



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150kW
para industria dedicada a la fabricación de helados situada
en Cheste.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Santana Ramos, Mario

Tutor/a: Sapena Bañó, Ángel

Cotutor/a: Terrón Santiago, Carla

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN

El proyecto tratará el dimensionamiento de las líneas de las máquinas que conforman en el proceso de la fabricación del helado a nivel industrial, así como la protección necesaria para estas y sus puestas a tierra. También se tendrá en cuenta las protecciones a los distintos niveles de potencia o procesos, del mismo modo que la protección para las personas de manera directa como indirecta.

Palabras Clave: Instalación eléctrica; Baja Tensión; Protecciones

RESUM

El projecte tractarà el dimensionament de les línies de les màquines que conformen en el procés de la fabricació del gelat a nivell industrial, així com la protecció necessària per a estes i les seues connexions a terra. També es tindrà en compte les proteccions als diferents nivells de potència o processos, de la mateixa manera que la protecció per a les persones de manera directa com a indirecta.

Paraules Clau: Instal·lació elèctrica; Baixa Tensió; Proteccions

ABSTRACT

The project will address the sizing of the machine lines that make up the ice cream manufacturing process at an industrial level, as well as the necessary protection for these and their grounding. Protections at different levels of power or processes will also be taken into account, in the same way as protection for people directly and indirectly.

Key words: Electrical installation; Low voltage; Protections

ÍNDICE

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA.....	7
1. MOTIVACIONES Y ANTECEDENTES.....	7
2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	7
3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	8
4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INDUSTRIAL.....	9
5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN.....	9
5.1. ALUMBRADO.....	10
5.1.1. DISEÑO DEL ALUMBRADO GENERAL.....	14
5.1.2. ALUMBRADO DE EMERGENCIA.....	24
5.2. COMPENSACIÓN ENERGÍA REACTIVA.....	32
5.3. INSTALACIÓN CUADROS SECUNDARIOS.....	36
5.4. CONDUCTORES.....	37
5.5. INSTALACIONES DE ENLACE.....	49
5.6. PROTECCIONES.....	50
5.6.1.SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN	50
5.6.2. INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	51
5.6.3. PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	58
5.6.4. PROTECCIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES.....	61
6. CONCLUSIÓN.....	70
7. REFERENCIAS	71
7.1. NORMATIVAS	71
7.2. BIBLIOGRAFÍA	72
7.3. CATALOGOS INDUSTRIALES	72
DOCUMENTO Nº2: CÁLCULOS	73
1.INSTALACION DE PUESTA A TIERRA	73
1.1. CALCULO ELEMENTOS PUESTA A TIERRA	73

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

1.2. CALCULO DE LOS PARAMETROS RELATIVOS A LA SEGURIDAD	75
1.3. CALCULO DE LOS PARAMETROS CARACTERISTICOS DE RT	77
2. PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS.....	77
3. DISEÑO DE LOS CONDUCTORES.....	80
3.1. CALCULO DE LAS LÍNEAS DE ALUMBRADO	80
3.2. CALCULO DE LAS SECCIONES.....	81
4. CÁLCULO DE SOBREINTENSIDADES.....	86
5. TOMAS DE CORRIENTE.....	94
DOCUMENTO Nº3: PRESUPUESTO.....	98
1. PRESUPUESTO GENERAL DE LA INSTALACIÓN.....	98
1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA	98
1.2. COMPOSICIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA	100
1.3. MEDICIONES	111
1.4. PRESUPUESTOS PARCIALES	111
1.5. TRABAJO DEL INGENIERO	113
1.6. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	113
1.7. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	114
DOCUMENTO Nº4: PLANOS.....	115

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

DOCUMENTACIÓN N. 01: MEMORIA DESCRIPTIVA

1. MOTIVACIONES Y ANTECEDENTES

El trabajo presentado, titulado "Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste.", forma parte de mi proyecto final académico. Este proyecto tiene como propósito demostrar la adquisición de los conocimientos y habilidades requeridos en el plan de estudios de mi carrera, el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.

Para este trabajo final de grado, he decidido desarrollar un proyecto en el ámbito del departamento de ingeniería eléctrica, bajo la dirección de Ángel Sapena Bañó y con la colaboración de Carla Terrón Santiago.

La motivación detrás de este proyecto radica en su amplio alcance temático, permitiéndome aplicar los conocimientos obtenidos a lo largo de mi grado. Esto contribuye al desarrollo de habilidades necesarias para el ejercicio futuro de la profesión de ingeniería industrial.

El diseño de una instalación eléctrica de esta naturaleza se considera un proyecto fundamental en ingeniería, que, a pesar de su carácter básico, no está exento de innovación y nuevos enfoques. La preocupación por la seguridad, la eficiencia energética y la estética en las instalaciones ha llevado a una evolución continua en el diseño eléctrico, incluyendo la introducción de nuevos materiales conductores, métodos de protección avanzados y la adopción de tecnología de iluminación LED, entre otros avances.

En este contexto, el objetivo de este proyecto es diseñar la instalación de manera eficiente y económica, considerando las últimas tendencias y tecnologías disponibles para cumplir con los estándares actuales.

2. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto es el diseño de todos los elementos que conforman la instalación eléctrica de baja tensión del edificio industrial, desde la salida del centro de transformación (inicio de la instalación eléctrica de baja tensión) hasta el diseño de todos los elementos necesarios para la puesta en marcha de cada uno de los locales presentes en el edificio.

Se dispone de un CT de 160kVA, con sus valores de resistencia y reactancia de cortocircuito, facilitados por la empresa, dueña de la nave industrial.

También, se harán los cálculos de la puesta a tierra, aunque estas ya existan por ser una nave industrial en funcionamiento.

Por tanto, estos son los puntos que se han desarrollado:

1. Instalaciones de enlace

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

2. Instalaciones interiores
3. Instalación del alumbrado
5. Protecciones
6. Compensación de la energía reactiva

3. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La nave industrial localizada en Ceste, Valencia está situada en un polígono industrial perteneciente a HELADOS ESTIU. SA, con dirección Ctra. Ceste-Chiva, 46380 Ceste, Valencia.

A continuación, se ofrece una imagen, que, en conjunto con el plano de emplazamiento incluido en los anexos, permitirá tener una mejor idea de dónde se encuentra situado el edificio industrial. Esta representación gráfica proporciona una visualización detallada de la posición precisa de la nave dentro de la zona de Ceste, Valencia.

La imagen destaca elementos como las vías de acceso, carreteras cercanas y puntos de referencia, ofreciendo posiblemente una vista desde arriba que muestra la disposición del terreno y la relación del edificio con el entorno urbano circundante.



