_{BT} = \frac{\varepsilon_{R_{cc}}(\%)}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{1 \cdot 400^2}{100 \cdot 1000} = 1,6 \text{ m}\Omega \quad (37)$$

$$X_{BT} = \frac{\varepsilon_{X_{cc}}(\%)}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{8 \cdot 400^2}{100 \cdot 1000} = 12,8 \text{ m}\Omega \quad (38)$$

Estos cálculos nos servirán más adelante para calcular los cortocircuitos máximos y mínimos en cada línea.

→ Aplicando las fórmulas (56) y (57), comprobamos que el dispositivo de la L1.1 cumpla frente a cortocircuitos, procedimiento que es análogo para las demás líneas.

Empezamos comprobando el punto 1), para ellos debemos calcular previamente las impedancias de la líneas aguas arriba de la que nos atañe.

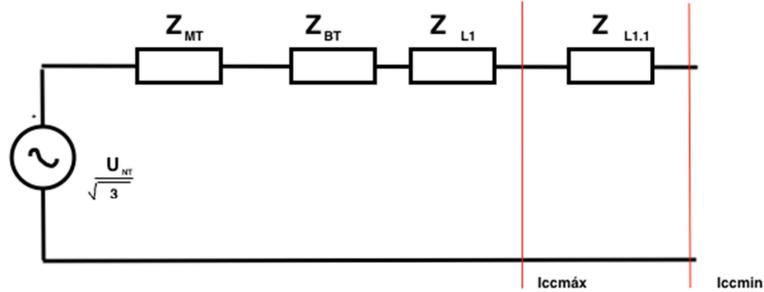


FIGURA 1: Circuito monofásico equivalente para un cc tripolar de la L1.1

$$Z = Z_{MT} + Z_{BT} + Z_{L1} = 16,2028 \tag{39}$$

$$I''_{cc,máx} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 16,2028} = 14,25309 \text{ kA} \tag{40}$$

$$1) P_{dc} = 16 \text{ kA} > 14,25309 \text{ kA} \tag{41}$$

$$2) I_{cc,mín} > I_a$$

$$Z_{L1.1} = \sqrt{0,01^2 + 2,744^2} = 2,744 \tag{42}$$

$$Z_{TOTAL} = Z_{MT} + Z_{BT} + Z_{L1} + Z_{L1.1} = 20,2761 \tag{43}$$

$$I''_{cc,min} = 0,5 \cdot \frac{400}{\sqrt{3}} = 5,694882 \text{ kA} \tag{44}$$

$$I_a = 5 I_n = 5^a < 5,694882 \text{ kA} \tag{45}$$

$$3) I_{cc,max} > I_B$$

$$(I^2t)_{adm} = (K \cdot S)^2 \geq (I^2t) \tag{46}$$

Donde K es una constante que depende del material conductor y del aislante empleado, que obtendremos de la siguiente tabla y S es la sección del cable.

Combinaciones de aislante y conductor	K
Aluminio con PVC	76
Aluminio con XLPE	94
Cobre con PVC	115
Cobre con XLPE	143

TABLA 2: Valores de K

$$(K \cdot S)^2 = (76 \cdot 2,5)^2 = 3,61 \cdot 10^4 \text{ A}^2 \cdot \text{s} \tag{47}$$

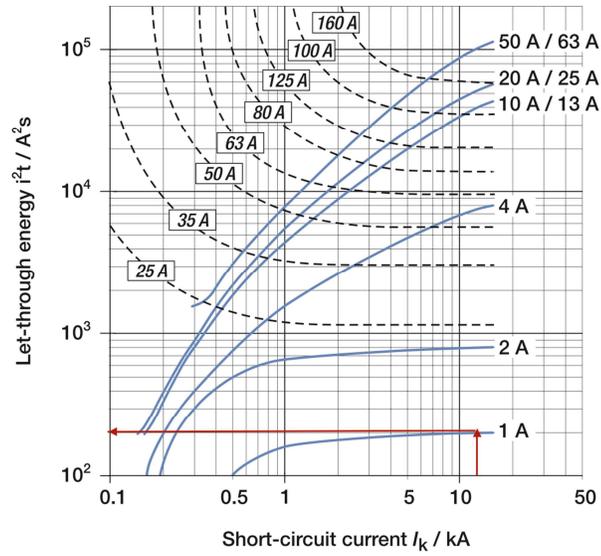


FIGURA 2: Curva  $I^2t$  de un IA S200-B

De esta figura obtenemos el valor de  $I^2t$  del PIA escogido para la línea que estamos estudiando

$$(I^2t) = 2 \cdot 10^2 \text{ A}^2 \cdot \text{s} \tag{48}$$

$$(I^2t)_{PIA} = 2 \cdot 10^2 \text{ A}^2 \cdot \text{s} < (I^2t)_{adm} = 3,61 \cdot 10^4 \text{ A}^2 \cdot \text{s} \tag{49}$$

## DOCUMENTO N°3: PRESUPUESTOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

### 1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

#### **Capítulo 1:** Instalación de puesta a tierra

- **Unidad de obra 1:** Pica de puesta a tierra del neutro del transformador (ud)

PAT del neutro del transformador mediante una pica vertical de 8 metros de longitud y  $\phi 14$ mm. Compuesta por acero recubierto con cable desnudo de cobre con un espesor medio de 300 $\mu$ .

- **Unidad de obra 2:** Puesta a tierra de las masas de baja tensión (mm)

El electrodo escogido tiene forma de cinta de acero (sección 30x35 mm<sup>2</sup>) que será enterrado en las zanjas de cimentación a una profundidad de 0,5m.

- **Unidad de obra 3:** Puesta a tierra de las masas de CT (m)

La puesta a tierra consta de un electrodo en forma de anillo rectangular de dimensiones 6x3m, de cobre desnudo con una sección de 50 mm<sup>2</sup> enterrado en la zanja de cimentación del CT a una profundidad de 0,5m.

- **Unidad de obra 4:** Conductor de tierra (m)

Conductor de cobre de 25 mm<sup>2</sup> sin protección mecánica frente a corrosión. Incluimos todos los procesos necesarios para llevarlo a cabo.

#### **Capítulo 2:** Suministro eléctrico

- **Unidad de obra 5:** Línea trifásica enterrada (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de la línea que va desde el CT hasta el cuadro general.

- **Unidad de obra 6:** Líneas trifásicas en la bandeja 1 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 1 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 7:** Líneas trifásicas en la bandeja 2 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 2 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 8:** Líneas trifásicas en la bandeja 3 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 3 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 9:** Líneas trifásicas en la bandeja 4 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 4 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 10:** Líneas monofásicas en la bandeja 5 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 5 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 11:** Líneas monofásicas en la bandeja 6 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 6 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 12:** Líneas monofásicas en la bandeja 7 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 7 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 13:** Líneas trifásicas en la bandeja 8 (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas (fase y neutro) que están en la bandeja perforada 8 metálica de varilla de 105x300 mm.

- **Unidad de obra 14:** Líneas monofásicas empotradas en techo (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas.

- **Unidad de obra 15:** Líneas monofásicas empotradas en pared (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas.

- **Unidad de obra 16:** Líneas monofásicas empotradas en suelo (m)

Instalación y suministro en perfecto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas.

### Capítulo 3: Cuadros eléctricos

- **Unidad de obra 17:** Cuadro secundarios de distribución (ud)

Instalación y suministro de cuadros de distribución vacíos de tipo industrial con puerta transparente para montar en pared con índice de protección IP43 según REBT.

- **Unidad de obra 18:** Cuadro general de distribución (ud)

Instalación y suministro del cuadro general distribución vacíos de tipo industrial con puerta transparente para montar en pared con índice de protección IP43 según REBT.

**Capítulo 4: Alumbrado****• Unidad de obra 19:** Iluminación general almacén (ud)

Alumbrado general correspondiente a la zona del almacén, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 20:** Iluminación general zona proceso industrial (ud)

Alumbrado general correspondiente a la zona del proceso industrial, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 21:** Iluminación general zona trituradoras (ud)

Alumbrado general correspondiente a la zona trituradoras, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 22:** Iluminación general taller (ud)

Alumbrado general correspondiente al taller, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 23:** Iluminación general a la zona del grupo de frío (ud)

Alumbrado general correspondiente a la zona del grupo de frío, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 24:** Iluminación general oficina 1 (ud)

Alumbrado general correspondiente a la oficina 1, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 25:** Iluminación general oficina 2 (ud)

Alumbrado general correspondiente a la oficina 2, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 26:** Iluminación general sala de reuniones (ud)

Alumbrado general correspondiente a la sala de reuniones, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 27:** Iluminación general vestuario 1 (ud)

Alumbrado general correspondiente al vestuario 1, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

**• Unidad de obra 28:** Iluminación general vestuario 2 (ud)

Alumbrado general correspondiente al vestuario 2, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 29:** Iluminación general aseo 1(ud)

Alumbrado general correspondiente al aseo 1, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 30:** Iluminación general aseo 2 (ud)

Alumbrado general correspondiente al aseo 2, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 31:** Iluminación general pasillo (ud)

Alumbrado general correspondiente al pasillo, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 32:** Iluminación general entrada (ud)

Alumbrado general correspondiente a la entrada, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 33:** Iluminación general comedor (ud)

Alumbrado general correspondiente al comedor , se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 34:** Iluminación general CT (ud)

Alumbrado general correspondiente al CT, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 35:** Iluminación general exterior (ud)

Alumbrado general correspondiente al exterior, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

- **Unidad de obra 36:** Iluminación de emergencia

Alumbrado general correspondiente a la oficina 1, se incluye la instalación y conexión de las luminarias descritas en los apartados anteriores.