FIGURA 1: VISTA EN PLANTA DEL POLÍGONO INDUSTRIAL. (FUENTE: GOOGLE MAPS)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO INDUSTRIAL

El edificio en cuestión es una planta industrial especializada en la producción de mochis, dentro de la industria de la fabricación de helados. Está configurado en un único nivel que se divide en dos áreas principales: una sección destinada al almacenamiento de materias primas y repuestos, y otra área dedicada al proceso de fabricación, así como a tareas administrativas y espacios para los empleados, tales como oficinas, áreas de descanso y aseos. En su totalidad, la superficie del edificio abarca 2029,04 metros cuadrados.

La distribución de la planta incluye varios espacios específicos:

- Oficina
- Aseos personales
- Área designada para el descanso de los trabajadores
- Almacén
- Espacio dedicado al proceso industrial
- Local donde se sitúa el centro de transformación interior

La altura general de la planta es de 7 metros, sin embargo, los espacios interiores están contruidos con un falso techo a una altura de 3 metros, con excepción del almacén y la zona destinada al proceso industrial. El transformador encargado de alimentar la instalación interior está ubicado dentro del edificio industrial, específicamente en un espacio designado exclusivamente para esta función.

5. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN

La alimentación del edificio se lleva a cabo mediante un transformador ubicado en el centro de transformación interno, que ocupa una superficie de 15 metros cuadrados. Este transformador tiene una relación de transformación de 20kV/400V y recibe energía de una red de alta tensión que se encuentra en el mismo parque industrial. Para desarrollar la instalación eléctrica de baja tensión, se han utilizado los detalles suministrados por los fabricantes sobre los diferentes dispositivos eléctricos y potencia.

MÁQUINA	POTENCIA DEMANDADA (w)
Formadora Mochis (1)	4733,73
Formadora Mochis (2)	4733,73
Formadora Mochis (3)	4733,73
Transportador	2699,39

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Túnel Congelación	25000
Cinta Transporte (1)	1401,27
Cinta Transporte (2)	1401,27
Cinta Transporte (3)	1401,27
Cinta Transporte (4)	1401,27
Cinta Transporte (5)	1401,27
Cinta Transporte (6)	1401,27
Envolvedora	7500
Estuchadora	15000
Formadora y cerradora Cajas	3000
Congelador (1)	4560
Congelador (2)	4560
Congelador (3)	4560
Congelador (4)	4560
Dispensador Bandeja	2375,30
Transportador Vibrante	8140,43
Impresora (1)	600
Impresora (2)	600
Impresora (3)	600
Control peso y de metales	3506,85

TABLA 1. RECEPTORES DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

5.1. ALUMBRADO

En este apartado se abordará la planificación de la iluminación en el edificio industrial. Se ha dividido en dos categorías: la iluminación general y la iluminación de emergencia, debido a que la nave ya tiene

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

alumbrado exterior. Se han considerado diversos criterios para el diseño de la iluminación, centrándose especialmente en la uniformidad, la prevención del deslumbramiento y la iluminación horizontal. En los cálculos justificativos se detalla el proceso de toma de decisiones. Estos son los principios fundamentales seguidos:

- La uniformidad es el cociente entre la iluminancia mínima y la media de un local. Como regla general se considera que una buena uniformidad en locales puede ser un valor cercano al 40% en el caso de alumbrado general.
- Se busca evitar un deslumbramiento excesivo que pueda generar incomodidad a las personas dentro del espacio.
- La iluminación horizontal: El nivel de iluminación necesario en un área está determinado por la actividad que se llevará a cabo en ese lugar, siguiendo los valores establecidos por la norma UNE EN 12464-1.

Se puede resumir los valores en una pequeña tabla general:

Iluminancia en servicio E (lux)	Tipo de actividad o tarea visual (ejemplos entre paréntesis)
20	Orientación, solo estancia temporal (pasillos).
50	Actividad ocasional, tareas bastas (secado de productos cerámicos)
100	Áreas de descanso, pasillos, almacenes sin actividad permanente
200	Tareas con poco detalle (mecanizado o montaje basto)
300	Tareas normales
500	Tareas normales con detalles medianos, lectura, escritura, etc. (oficinas, aulas)
750	Tareas visuales difíciles, detalles pequeños (oficina técnica, embalaje con piezas pequeñas)
1 000-1 500	Tareas visuales exigentes (inspección de colores, talleres de electrónica, joyería, relojería)
3 000-5 000	Tareas difíciles, con pequeños detalles y bajo contraste (tratamientos odontológicos)
≥10 000	Quirófanos (mesa de operación)

TABLA 2. VALORES DE ILUMINANCIA MEDIA DEPENDIENDO LA TAREA (FUENTE: LIBRO TE)

Y cogiendo las tablas de la norma UNE EN 12464-1 para nuestro caso:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

TABLA DE OFICINAS

1. OFICINAS						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR_L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
1.1	ARCHIVO, COPIAS, ETC.	300	19	0,4	80	
1.2	ESCRITURA, ESCRITURA A MÁQUINA, LECTURA Y TRATAMIENTO DE DATOS	500	19	0,6	80	- Trabajo con EPV (equipo con pantalla de visualización)
1.3	DIBUJO TÉCNICO	750	16	0,7	80	
1.4	PUESTOS DE TRABAJO DE CAD	500	19	0,6	80	- Trabajo con EPV
1.5	SALAS DE CONFERENCIAS Y REUNIONES	500	19	0,6	80	- La iluminación debería ser controlable.
1.6	MOSTRADOR DE RECEPCIÓN	300	22	0,6	80	
1.7	ARCHIVOS	200	25	0,4	80	

TABLA 3. VALORES DE ILUMINANCIA MEDIA Y UNIFORMIDAD PARA OFICINA (FUENTE: NORMA UNE EN 12464-1)

Tal que los valores para la oficina son: $E_m=500$ lux, uniformidad= 0,6.

7. PRODUCTOS ALIMENTICIOS E INDUSTRIA DE ALIMENTOS DE LUJO						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR_L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
7.1	ZONAS DE TRABAJO EN GENERAL	200	25	0,4	80	
7.2	CLASIFICACIÓN Y LAVADO DE PRODUCTOS (MOLIENDA, MEZCLADO Y ENVASADO)	300	25	0,6	80	
7.3	ZONAS DE TRABAJO CRÍTICAS (MATADEROS, MOLINOS, CARNICERÍA, FILTRADO, ETC.)	500	25	0,6	80	
7.4	CORTE Y CLASIFICACIÓN DE FRUTAS Y VEGETALES	300	25	0,6	80	
7.5	FABRICACIÓN DE ALIMENTOS DE DELICATESSEN, PUROS Y CIGARRILLOS Y TRABAJO EN COCINAS	500	22	0,6	80	
7.6	INSPECCIÓN DE VIDRIOS Y BOTELLAS, CONTROL DE PRODUCTOS, CLASIFICACIÓN Y DECORACIÓN	500	22	0,6	80	
7.7	LABORATORIOS	500	19	0,6	80	
7.8	INSPECCIÓN DE COLORES PRODUCTOS (ENVASADO, MOLIENDA)	1.000	16	0,7	90	- 4000 K \leq TCP \leq 6500K.

TABLA 4. VALORES DE ILUMINANCIA MEDIA Y UNIFORMIDAD PARA LA ZONA DE TRABAJO (FUENTE: NORMA UNE EN 12464-1)

En nuestro caso para la línea de producción cogemos los valores de 7.2 y 7.4, que son lo que más se ajusta a nuestro proceso: $E_m=300$ lux, uniformidad= 0,6.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

TABLA DE ZONA DE TRÁFICO Y ÁREAS COMUNES DE EDIFICIOS

1. ZONAS DE TRÁFICO						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR _L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
1.1	ÁREAS DE CIRCULACIÓN Y PASILLOS	100	28	0,4	40	<ul style="list-style-type: none"> · Iluminancia al nivel del suelo. · 150 LUX si hay vehículos en el recorrido. · R_a y UGR similares a áreas adyacentes. · El alumbrado de salidas y entradas debe proporcionar una zona de transición para evitar cambios repentinos en iluminancia entre interior y exterior de día o de noche. · Debería tenerse cuidado para evitar el deslumbramiento de conductor y peatones.
1.2	ESCALERAS, ESCALERAS MECÁNICAS, CINTAS TRANSPORTADORAS	100	25	0,4	40	· Requiere contraste mejorado sobre los escalones.
1.3	ASCENSORES, MONTACARGAS	100	25	0,4	40	· El nivel de iluminación enfrente del montacargas debería ser al menos $E_m = 200$ lx
1.4	RAMPAS / TRAMOS DE CARGA	150	25	0,4	40	
2. SALAS DE DESCANSO, SANITARIAS Y DE PRIMEROS AUXILIOS						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR _L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
2.1	CANTINAS, DESPENSAS	200	22	0,4	80	
2.2	SALAS DE DESCANSO	100	22	0,4	80	
2.3	SALAS DE EJERCICIO FÍSICO	300	22	0,4	80	
2.4	VESTUARIOS, SALAS DE LAVADO, SERVICIOS	200	25	0,4	80	En cada baño individual si está completamente cerrado
2.5	ENFERMERÍA	500	19	0,6	80	
2.6	SALAS PARA ATENCIÓN MÉDICA	500	16	0,6	90	· 4000 K \leq TCP \leq 5000K.
3. SALAS DE CONTROL						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR _L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
3.1	SALAS DE MATERIAL, SALAS DE MÁQUINAS	200	25	0,4	60	
3.2	SALA DE FAX, CORREOS, CUADRO DE CONTADORES	500	19	0,6	80	
4. SALAS DE ALMACENAMIENTO, ALMACENES FRÍOS						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR _L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
4.1	ALMACENES Y CUARTO DE ALMACÉN	100	25	0,4	60	· 200 LUX si está ocupado en continua
4.2	MANIPULACIÓN DE PAQUETES Y EXPEDICIÓN	300	25	0,6	60	
5. ÁREAS DE ALMACENAMIENTO CON ESTANTERÍAS						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E_m lux	UGR _L	U_o	R_a	OBSERVACIONES
5.1	PASILLOS SIN GUARNECER	20	-	0,4	40	· Iluminación a nivel del suelo.
5.2	PASILLOS GUARNECIDOS Y ESTACIONES DE CONTROL	150	22	0,4	60	· Iluminación a nivel del suelo.
5.3	ESTACIONES DE CONTROL	150	22	0,6	80	
5.4	CARA DE LA ESTANTERÍA DE ALMACENAMIENTO	200	-	0,4	60	· Iluminación vertical, puede utilizarse iluminación móvil.

TABLA 5. VALORES DE ILUMINANCIA MEDIA Y UNIFORMIDAD PARA LA ZONA DE ALREDEDORES, ALMACÉN, CONGELADORES, ASEOS Y ZONA DE DESCANSO. (FUENTE: NORMA UNE EN 12464-1)

Así, los valores quedan:

Alrededores: $E_m=100$ lux, uniformidad= 0,4.

Almacén: $E_m=100$ lux, uniformidad= 0,4.

Congeladores: $E_m=100$ lux, uniformidad= 0,4.

Aseos: $E_m=200$ lux, uniformidad= 0,4 tanto lavabo como los cuatro aseos.

Zona de descanso: $E_m=100$ lux, uniformidad= 0,4.

- Curva de distribución luminosa: se discutirá la relevancia que tienen las curvas de distribución de luz al momento de escoger el sistema de iluminación. Estas representaciones, presentadas en un formato

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

de coordenadas polares, muestran cómo la luz es emitida en diferentes direcciones y cuánta luz se distribuye en cada una de ellas desde una fuente lumínica específica. (en casi todos los locales, se ha optado por un spot ancho, debido a la necesidad de uniformidad, lo cual, este permite con facilidad).

5.1.1. DISEÑO DEL ALUMBRADO GENERAL

ILUMINANCIA HORIZONTAL DE UN LOCAL

La iluminancia promedio dentro del espacio se ha determinado mediante el software DIALUX y se calcula con la fórmula:

$$E_m = \frac{\eta \cdot u_h \cdot n \cdot \phi_{TOT}}{A} \quad (1)$$

Aquí, E_m representa la iluminancia promedio en lux en el área, n es la cantidad de luminarias, ϕ_{TOT} es el flujo total de luz emitido por todas las lámparas, A es el tamaño del área de trabajo en metros cuadrados, η es la eficiencia de la luminaria y u_h es el factor de utilización, la relación entre la iluminancia promedio en el área de trabajo y la cantidad de flujo de luz emitido por la luminaria por metro cuadrado. Estos valores son proporcionados por el fabricante de las luminarias o se derivan de la geometría específica del espacio.

Es importante mencionar el factor de mantenimiento, el cual depende de la instalación en sí. Se ha elegido un valor de 0,8 para todos los locales, zona de trabajo, alrededores, ya que no es una industria propensa a generar mucha suciedad.

DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS

El punto inicial es determinar cuánta iluminación se necesita en cada área específica, considerando la altura a la que se realiza una tarea dentro de ese lugar y el tipo de trabajo que se lleva a cabo. En la siguiente tabla se recogen estos valores:

LOCAL	ALTURA DE PLANO ÚTIL (m)	ILUMINANCIA (lux)
OFICINA	0,8	500
LAVABOS	0,8	200
ZONA DE DESCANSO	0,8	100
CT	0,8	200
ALMACÉN	0,8	100
CONGELADORES	0,8	100

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

ZONA DE TRABAJO	0,8	300
ALREDEDORES	0	100

TABLA 6. PLANOS ÚTILES E ILUMINANCIAS MEDIAS PARA LOS DISTINTOS LOCALES

Una vez establecido el nivel de iluminación deseado para cada área, se procede a buscar la luminaria más adecuada que cumpla con esas especificaciones particulares. Este proceso no es instantáneo; implica probar diferentes tipos de luminarias y ajustar sus configuraciones en función de los resultados obtenidos. Estos ajustes pueden implicar la selección de un modelo de luminaria completamente diferente o bien, dentro del mismo modelo, optar por una luminaria con una capacidad lumínica o distribución de luz diferente. Además, se puede considerar variar la altura a la que se ubica la luminaria, dado que la cantidad de luz varía inversamente con la altura de instalación de la luminaria.

Una vez seleccionada la luminaria, el software DIALUX se encarga de distribuir la luz y determinar la cantidad necesaria de luminarias. Sin embargo, este es el punto más desafiante del proceso, ya que es común que una luminaria logre la cantidad de luz requerida en un área, pero no alcance una distribución uniforme de la misma. Para mejorar la uniformidad sin cambiar el modelo, se podría instalar un mayor número de luminarias, pero esto puede resultar en una iluminación excesiva en ciertas zonas. Por lo tanto, la luminaria óptima debe lograr el nivel de iluminación deseado y una distribución uniforme con el menor número posible de luminarias, buscando así maximizar la eficiencia económica del sistema lumínico.

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Primero, es fundamental definir el patrón de luz que se busca en una luminaria, ya que existen varios tipos que se ajustan de diferentes maneras a las necesidades específicas de la aplicación y las dimensiones del espacio. En el contexto más común de iluminación interior ubicada en el techo, se identifican distintos patrones de distribución de luz que generalmente se encuentran en diversas luminarias (aunque estos patrones pueden variar dependiendo del diseño específico de la luminaria, tienden a ofrecer distribuciones de luz similares).

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

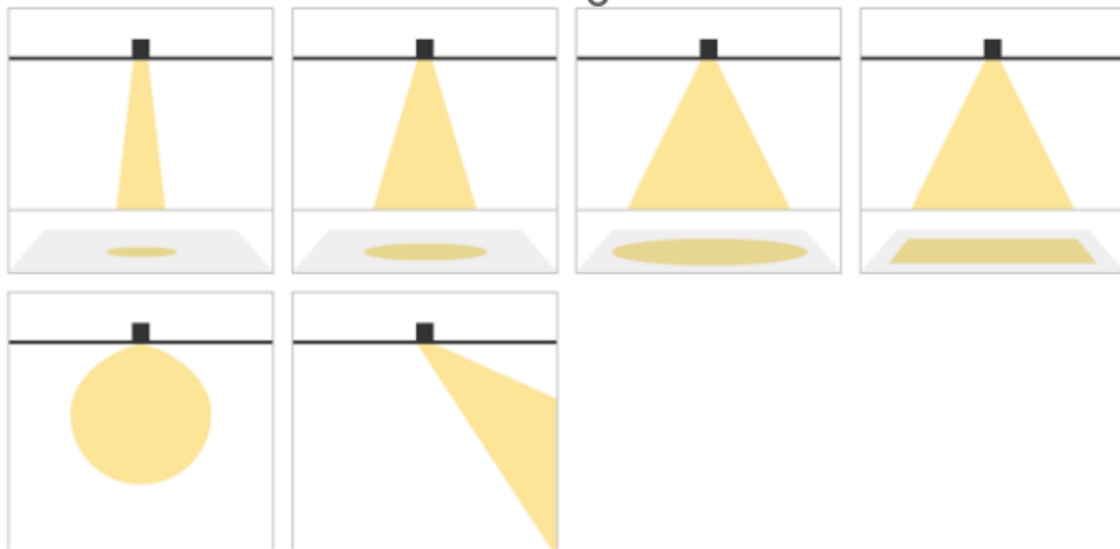


FIGURA 2. DISTINTOS SPOTS DE LUZ (FUENTE: DIALUX)

Siendo de izquierda a derecha y de arriba a abajo: Spot angosto, spot medio, spot ancho, rectangular ancho, difundido y asimétrico.

Además, la elección de la fuente de luz que se utilizará dependerá de una serie de factores, incluyendo el precio, la calidad del rendimiento del color, la eficiencia lumínica, entre otros.

En primer lugar, se evaluará cuál sería la mejor opción de iluminación para los espacios interiores de oficinas y áreas comunes destinadas a los trabajadores, tales como áreas de descanso o salas de reuniones. Se considerarán alternativas de iluminación como las lámparas de descarga (como las de mercurio o sodio a alta y baja presión), las lámparas fluorescentes y las lámparas LED.

Las lámparas de descarga, aunque tienen una vida útil larga y una eficiencia energética aceptable, presentan un rendimiento cromático insuficiente (alrededor de 40), mientras que para estos espacios interiores se recomienda un índice Ra entre 60 y 80, según las tablas anteriores, de la norma UNE EN 12464-1.

Por lo tanto, la elección se reduce entre las luminarias fluorescentes y las lámparas LED. Las fluorescentes tienen una alta reproducción cromática, superando el índice Ra de 80, lo cual las hace adecuadas para tareas que requieren precisión lumínica, como las labores de oficina. Además, ofrecen eficiencias lumínicas entre 60 y 90 lúmenes por vatio, con una vida útil larga de alrededor de 10,000 horas.

En contraste, las lámparas LED, seleccionadas finalmente para estos espacios, emiten una luz monocromática blanca con un índice Ra superior a 80, lo que resulta adecuado en términos de reproducción cromática. La principal ventaja de las LED sobre las fluorescentes es su vida útil mucho más extensa (superior a 30,000 horas), lo que genera un ahorro económico mayor en mantenimiento y una gestión más sencilla de este aspecto. Las LED consumen menos potencia que las fluorescentes,

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

aproximadamente la mitad de los vatios para una misma aplicación. Además, mantienen una luminosidad constante a lo largo de su vida útil, mientras que las lámparas fluorescentes pueden disminuir su capacidad de iluminación al final de su vida útil.