## Capítulo 5: Protección frente a sobreintensidades

- **Unidad de obra 37:** PIA tetrapolar (ud)

Instalación y conexión de interruptores magnetotérmicos automáticos tetrapolares con poderes de corte hasta 25 kA e intensidad de disparo fija.

- **Unidad de obra 38:** PIA bipolar (ud)

Instalación y conexión de interruptores magnetotérmicos automáticos bipolares con poderes de corte hasta 25 kA e intensidad de disparo fija.

- **Unidad de obra 39:** IA en caja moldeada (ud)

Instalación y conexión de interruptores magnetotérmicos automáticos de caja moldeada de baja tensión para instalaciones de 4 polos con poderes de corte hasta 25 kA e intensidad de disparo fija.

### Capítulo 6: Protección frente a contactos indirectos

- **Unidad de obra 40:** Interruptor diferencial tetrapolar LG:

Instalación del interruptor diferencial tetrapolar selectivo de  $I_{\Delta N} = 1000\text{mA}$  situado en la línea general.

- **Unidad de obra 41:** Interruptores diferenciales tetrapolares y bipolares:

Instalación de interruptores diferenciales tetrapolar selectivos de  $I_{\Delta N} = 300\text{mA}$  situado en las líneas L1, L2, L3, L4, L5 y L6.

- **Unidad de obra 42:** Interruptores diferenciales tetrapolares y bipolares:

Instalación de interruptores diferenciales tetrapolar selectivos de  $I_{\Delta N} = 100\text{mA}$  situado en las líneas L5.1, L5.2, L5.3, L6.2 y L6.3.

- **Unidad de obra 42:** Interruptores diferenciales tetrapolares y bipolares:

Instalación de interruptores diferenciales tetrapolar de  $I_{\Delta N} = 30\text{mA}$  en el resto de líneas.

### Capítulo 7: Compensación de energía reactiva

- **Unidad de obra 43:** Compensación de condensadores

Instalación de una batería automática de cuatro condensadores organizados en escalones, incluye todos los elementos necesarios para llevar a cabo una correcta conexión.

### Capítulo 8: Tomas de corriente

- **Unidad de obra 44:** Toma de corriente vacía base saliente

Toma de corriente industrial de base saliente, monofásica y con grado de protección IPP4.

- **Unidad de obra 45:** Toma de corriente puesto de trabajo

Toma de corriente industrial de base saliente, monofásica y con grado de protección IPP4.

## 2. PRESUPUESTOS PARCIALES

Capítulo 1: Puestas a tierra

- **Unidad de obra 1:** Pica de puesta a tierra del neutro del transformador (ud)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	0,43	h	19,23	82,789
Especialista en electricidad	0,43	h	18,36	7,895
Cable cobre desnudo	3,5	m	1,21	4,235
Electrodo pica $\phi$ 14mm con 8m de longitud	1	ud	74,75	74,75
Costes directos complementarios	2	%	169,67	3,93
			<b>Coste total</b>	<b>169,364</b>

- **Unidad de obra 2:** Puesta a tierra de las masas de baja tensión (mm)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	0,4	h	19,23	7,692
Peón ordinario de construcción	0,2	h	17,88	3,576
Cinta de acero sección (30x35 mm <sup>2</sup> )	1	m	1,32	1,32
Accesorios según REBT	0,5	ud	2,04	1,02
Costes directos complementarios	2	%	13,608	0,272
			<b>Coste total</b>	<b>13,88</b>

- **Unidad de obra 3:** Puesta a tierra de las masas de CT (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	0,4	h	19,23	7,692
Peón ordinario de construcción	0,2	h	17,88	3,576
Cable de cobre desnudo 50 mm <sup>2</sup>	1	m	1,69	1,69
Accesorios según REBT	0,5	ud	2,04	1,02
Costes directos complementarios	2	%	13,978	0,2796
			<b>Coste total</b>	<b>14,26</b>

- **Unidad de obra 4:** Conductor de tierra (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
Oficial de 1ª electricidad	0,4	h	19,23	7,692
Peón ordinario construcción	0,2	h	17,88	3,576
Cable de cobre desnudo 1x25 mm <sup>2</sup>	1,05	m	0,84	0,882
Taco y collarín para sujeción del electrodo	0,5	ud	2,04	1,02
Costes directos complementarios	2	%	13,17	0,2634
			<b>Coste total</b>	<b>13,4334</b>

Capítulo 2: Suministros

- **Unidad de obra 5:** Línea trifásica enterrada (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial 1ª construcción	1,24	h	15,92	19,74

Peón ordinario de construcción	1,24	h	17,82	22,1
Oficial de 1ª electricidad	2	h	19,23	38,46
Ayudante de electricista	1,78	h	16,1	28,658
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 240 mm <sup>2</sup>	194,4	m	28,16	5474,304
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 120 mm <sup>2</sup>	64,8	m	14,43	935,064
Tubo de polietileno de doble pared	259,2	m	14,74	3820,608
Equipo y maquinaria	259,2	m	3,02	782,784
Costes directos complementarios	2	%	11121,718	22,434
			<b>Coste total</b>	<b>11344,152</b>

• **Unidad de obra 6:** Líneas trifásicas en la bandeja 1 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	22,76	h	19,23	437,65
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 240 mm <sup>2</sup>	292,5	m	17,78	5200,65
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 120 mm <sup>2</sup>	97,5	m	9,12	889,2
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 185 mm <sup>2</sup>	99,6	m	14,18	1412,328
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 95 mm <sup>2</sup>	33,2	m	7,19	238,708
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 2,5 mm <sup>2</sup>	216,8	m	0,31	67,208
Bandeja varilla inoxidable 105x300	91,035	m	115,87	10548,23
Costes directos complementarios	2	%	18793,97	375,88
			<b>Coste total</b>	<b>19169,844</b>

• **Unidad de obra 7:** Líneas trifásicas en la bandeja 2 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	14,4	h	19,23	276,912
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 185 mm <sup>2</sup>	54,9	m	14,18	778,482
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 95 mm <sup>2</sup>	18,3	m	7,19	131,577
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 120 mm <sup>2</sup>	12	m	9,12	109,44
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 70mm <sup>2</sup>	4	m	5,54	22,16
Bandeja varilla inoxidable 105x300	15,12	m	115,87	1751,9544
Costes directos complementarios	2	%	3070,525	61,41
			<b>Coste total</b>	<b>3131,94</b>

• **Unidad de obra 8:** Líneas trifásicas en la bandeja 3 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	16,375	h	19,23	314,891
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 95 mm <sup>2</sup>	195,5	m	7,19	1412,835

Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 50mm <sup>2</sup>	65,5	m	4,07	266,585
Bandeja varilla inoxidable 70x200	45,2	m	113,44	5127,488
Costes directos complementarios	2	%	7121,799	142,436
<b>Coste total</b>				<b>7264,235</b>

• **Unidad de obra 9:** Líneas trifásicas en la bandeja 4 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	22,16	h	19,23	426,14
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 240 mm <sup>2</sup>	111,9	m	17,78	1989,582
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 120 mm <sup>2</sup>	37,3	m	9,12	340,176
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 70mm <sup>2</sup>	114	m	5,54	631,56
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 35 mm <sup>2</sup>	38	m	2,92	110,96
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 25 mm <sup>2</sup>	106,5	m	2,02	215,13
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 16 mm <sup>2</sup>	35,5	m	1,3	46,15
Bandeja varilla inoxidable 105x300	39,165	m	115,87	4538,05
Costes directos complementarios	2	%	8082,618	161,652
<b>Coste total</b>				<b>8244,27</b>

• **Unidad de obra 10:** Líneas monofásicas en la bandeja 5 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	25,38	h	19,23	488,057
Cable Al/PVC rígido RV 0,6/1kV de 1,5 mm <sup>2</sup>	999,2	m	0,16	159,872
Bandeja varilla inoxidable 35x100	266,49	m	36,49	9724,422
Costes directos complementarios	2	%	10372,351	207,447
<b>Coste total</b>				<b>10579,8</b>