Una desventaja de las LED es su mayor costo inicial en comparación con las fluorescentes. No obstante, a lo largo de su vida útil, este mayor costo inicial se amortiza gracias al ahorro económico que ofrecen durante este período.

En cuanto a los espacios de almacén, congeladores y áreas de proceso productivo, donde se necesita menos precisión cromática (se requiere un Ra entre 40 y 60), se optó por las lámparas LED. Aunque el índice de reproducción cromática es menor, se priorizó la LED debido a su eficiencia energética, su longevidad y su capacidad para proporcionar una iluminación adecuada a pesar de la altura del techo, utilizando luminarias colgantes para aumentar la iluminación en el plano de trabajo.

DISEÑO PREVIO DEL ALUMBRADO

En esta sección se detalla el diseño específico de la iluminación en diferentes áreas, destacando los puntos clave considerados en cada caso particular, y omitiendo explicaciones repetitivas para áreas similares.

- Oficina: se implementarán luminarias LED empotradas en el techo. Para lograr una iluminación uniforme en toda el área de trabajo, se ha optado por un tipo de distribución de luz denominada "spot ancho", que proporciona una curva de distribución lumínica amplia. Esto asegurará niveles uniformes de iluminación en todo el plano de trabajo, especialmente en las mesas de trabajo.
- Zona de aseos: para mantener una estética agradable, se utilizarán luminarias empotradas en el techo. En este caso, la iluminación se planificará de forma manual y no se utilizarán las distribuciones estándar proporcionadas por DIALUX, ya que estas no se ajustan completamente a las necesidades específicas de esta área. Se priorizará una iluminación especial en la región donde se encuentran los lavabos y los inodoros para mejorar la visibilidad y comodidad.
- Zona CT: dada la naturaleza potencialmente peligrosa de los elementos presentes en este espacio, se requerirá una uniformidad lumínica muy alta, superior a la establecida por las normativas estándar. Esto asegurará condiciones óptimas de iluminación para garantizar la seguridad en este entorno.

DISEÑO DEFINITIVO DEL ALUMBRADO

En este apartado, en función de los objetivos planteados en el diseño previo, se buscan los modelos de los fabricantes que más se ajustan en cada caso.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Para el caso de la oficina, se ha usado para el diseño inicial cinco luminarias “L 650 42W/840 DALI EP VSS 596x596”, empotradas en el techo. Se trata de luminarias de 48w y con una CDL relativamente ancha. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

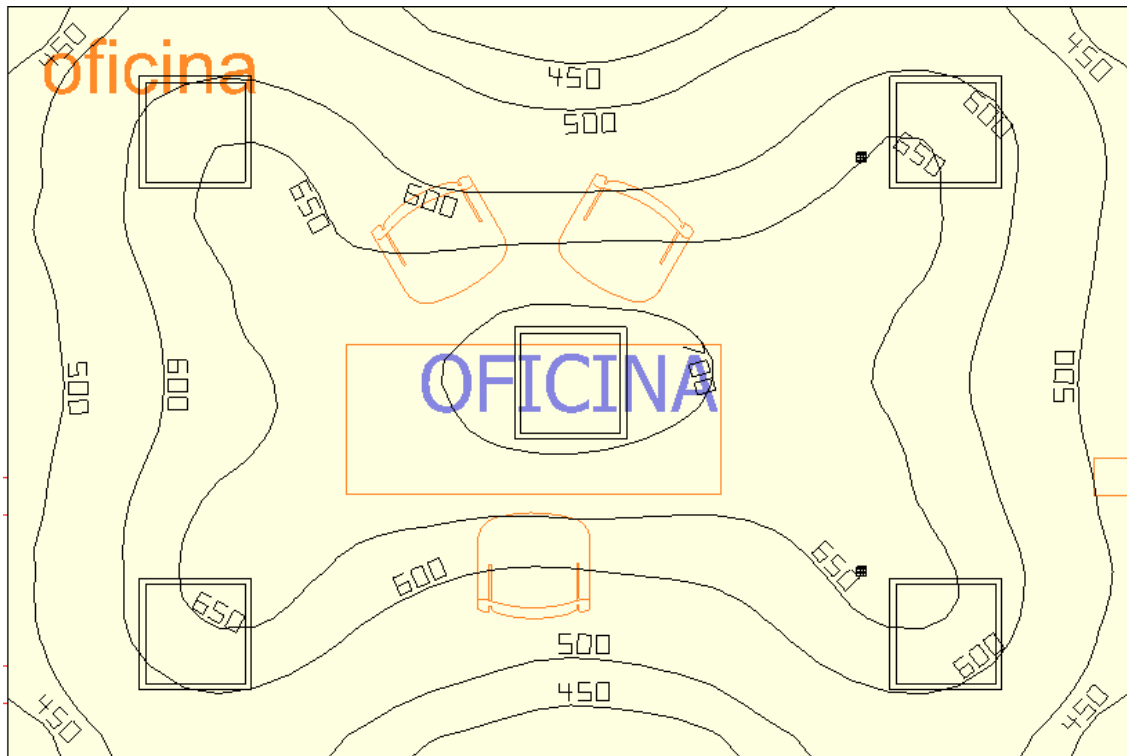


FIGURA 3: Curvas lumínicas de la oficina con las luminarias “L 650 42W/840 DALI EP VSS 596x596”
(FUENTE: DIALUX)

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media en el plano de trabajo del local de 588 lux, (con un valor máximo de 726lux) muy cercano a los 500 lux que se habían planteado como objetivo. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico. Además, la uniformidad es de 0,69 cuando la mínima son 0,6. Por tanto, es válida esta distribución.

En el caso del aseo, se han utilizado veintisiete luminarias “Cooper Lighting LERS4B/LESQS4B LED 4” Shallow Round and Square Cylinders LE_4B10D010 EC4B10209727 4LBS1B”. Se trata de luminarias de 9,9 w y con una CDL relativamente ancha. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