• **Unidad de obra 11:** Líneas monofásicas en la bandeja 6 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	13,41	h	19,23	257,874
Cable Al/PVC rígido RV 0,6/1kV de 1,5 mm <sup>2</sup>	268,2	m	0,16	42,912
Bandeja varilla inoxidable 35x100	140,805	m	36,49	5137,97
Costes directos complementarios	2	%	5438,765	108,76
<b>Coste total</b>				<b>5547,54</b>

• **Unidad de obra 12:** Líneas monofásicas en la bandeja 7 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	11,86	h	19,23	228,068
Cable Al/PVC rígido RV 0,6/1kV de 1,5 mm <sup>2</sup>	237,2	m	0,16	37,952

Bandeja varilla inoxidable 35x100	124,53	m	36,49	4544,1
Costes directos complementarios	2	%	4810,12	96,202
<b>Coste total</b>				4906,322

• **Unidad de obra 13:** Líneas trifásicas en la bandeja 8 (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	23,14	h	19,23	44,982
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 35 mm <sup>2</sup>	168	m	2,92	490,56
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 16 mm <sup>2</sup>	56	m	1,3	72,8
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 2,5 mm <sup>2</sup>	238,8	m	0,28	66,864
Bandeja varilla inoxidable 70x200	121,485	m	73,84	8970,452
Costes directos complementarios	2	%	9645,658	192,91
<b>Coste total</b>				9838,57

• **Unidad de obra 14:** Líneas monofásicas empotradas en techo (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	31,7	h	19,23	609,591
Cable Al/PVC rígido 450/750V de 2,5 mm <sup>2</sup>	629,2	m	0,28	176,176
Cable Al/PVC rígido 450/750V 1,5 mm <sup>2</sup>	57,1	m	0,16	9,136
Tubo rígido PVC 20mm	343,15	m	1,01	346,582
Costes directos complementarios	2	%	1141,485	22,83
<b>Coste total</b>				1164,315

• **Unidad de obra 15:** Líneas monofásicas empotradas en pared (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	10,42	h	19,23	200,4
Cable Cu/XLPE rígido 450/750V 95 mm <sup>2</sup>	14,1	m	10,71	151,00
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 50 mm <sup>2</sup>	4,7	m	5,64	26,508
Cable Cu/XLPE rígido 450/750V 25mm <sup>2</sup>	16,2	m	2,02	32,724
Cable Cu/XLPE rígido RV 450/750V 16 mm <sup>2</sup>	22,6	m	2,1	47,46
Cable Cu/PVC rígido 450/750V 6 mm <sup>2</sup>	51,6	m	0,63	32,25
Cable Cu/XLPE rígido 450/750V 4 mm <sup>2</sup>	46	m	0,49	22,54
Cable Cu/PVC rígido 450/750V 4 mm <sup>2</sup>	57,2	m	0,38	21,736
Cable Cu/XLPE rígido 450/750V 1,5 mm <sup>2</sup>	104,44	m	0,16	16,704
Tubo rígido PVC 16mm	24	m	0,72	17,28
Tubo rígido PVC 20mm	21	m	1,01	21,21
Tubo rígido PVC 25mm	12,9	m	1,5	19,35
Tubo rígido PVC 40mm	4,3	m	3,12	13,416

Tubo rígido PVC 50mm	5,4	m	4,29	23,166
Tubo rígido PVC 125mm	4,7	m	8,1	38,07
Costes directos complementarios	2	%	683,814	13,676
			<b>Coste total</b>	<b>697,49</b>

• **Unidad de obra 16:** Líneas monofásicas tomas de corriente (m)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	39,8	h	19,23	765,354
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 1,5 mm <sup>2</sup>	165,4	m	0,23	38,042
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 2,5 mm <sup>2</sup>	58,9	m	0,31	18,26
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 4 mm <sup>2</sup>	28,6	m	0,38	10,868
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1kV 16 mm <sup>2</sup>	158,4	m	1,3	205,92
Embelledor de PVC	193,05	m	1,68	324,324
Esquina embellecedora de PVC	7	ud	1,2	8,4
Costes directos complementarios	2	%	1165,248	23,305
			<b>Coste total</b>	<b>1188,55</b>

Capítulo 3: Cuadros eléctricos

• **Unidad de obra 17:** Cuadro secundarios de distribución (ud)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
Oficial de 1ª electricidad	38,9	h	19,23	748,047
Especialista en electricidad	38,9	h	18,36	714,204
Cuadro general PR 18 10201 de superficie	2	ud	24,43	48,86
Cuadro general PR 18 10202 de superficie	4	ud	39,02	156,08
Cuadro general PR 18 10203 de superficie	3	ud	57,28	171,84
Cuadro general PR 18 10204 de superficie	3	ud	73,28	219,75
Costes directos complementarios	2	%	2058,781	41,1756
			<b>Coste total</b>	<b>2099,96</b>

• **Unidad de obra 18:** Cuadro general de distribución (ud)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	10	h	19,23	192,3
Especialista en electricidad	10	h	18,36	183,6
Cuadro general PR 18 10264 de superficie	1	ud	203,56	203,56
Costes directos complementarios	2	%	579,46	11,5892
			<b>Coste total</b>	<b>591,05</b>

## Capítulo 4: Alumbrado

• **Unidad de obra 19:** Iluminación general del almacén

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	4	h	19,23	76,92
Especialista en electricidad	4	h	18,36	73,44
Philips Lighting MPK460	8	ud	580	2320
Costes directos complementarios	2	%	2471,36	49,4272
			<b>Coste total</b>	<b>2520,7872</b>

• **Unidad de obra 20:** Iluminación general de la zona producción

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	6	h	19,23	115,38
Especialista en electricidad	6	h	18,36	110,16
Philips Lighting MPK460	12	ud	580	6960
Costes directos complementarios	2	%	7185,51	143,71
			<b>Coste total</b>	<b>7329,22</b>

• **Unidad de obra 21:** Iluminación general zona trituradoras

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	1	h	19,23	19,23
Especialista en electricidad	1	h	18,36	18,36
Philips Lighting MPK561	1	ud	470	470
Costes directos complementarios	2	%	507,59	10,1518
			<b>Coste total</b>	<b>517,7418</b>

• **Unidad de obra 22:** Iluminación general del taller

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
Oficial de 1ª electricidad	1	h	19,23	19,23
Especialista en electricidad	1	h	18,36	18,36
Philips Lighting MPK561	1	ud	470	470
Costes directos complementarios	2	%	507,59	10,1518
			<b>Coste total</b>	<b>517,7418</b>

• **Unidad de obra 23:** Iluminación general del grupo de frío

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	1	h	19,23	19,23
Especialista en electricidad	1	h	18,36	18,36
Philips Lighting MPK561	1	ud	470	470
Costes directos complementarios	2	%	507,59	10,1518
			<b>Coste total</b>	<b>517,7418</b>

• **Unidad de obra 24:** Iluminación general de la oficina 1

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
-------------	----------	----------	---------------	-------------

Oficial de 1ª electricidad	3	h	19,23	57,69
Especialista en electricidad	3	h	18,36	55,08
Philips Lighting RC125B	6	ud	96	576
Costes directos complementarios	2	%	688,77	13,7754
			<b>Coste total</b>	<b>702,5454</b>

• **Unidad de obra 25:** Iluminación general de la oficina 2

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	4,5	h	19,23	86,535
Especialista en electricidad	4,5	h	18,36	82m62
Philips Lighting RC125B	9	ud	96	864
Costes directos complementarios	2	%	1033,155	20,6631
			<b>Coste total</b>	<b>1053,8181</b>

• **Unidad de obra 26:** Iluminación general de la sala de reuniones

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	4	h	19,23	76,92
Especialista en electricidad	4	h	18,36	73,44
Philips Lighting RC125B	8	ud	96	768
Costes directos complementarios	2	%	918,36	18,3672
			<b>Coste total</b>	<b>936,7272</b>

• **Unidad de obra 27:** Iluminación general de los vestuario 1

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	3	h	19,23	57,69
Especialista en electricidad	3	h	18,36	55,08
Philips Lighting RS140B	2	ud	27	54
Philips Lighting DN130B D217	4	ud	59	236
Costes directos complementarios	2	%	402,77	8,0554
			<b>Coste total</b>	<b>410,8254</b>

• **Unidad de obra 28:** Iluminación general de los vestuario 2

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
Oficial de 1ª electricidad	3	h	19,23	57,69
Especialista en electricidad	3	h	18,36	55,08
Philips Lighting RS140B	2	ud	27	54
Philips Lighting DN130B D217	4	ud	59	236
Costes directos complementarios	2	%	402,77	8,0554
			<b>Coste total</b>	<b>410,8254</b>

• **Unidad de obra 29:** Iluminación general de los aseo 1

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	1,5	h	19,23	28,845

Especialista en electricidad	1,5	h	18,36	27,54
Philips Lighting RS140B	1	ud	27	27
Philips Lighting DN130B D217	2	ud	59	118
Costes directos complementarios	2	%	201,385	4,0277
			<b>Coste total</b>	<b>205,4127</b>