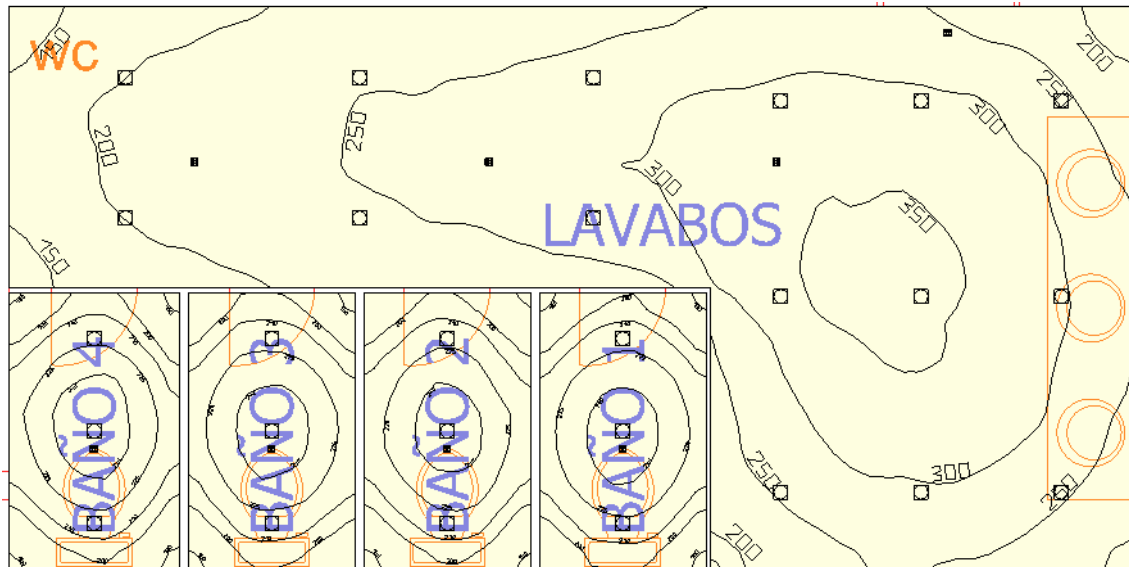


FIGURA 4: Curvas lumínicas del aseo con las luminarias “Cooper Lighting LERS4B/LESQS4B LED 4” Shallow Round and Square Cylinders LE_4B10D010 EC4B10209727 4LBS1B” (FUENTE: DIALUX)

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media en el lavamanos y pasillos de 266 lux, muy cercano a los 200 lux que se habían planteado como objetivo. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico. Además, la uniformidad es de 0,5 cuando la mínima son 0,4. Por tanto, es válida esta distribución.

Luego en cada aseo se tiene una iluminancia media de 217lux, de los 200 lux esperados. Con una uniformidad de 0,82 sobre los 0,4.

En el comedor, se han utilizado quince luminarias “RZB LUCIO 2 672528.003”. Se trata de luminarias de 8,4w y con una CDL relativamente ancha y corta. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

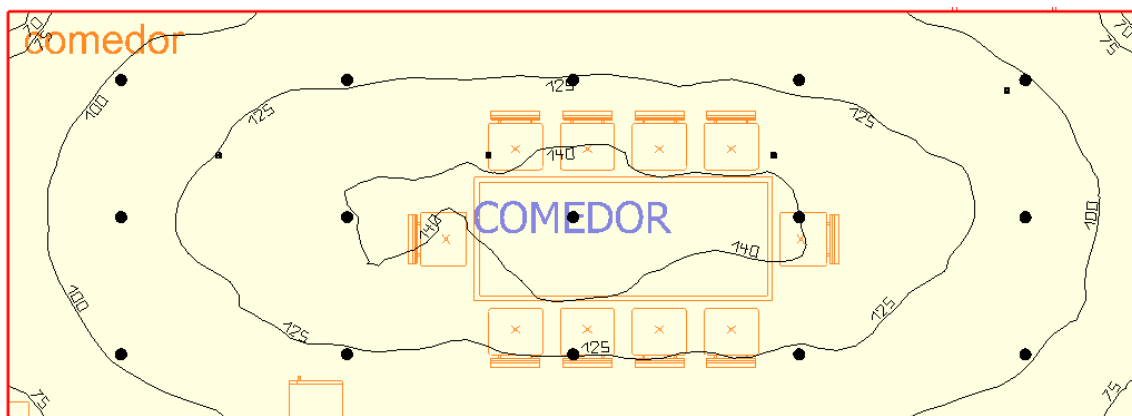


FIGURA 5: Curvas lumínicas del comedor con las luminarias “RZB LUCIO 2 672528.003” (FUENTE: DIALUX)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media 118 lux, muy cercano a los 100 lux que se habían planteado como objetivo. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico. Además, la uniformidad es de 0,58 cuando la mínima son 0,4. Por tanto, es válida esta distribución.

Para los congeladores, se han utilizado más o menos doce luminarias (pues pertenece a la zona de alrededores) “Opplé Lighting LZJ0212001803-Tri poof Light-shang-18w-1.2m-857-2 547006003900”. Se trata de luminarias de 18w y con una CDL relativamente ancha. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

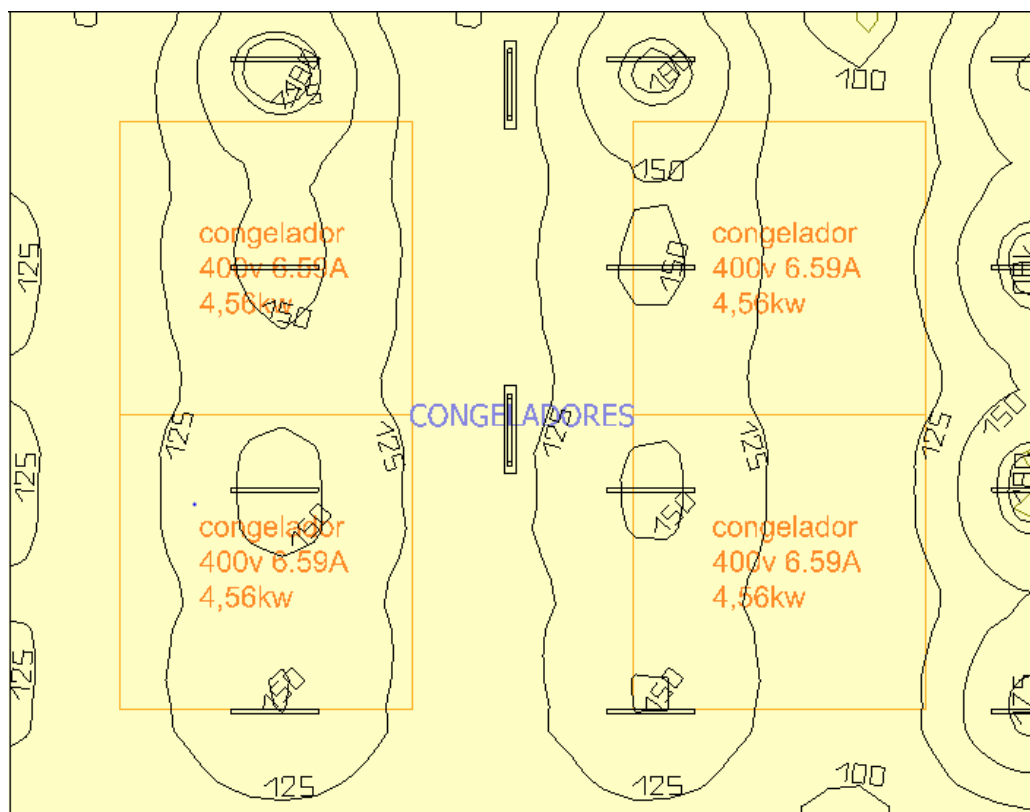


FIGURA 6: Curvas lumínicas de los congeladores con las luminarias “Opplé Lighting LZJ0212001803-Tri poof Light-shang-18w-1.2m-857-2 547006003900” (FUENTE: DIALUX)

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media 130 lux, cercano a los 100 lux que se habían planteado como objetivo. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico. Además, la uniformidad es de 0,72 cuando la mínima son 0,4. Por tanto, es válida esta distribución.