• **Unidad de obra 30:** Iluminación general de los aseo 2

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	1,5	h	19,23	28,845
Especialista en electricidad	1,5	h	18,36	27,54
Philips Lighting RS140B	1	ud	27	27
Philips Lighting DN130B D217	2	ud	59	118
Costes directos complementarios	2	%	201,385	4,0277
			<b>Coste total</b>	<b>205,4127</b>

• **Unidad de obra 31:** Iluminación general del pasillo

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	3	h	19,23	57,69
Especialista en electricidad	3	h	18,36	55,08
Philips Lighting TCS760	6	ud	96	576
Costes directos complementarios	2	%	688,77	13,7754
			<b>Coste total</b>	<b>702,5454</b>

• **Unidad de obra 32:** Iluminación general de la entrada

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	2	h	19,23	38,46
Especialista en electricidad	2	h	18,36	36,72
Philips Lighting TCS760	3	ud	96	384
Costes directos complementarios	2	%	459,18	9,1836
			<b>Coste total</b>	<b>468,3636</b>

• **Unidad de obra 33:** Iluminación general del comedor

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	4	h	19,23	76,92
Especialista en electricidad	4	h	18,36	73,44
Philips Lighting RC125B	8	ud	96	768
Costes directos complementarios	2	%	918,36	18,3672
			<b>Coste total</b>	<b>936,7272</b>

• **Unidad de obra 34:** Iluminación general del CT

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	1	h	19,23	19,23
Especialista en electricidad	1	h	18,36	18,36
Philips Lighting TBS260 3xTL5	2	ud	113	226
Costes directos complementarios	2	%	263,59	5,2718
			<b>Coste total</b>	<b>268,8618</b>

• **Unidad de obra 35:** Iluminación general del exterior

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	7,8	h	19,23	150
Especialista en electricidad	6,5	h	18,36	119,34
Peón ordinario construcción	3,5	h	17,88	62,58
Philips Lighting FFS764 3xPL-L55W	6	ud	1185	7110
Philips Lighting RVP151	6	ud	102	612
Costes directos complementarios	2	%	8053,92	161,0784
			<b>Coste total</b>	<b>8215</b>

• **Unidad de obra 36:** Iluminación de emergencia

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	37,75	h	19,23	725,9325
Lámpara ARCLUCE Q7833 KRIO LED	32	ud	125	4000
Philips Lighting TCS640 2xTL5-50W	6	ud	335	2010
Kit de conversión de iluminación de emergencia	3	ud	110,49	331,47
Costes directos complementarios	2	%	7067,40258	141,348
			<b>Coste total</b>	<b>7208,75</b>

**Capítulo 5:** Protección frente a sobrentensidades

• **Unidad de obra 37:** PIA bipolar (ud)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	1,2	h	19,23	23,02
S200 I <sub>n</sub> =1A curva B Pdc=16kA	3	ud	40,38	121,14
S200 I <sub>n</sub> =2A curva B Pdc=16kA	2	ud	40,38	80,76
S200 I <sub>n</sub> =4A curva B Pdc=16kA	1	ud	40,38	40,38
S200 I <sub>n</sub> =16A curva B Pdc=16kA	1	ud	68,05	68,05
S200 I <sub>n</sub> =20A curva B Pdc=16kA	3	ud	70,14	210,42
S200 I <sub>n</sub> =63A curva B Pdc=16kA	3	ud	187,27	561,81
S200 I <sub>n</sub> =10A curva Z Pdc=16kA	9	ud	84,55	760,95
S200 I <sub>n</sub> =3A curva C Pdc=16kA	2	ud	102,79	205,58
S200 I <sub>n</sub> =6A curva C Pdc=16kA	3	ud	70,01	210,03
S200 I <sub>n</sub> =16A curva C Pdc=16kA	9	ud	65,05	585,45
Costes directos complementarios	2	%	2867,69	57,3538
			<b>Coste total</b>	<b>2925,0438</b>

• **Unidad de obra 38:** IA en caja moldeada (ud)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	11	h	19,23	211,53

IA T7 $I_n=1600A$ curva C Pdc=50kA	1	ud	9361,93	9361,93
IA T7 $I_n=1250A$ curva C Pdc=50kA	1	ud	8457,52	8457,52
IA T5 $I_n=400A$ curva C Pdc=36kA	2	ud	3331,9	6663,8
IA T4 $I_n=320A$ curva C Pdc=36kA	2	ud	3091,58	6183,16
IA T4 $I_n=250A$ curva C Pdc=36kA	2	ud	2103,67	4207,34
IA T1 $I_n=160A$ curva C Pdc=16kA tetrapolar	2	ud	719,64	1439,28
IA T1 $I_n=160A$ curva C Pdc=16kA bipolar	2	ud	533,06	1066,12
IA T1 $I_n=80A$ curva C Pdc=16kA tetrapolar	1	ud	442,10	442,1
IA T1 $I_n=80A$ curva C Pdc=16kA bipolar	2	ud	327,47	654,94
Costes directos complementarios	2	%	38687,72	773,75
			<b>Coste total</b>	<b>39461,47</b>

### Capítulo 6: Protección frente a contactos indirectos

- **Unidad de obra 39:** Interruptor diferencial tetrapolar LG selectivo:

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	0,5	h	19,23	9,615
ID de $I_{\Delta N}=1000mA$ tetrapolar	1	ud	303,09	303,09
Costes directos complementarios	2	%	312,705	6,2541
			<b>Coste total</b>	<b>318,9591</b>

- **Unidad de obra 40:** Interruptores diferenciales tetrapolares y bipolares selectivos:

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
Oficial de 1ª electricidad	3	h	19,23	57,69
ID de $I_{\Delta N}=300mA$ bipolar	3	Ud	249,58	748,74
ID de $I_{\Delta N}=300mA$ tetrapolar	3	ud	276,27	828,81
Costes directos complementarios	2	%	1635,24	32,7048
			<b>Coste total</b>	<b>1667,9448</b>

- **Unidad de obra 41:** Interruptores diferenciales tetrapolares y bipolares:

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	2,5	h	19,23	48,075
ID de $I_{\Delta N}=100mA$ bipolar	5	ud	265,372	1326,86
Costes directos complementarios	2	%	1374,935	27,4987
			<b>Coste total</b>	<b>1402,434</b>

- **Unidad de obra 42:** Interruptores diferenciales tetrapolares y bipolares:

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	18	h	19,23	346,14
ID de $I_{\Delta N}=30\text{mA}$ bipolar	21	ud	205,87	4323,27
ID de $I_{\Delta N}=30\text{mA}$ tetrapolar	7	ud	255,27	1786,89
Costes directos complementarios	2	%	6456,3	129,126
			<b>Coste total</b>	<b>6585,426</b>

### Capítulo 7: Compensación de energía reactiva

- **Unidad de obra 43:** Compensación de condensadores

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	15	h	19,23	288,45
Especialista en electricidad	4,8	h	18,36	88,128
Condensador kV	4	ud	1198,02	4792,08
Costes directos complementarios	2	%	5168,658	103,37
			<b>Coste total</b>	<b>5272,023</b>

### Capítulo 8: Tomas de corriente

- **Unidad de obra 44:** Toma de corriente vacía base saliente

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe(€)
Oficial de 1ª electricidad	6,1	h	19,23	117,44
Toma de corriente simple 10/16A	8	ud	12,59	100,72
Toma de corriente doble 10/16A	11	ud	20,32	223,52
Costes directos complementarios	2	%	441,64	8,8328
			<b>Coste total</b>	<b>450,5158</b>

- **Unidad de obra 45:** Toma de corriente puesto de trabajo

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio (€/ud)	Importe (€)
Oficial de 1ª electricidad	1,6	h	19,23	30,768
Toma de corriente caja suelo 45x45	4	ud	29,87	119,48
Toma de corriente POP-UP	1	ud	85,48	85,48
Costes directos complementarios	2	%	235,728	4,71456
			<b>Coste total</b>	<b>240,44256</b>

### 3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Presupuesto CAPÍTULO 1: 210,94€

Presupuesto CAPÍTULO 2: 73077,03€

Presupuesto CAPÍTULO 3: 2691,01€

Presupuesto CAPÍTULO 4: 33129,05€

Presupuesto CAPÍTULO 5: 42386,54€

Presupuesto CAPÍTULO 6: 9974,76€

Presupuesto CAPÍTULO 7: 5272,02€

Presupuesto CAPÍTULO 8: 690,96€

**Presupuesto de ejecución material: 167432,31€**

### 4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Este presupuesto es el resultado de sumarle al presupuesto de ejecución por material (PEM) los gastos generales y el beneficio industrial, siendo el primero un 13% del PEM y el segundo un 6% del PEM.

PEM → 167432,31€

13% (sobre PEM) Gastos generales → 21766,2€

6% (sobre PEM) Beneficio industrial → 10045,94€

Presupuesto bruto → 199244,45€

IVA (21%) → 41841,33€

**Presupuesto de ejecución por contrata → 241085,79€**

## DOCUMENTO N°4: PLANOS

PLANO N°1: Ubicación (2 hojas).

- Planta de Situación (hoja 1 de 2).
- Plano Callejero (hoja 2 de 2).

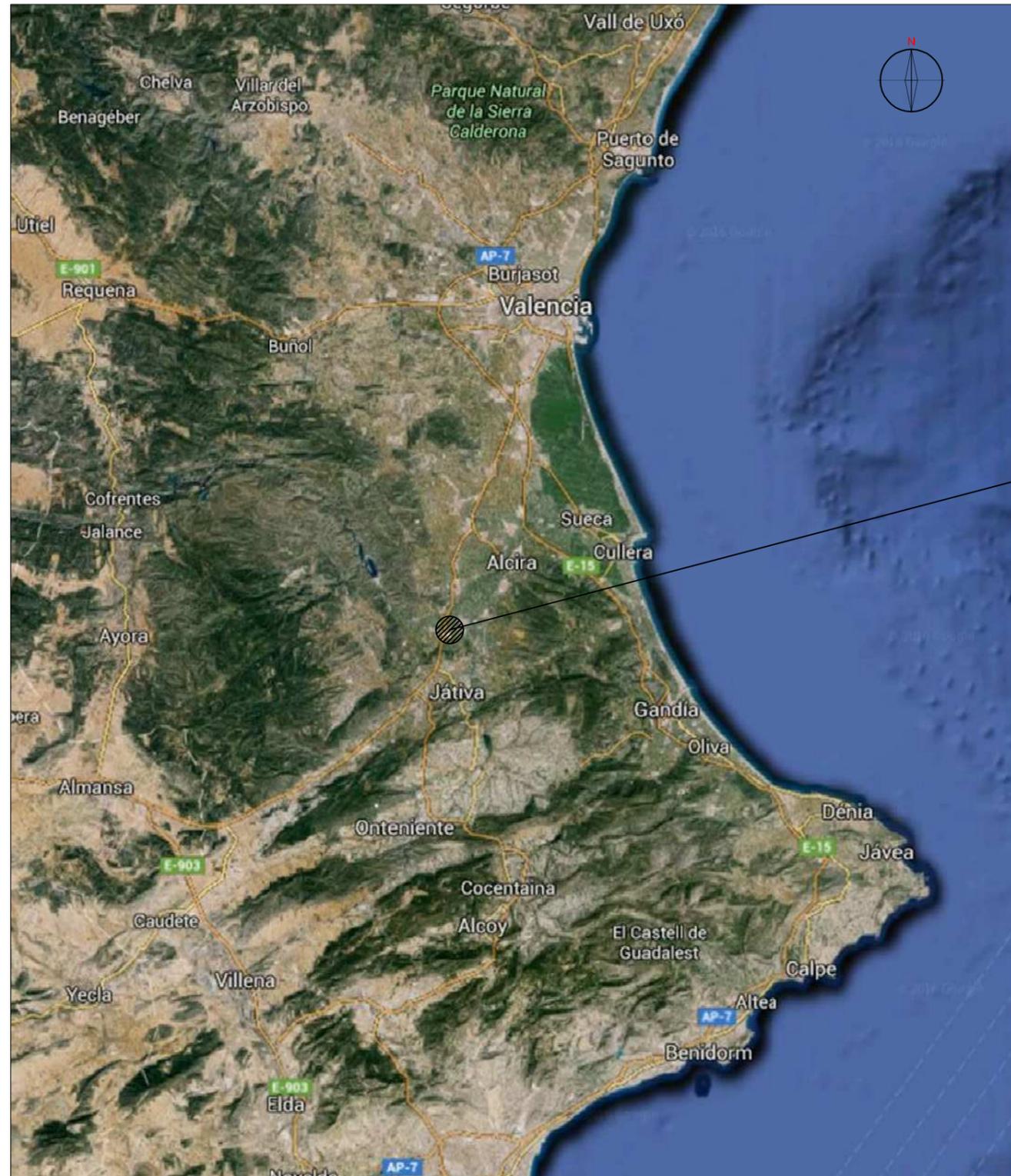
PLANO N°2: Distribución de líneas en planta. Planta 1.

PLANO N°3: Distribución de líneas en planta. Planta 2.

PLANO N°4: Diagrama unifilar completo.

PLANO N°5: Diagrama unifilar ampliado (3 hojas).

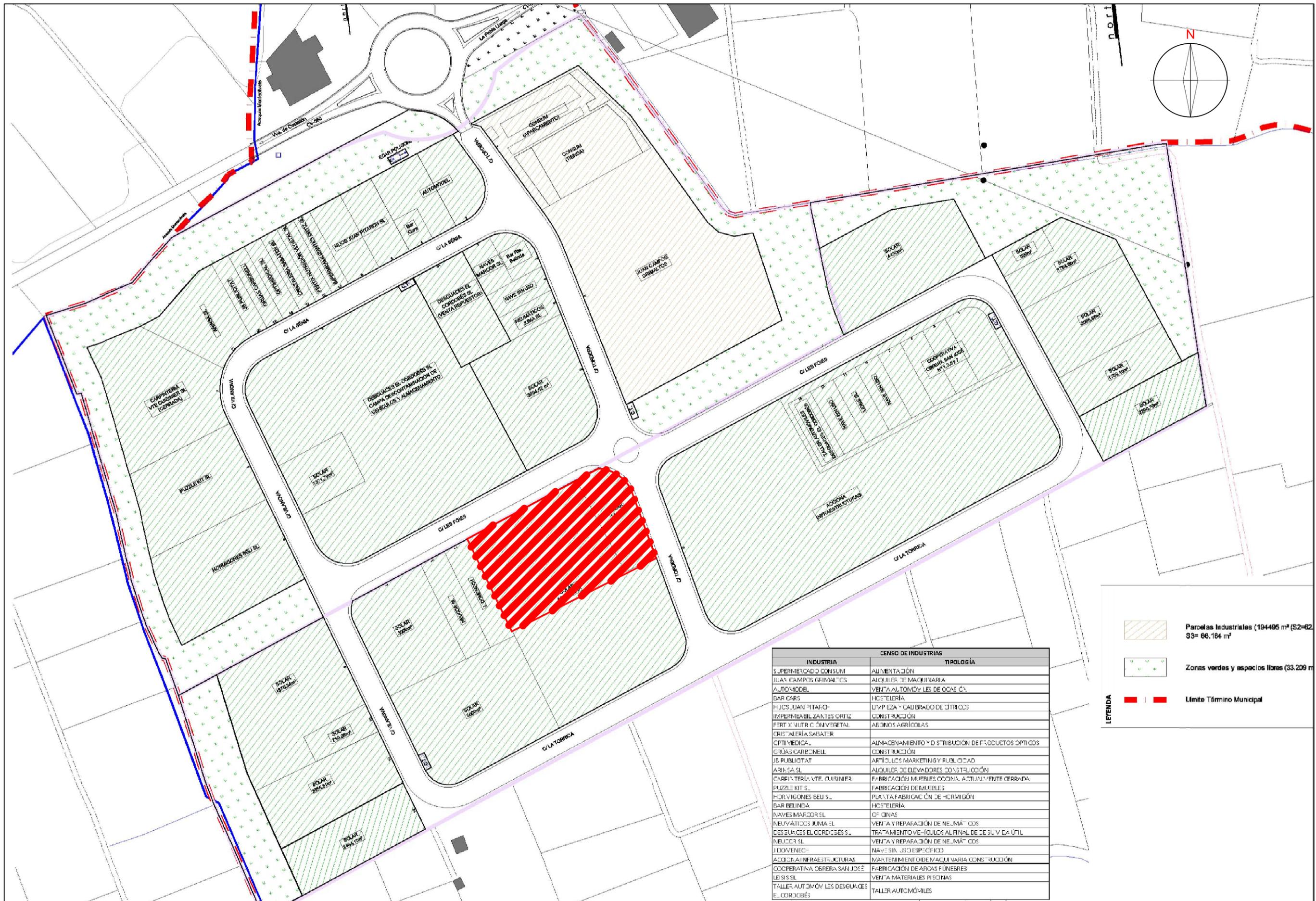
- Líneas 1 y 2 (hoja 1 de 3).
- Líneas 3 y 4 (hoja 2 de 3).
- Líneas 5 y 6 (hoja 3 de 3).