Para el caso del CT, se han utilizado doce luminarias “RZB LUCIO 2 672528.003”. Se trata de luminarias de 8,4w y con una CDL relativamente ancha y corta. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

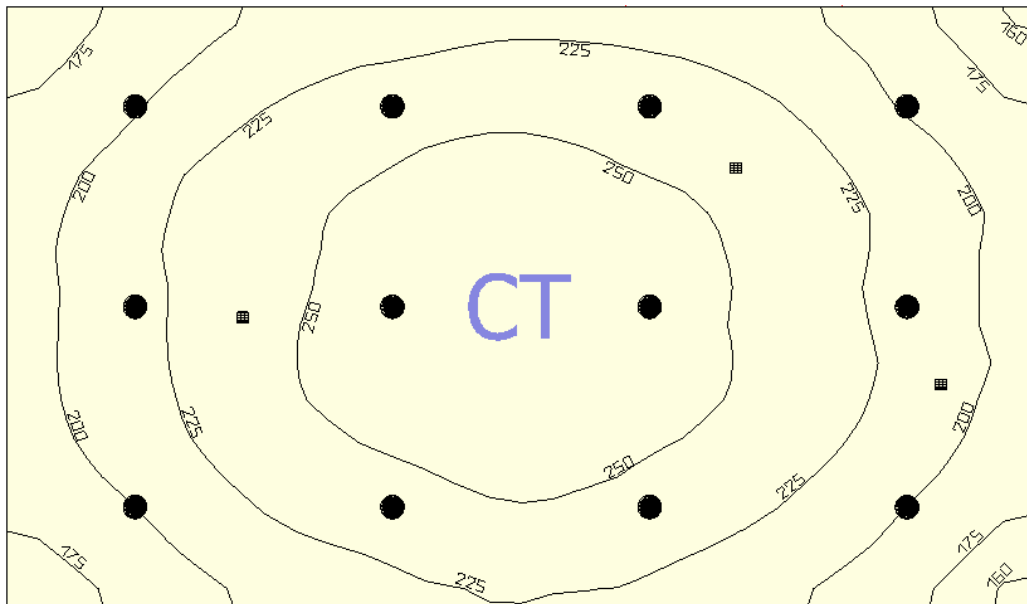


FIGURA 7: Curvas lumínicas del CT con las luminarias “RZB LUCIO 2 672528.003” (FUENTE: DIALUX)

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media 224 lux, muy cercano a los 200 lux que se habían planteado como objetivo. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico. Además, la uniformidad es de 0,71 cuando la mínima son 0,4. Por tanto, es válida esta distribución.

Para el caso del almacén, se han utilizado dieciséis luminarias “Ople Lighting LZJ0212001803-Tri poof Light-shang-18w-1.2m-857-2 547006003900”. Se trata de luminarias de 18w y con una CDL relativamente ancha. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

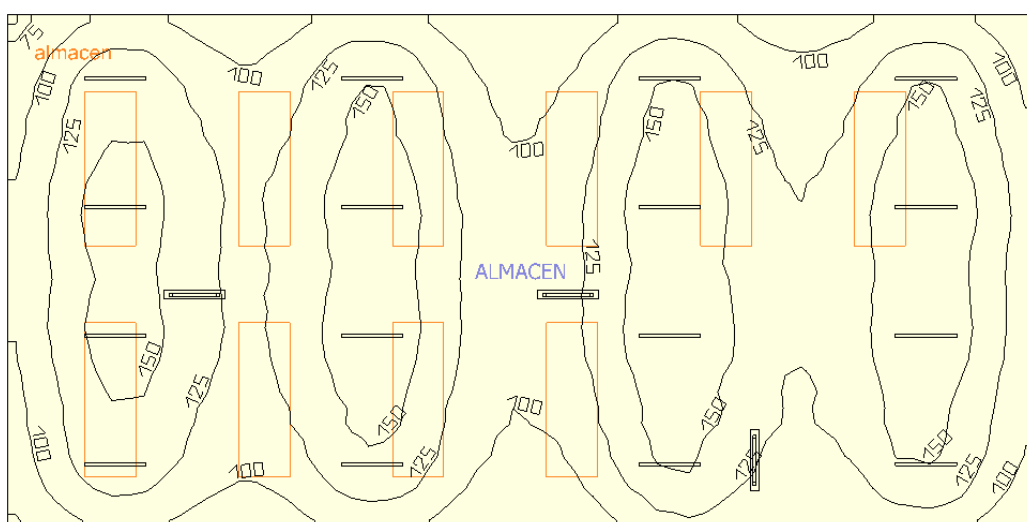


FIGURA 8: Curvas lumínicas del almacén con las luminarias “Ople Lighting LZJ0212001803-Tri poof Light-shang-18w-1.2m-857-2 547006003900” (FUENTE: DIALUX)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media en 129 lux, muy cercano a los 100 lux que se habían planteado como objetivo. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico. Además, la uniformidad es de 0,54 cuando la mínima son 0,4. Por tanto, es válida esta distribución.