SITUACIÓN GEOGRÁFICA  
ESCALA 1:500



PLANTA SITUACIÓN  
ESCALA 1:5000

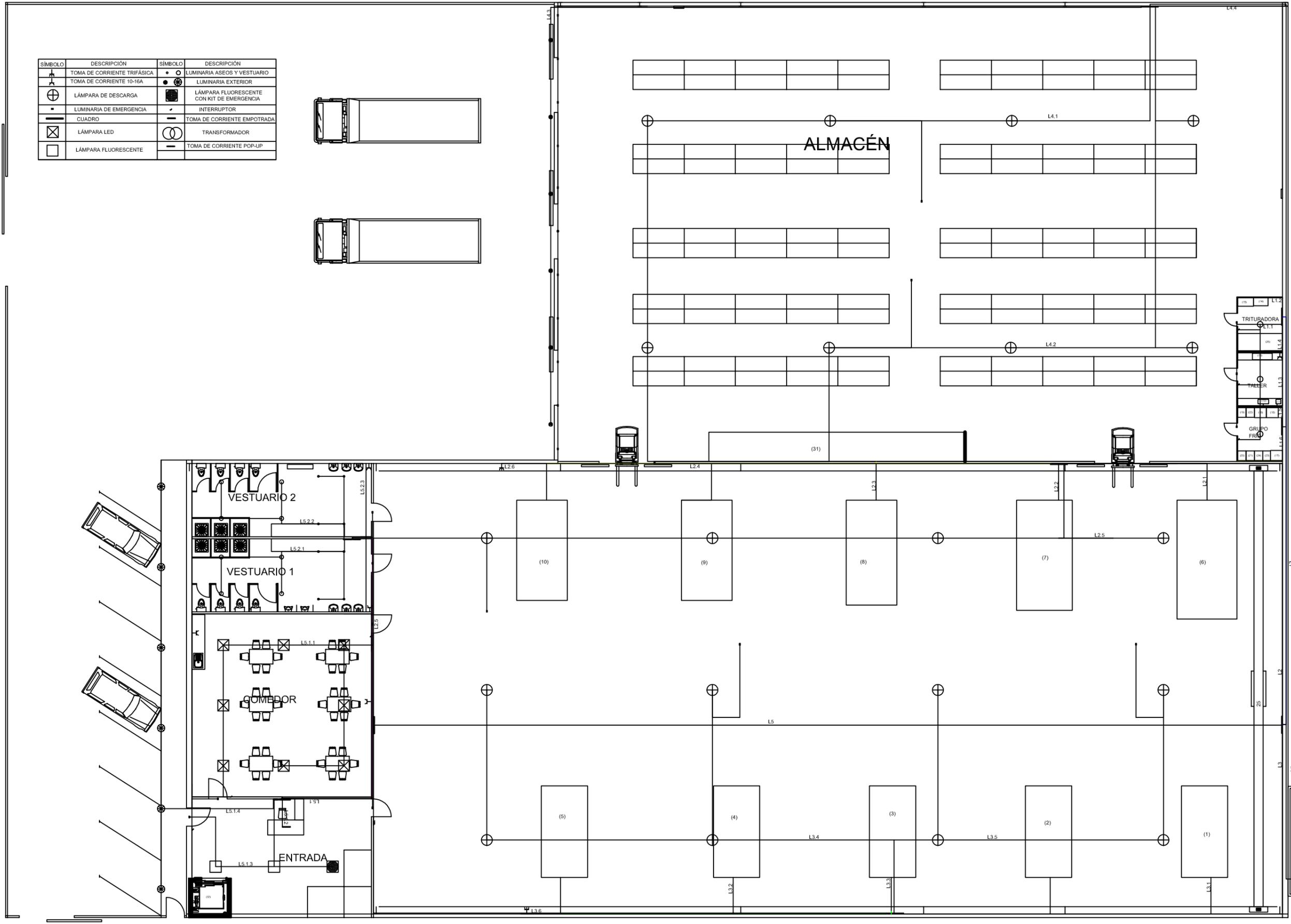


**LEYENDA**

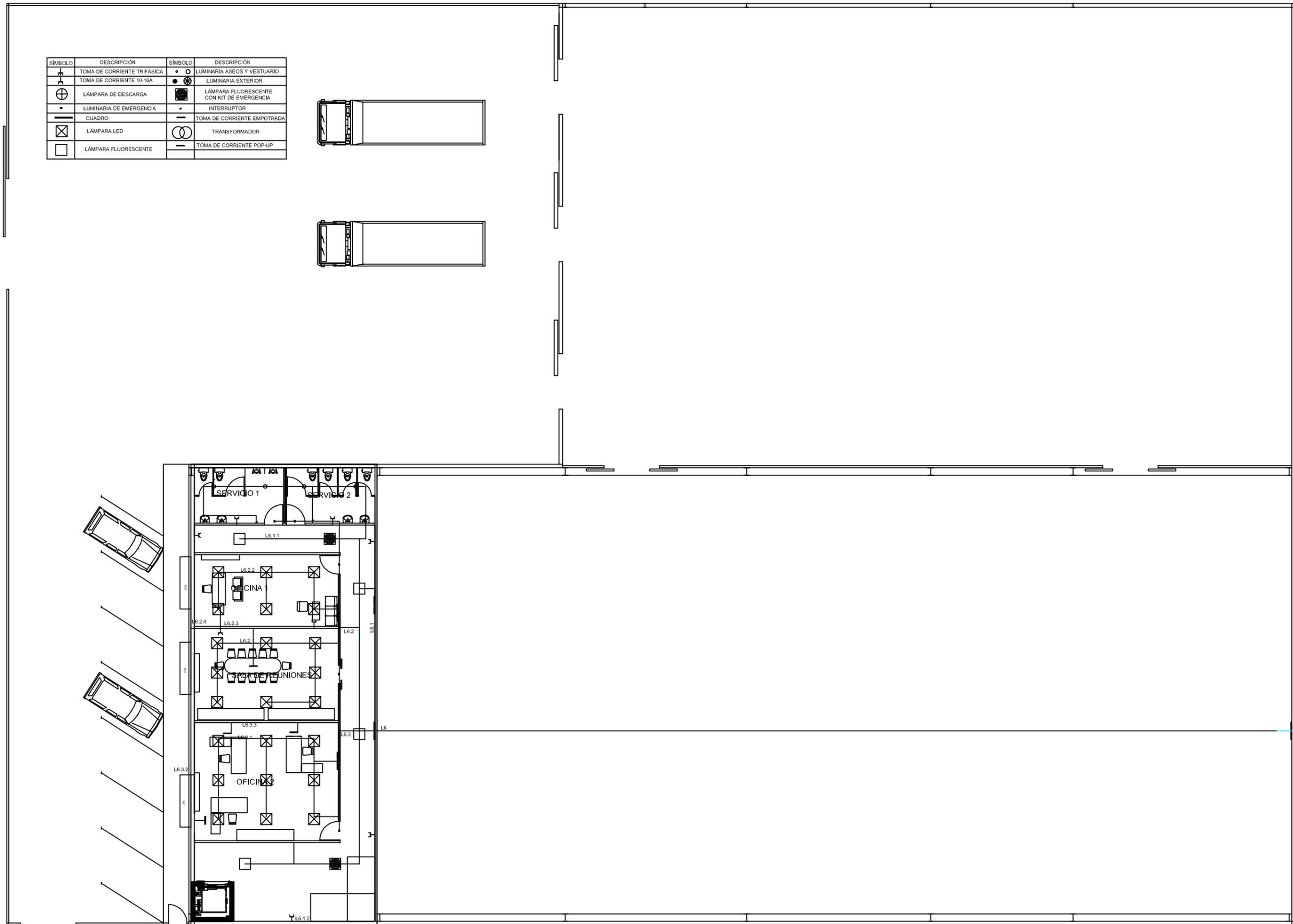
- Parcelas Industriales (194495 m² (S2=62, S3= 66.164 m²)
- Zonas verdes y espacios libres (33.209 m²)
- Límite Término Municipal

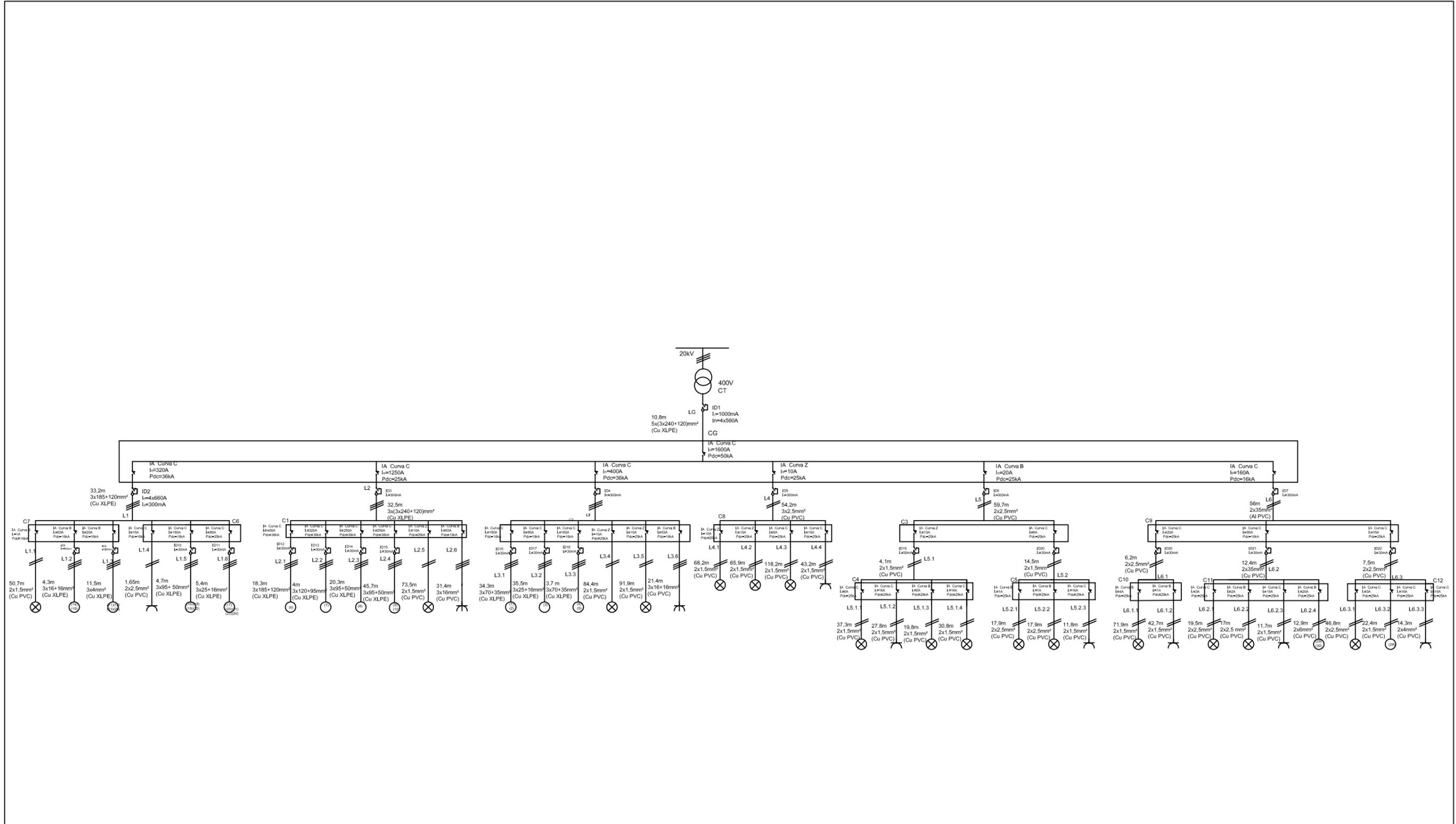
CENSO DE INDUSTRIAS	
INDUSTRIA	TIPOLOGÍA
SUPERMERCADO CONSUM	ALIMENTACIÓN
JUAN CAMPOS GRIMALTCS	ALQUILER DE MAQUINARIA
AUTOMOD	VENTA AUTOMÓVILES DE OCASIÓN
BAR CARS	HISTORIA
HUJCS JUAN PITARCS	UMPIEZA Y CAUBRADO DE CÍTRICOS
IMPERMEABILIZANTES ORTIZ	CONSTRUCCIÓN
FERT Y NUTR C O N V EGETAL	AGROINOS AGRICOLAS
CRISTERIA SABATER	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTOS OPTICOS
OPTI MEDICA	CONSTRUCCIÓN
GRUAS CARBONELL	CONSTRUCCIÓN
JE PUBLIOTAT	ARTÍCULOS MARKETING Y PUBLICIDAD
ARISA SL	ALQUILER DE ELEVADORES CONSTRUCCIÓN
CARPINTERIA VTE. CUISINIER	FABRICACIÓN MUEBLES OCASION. ACTUALMENTE CERRADA
PUZZLE KIT S.	FABRICACIÓN DE MUEBLES
HORVIGONES BEU S.	PLANTA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN
BAR BOLINDA	HISTORIA
NAVES MARCOR SL	OFICINAS
NEUMÁTICOS JUMA SL	VENTA Y REPARACIÓN DE NEUMÁTICOS
DESQUACES EL CORCOBÉS S.	TRATAMIENTO VEHÍCULOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL
NEUMOS SL	VENTA Y REPARACIÓN DE NEUMÁTICOS
JUDOVENECS	NAVES SIN USO ESPECÍFICO
ACCIONA INFRABESTRUCTURAS	MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN
COOPERATIVA OBRERA SAN JOSÉ	FABRICACIÓN DE ARCOS FUNERES
LEISS SL	VENTA MATERIALES PISOS
TALLER AUTOMÓVILES DESQUACES EL CORCOBÉS	TALLER AUTOMÓVILES

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA		LUMINARIA ASESOS Y VESTUARIO
	TOMA DE CORRIENTE 10-16A		LUMINARIA EXTERIOR
	LÁMPARA DE DESCARGA		LÁMPARA FLUORESCENTE CON MIT DE EMERGENCIA
	LUMINARIA DE EMERGENCIA		INTERRUPTOR
	CUADRO		TOMA DE CORRIENTE EMPOTRADA
	LÁMPARA LED		TRANSFORMADOR
	LÁMPARA FLUORESCENTE		TOMA DE CORRIENTE POP-UP

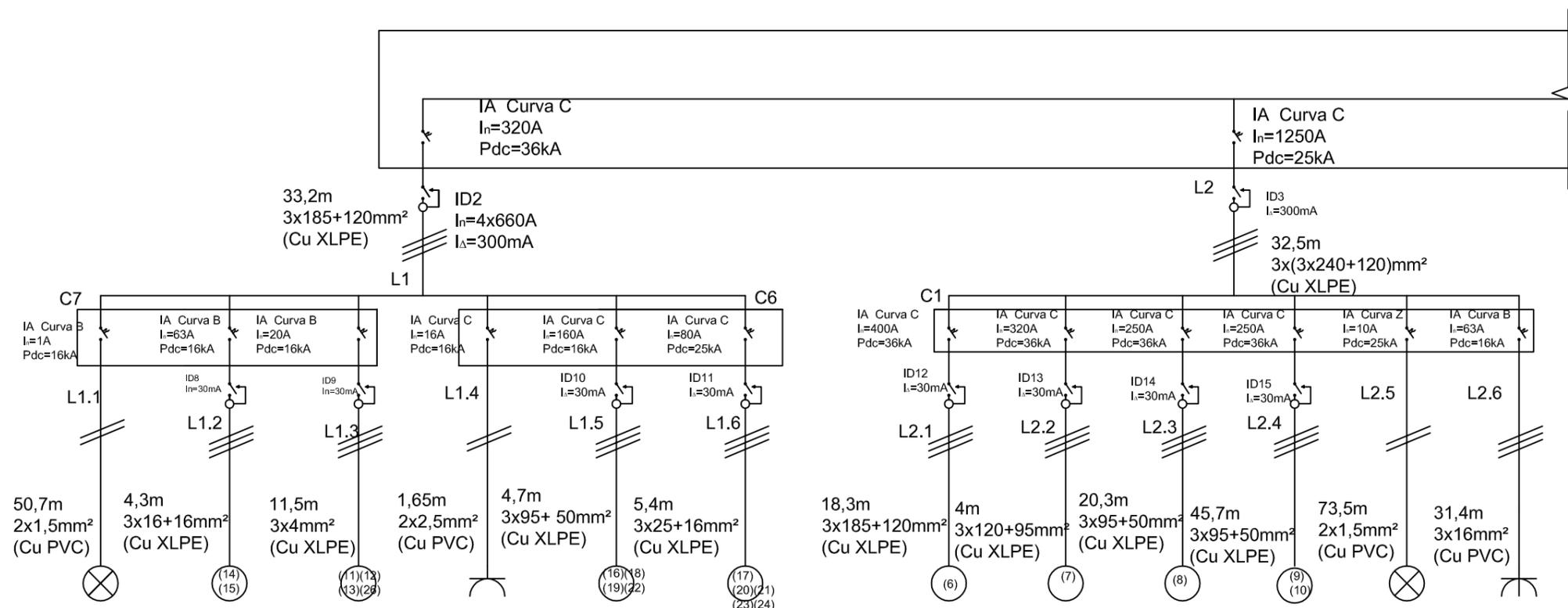


SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA		LUMINARIA ASEOS Y VESTUARIO
	TOMA DE CORRIENTE 10-16A		LUMINARIA EXTERIOR
	LÁMPARA DE DESCARGA		LÁMPARA FLUORESCENTE CON KIT DE EMERGENCIA
	LUMINARIA DE EMERGENCIA		INTERRUPTOR
	CUADRO		TOMA DE CORRIENTE EMPOTRADA
	LÁMPARA LED		TRANSFORMADOR
	LÁMPARA FLUORESCENTE		TOMA DE CORRIENTE POP-UP

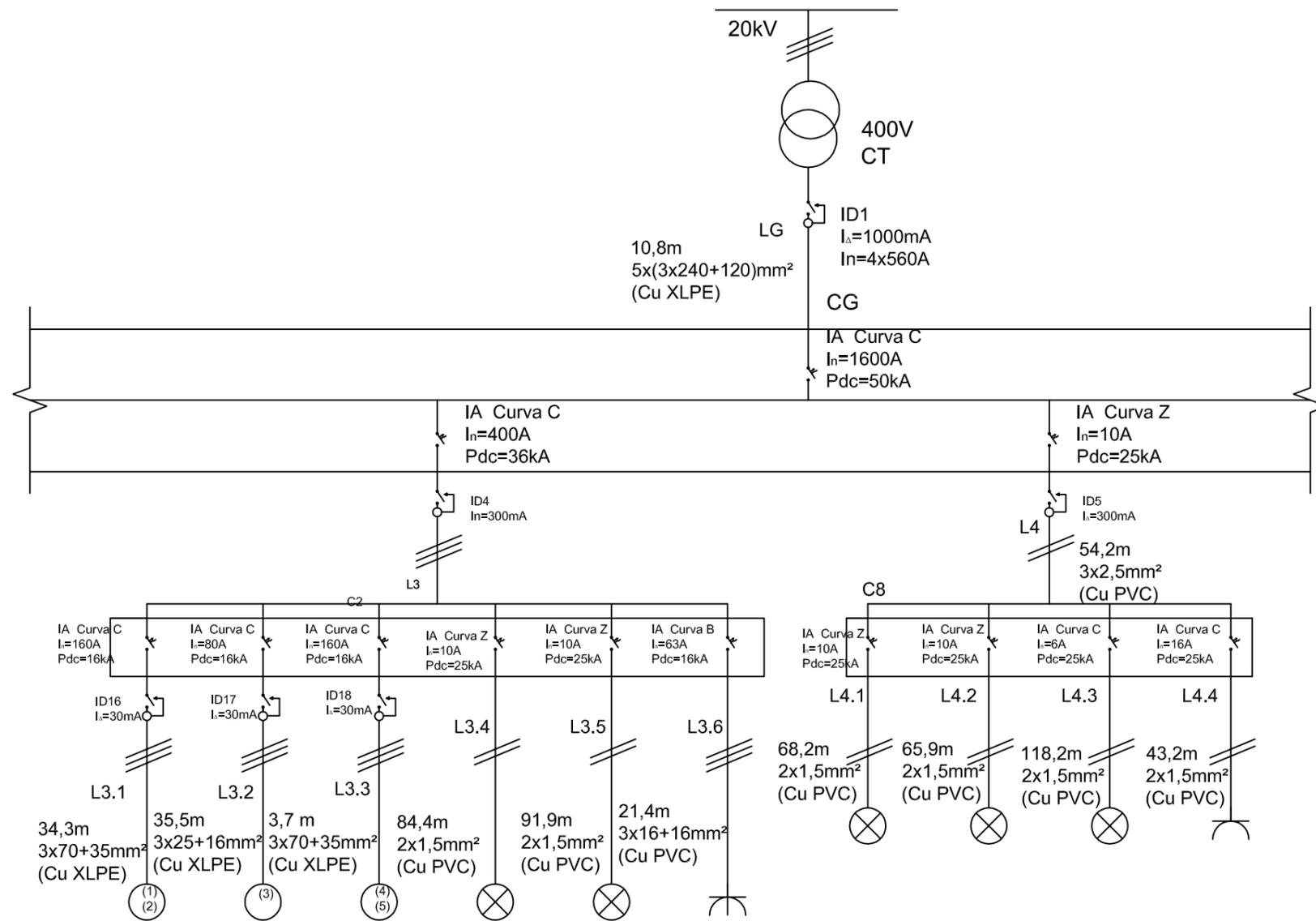




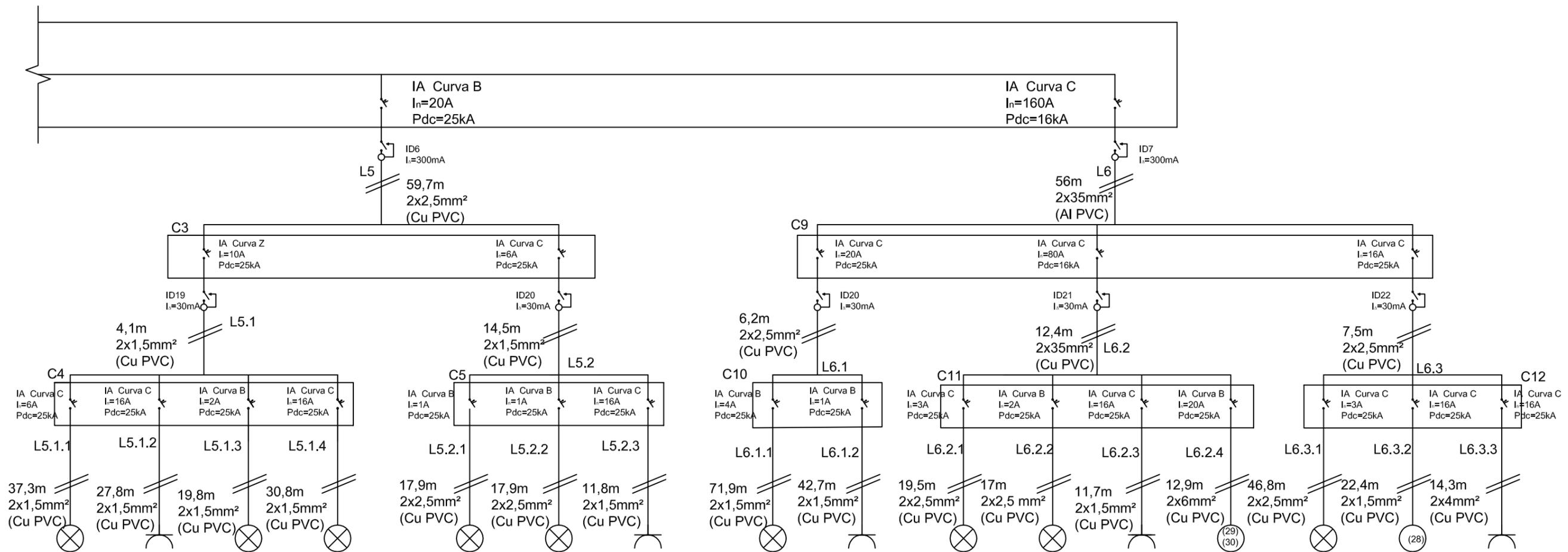
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA		LUMINARIA ASEOS Y VESTUARIO
	TOMA DE CORRIENTE 10-16A		LUMINARIA EXTERIOR
	LÁMPARA DE DESCARGA		LÁMPARA FLUORESCENTE CON KIT DE EMERGENCIA
	LUMINARIA DE EMERGENCIA		INTERRUPTOR
	CUADRO		TOMA DE CORRIENTE EMPOTRADA
	LÁMPARA LED		TRANSFORMADOR
	LÁMPARA FLUORESCENTE		TOMA DE CORRIENTE POP-UP



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA		LUMINARIA ASEOS Y VESTUARIO
	TOMA DE CORRIENTE 10-16A		LUMINARIA EXTERIOR
	LÁMPARA DE DESCARGA		LÁMPARA FLUORESCENTE CON KIT DE EMERGENCIA
	LUMINARIA DE EMERGENCIA		INTERRUPTOR
	CUADRO		TOMA DE CORRIENTE EMPOTRADA
	LÁMPARA LED		TRANSFORMADOR
	LÁMPARA FLUORESCENTE		TOMA DE CORRIENTE POP-UP



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA		LUMINARIA ASEOS Y VESTUARIO
	TOMA DE CORRIENTE 10-16A		LUMINARIA EXTERIOR
	LÁMPARA DE DESCARGA		LÁMPARA FLUORESCENTE CON KIT DE EMERGENCIA
	LUMINARIA DE EMERGENCIA		INTERRUPTOR
	CUADRO		TOMA DE CORRIENTE EMPOTRADA
	LÁMPARA LED		TRANSFORMADOR
	LÁMPARA FLUORESCENTE		TOMA DE CORRIENTE POP-UP



SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA		LUMINARIA ASEOS Y VESTUARIO
	TOMA DE CORRIENTE 10-16A		LUMINARIA EXTERIOR
	LÁMPARA DE DESCARGA		LÁMPARA FLUORESCENTE CON KIT DE EMERGENCIA
	LUMINARIA DE EMERGENCIA		INTERRUPTOR
	CUADRO		TOMA DE CORRIENTE EMPOTRADA
	LÁMPARA LED		TRANSFORMADOR
	LÁMPARA FLUORESCENTE		TOMA DE CORRIENTE POP-UP