Para el caso de la zona de trabajo y alrededores, se han utilizado 71 luminarias “Artemide S.p.A. HOY SOSP DIR/IND 4000K L=1154 DALI BCO BL01101” de 38w y 46 luminarias “Oppl Lighting LZJ0212001803-Tri poof Light-shang-18W-1.2m-857-2 547006003900” de 18w, respectivamente, ambas con una CDL relativamente ancho. La iluminancia que aporta estas luminarias al local es, según la siguiente curva de iluminancia:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

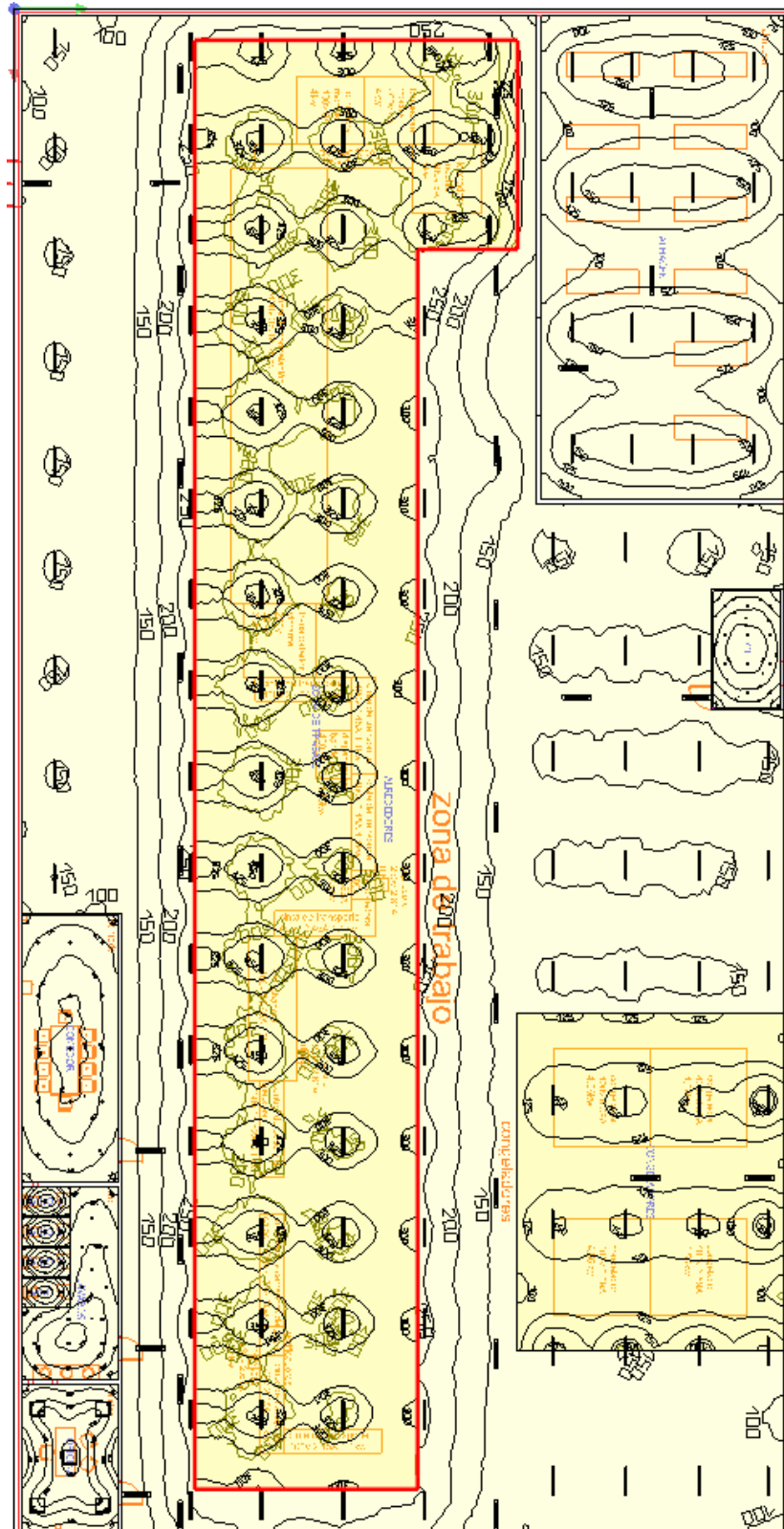


FIGURA 9: Curvas lumínicas de la nave, especialmente la zona de trabajo, luminarias “Artemide S.p.A. HOY SOSP DIR/IND 4000K L=1154 DALI BCO BL01101” y alrededores, luminarias “Oppl Lighting LZJ0212001803-Tri poof Light-shang-18w-1.2m-857-2 547006003900” (FUENTE: DIALUX)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Con esta disposición, se consigue una iluminancia media 300 lux, como se pretendía, en la zona de trabajo, con una uniformidad de 0,73, sobre los 0,6 necesarios y en los alrededores una media de 207 lux de iluminancia, superando los 100 lux mínimos con una uniformidad de 0,43, siendo la mínima 0,4. Por lo tanto, se ajusta perfectamente a la exigencia del flujo lumínico y es válida esta distribución.

5.1.2 ALUMBRADO DE EMERGENCIA

En un establecimiento como este, es fundamental contar con rutas de evacuación que permitan a los ocupantes salir hacia el exterior de manera segura en caso de cualquier emergencia, en cumplimiento con la normativa de construcción CPI/96. Dado que el plano disponible no ofrecía detalles sobre estas rutas, se diseñaron previamente como un requisito esencial antes de planificar el sistema de iluminación de emergencia.

Dado el tamaño de la instalación, se han establecido dos vías de evacuación: una para la sección del almacén y otra para las oficinas, áreas comunes, y la línea de producción, que atraviesa ambas áreas. Esto implica la existencia de dos salidas, una para cada parte del edificio.

El objetivo principal es determinar hacia dónde deben dirigirse estas vías de evacuación desde cualquier punto donde las personas puedan encontrarse habitualmente. Estas rutas deben llevar a una zona segura, similar al exterior, y se diseñan de manera que sean lo más sencillas posible y eviten obstáculos, especialmente en una planta industrial donde la presencia de maquinaria puede representar riesgos durante una evacuación.

Se ha iniciado el diseño de la primera vía de evacuación para las personas ubicadas en el almacén. Se ha establecido como punto de salida la puerta de carga y descarga que conduce al exterior. Esta vía también incluye la entrada/salida del CT, que también tiene una salida al exterior.

La segunda vía de evacuación está diseñada para partir desde la salida de las oficinas, aseos, área de descanso y desde el inicio de la línea de producción. Esta ruta requiere atravesar la nave industrial para llegar completamente al exterior, utilizando una de las dos puertas disponibles: la puerta de entrada principal o una puerta de emergencia situada en la parte trasera de la nave. En la sección de proceso industrial se ha evitado la presencia de maquinaria y se ha trazado un tramo horizontal para simplificar la ruta.

Según la normativa, estas vías de evacuación deben tener un ancho mínimo de un metro, y este estándar se ha respetado en todos los casos. Por lo tanto, las rutas de evacuación se han diseñado tal y como se muestra en el plano. La norma establece un metro mínimo de ancho para la vía de evacuación, y es lo que se va a disponer en todos los casos. Así pues, las vías de evacuación quedan tal y como se refleja en el plano

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

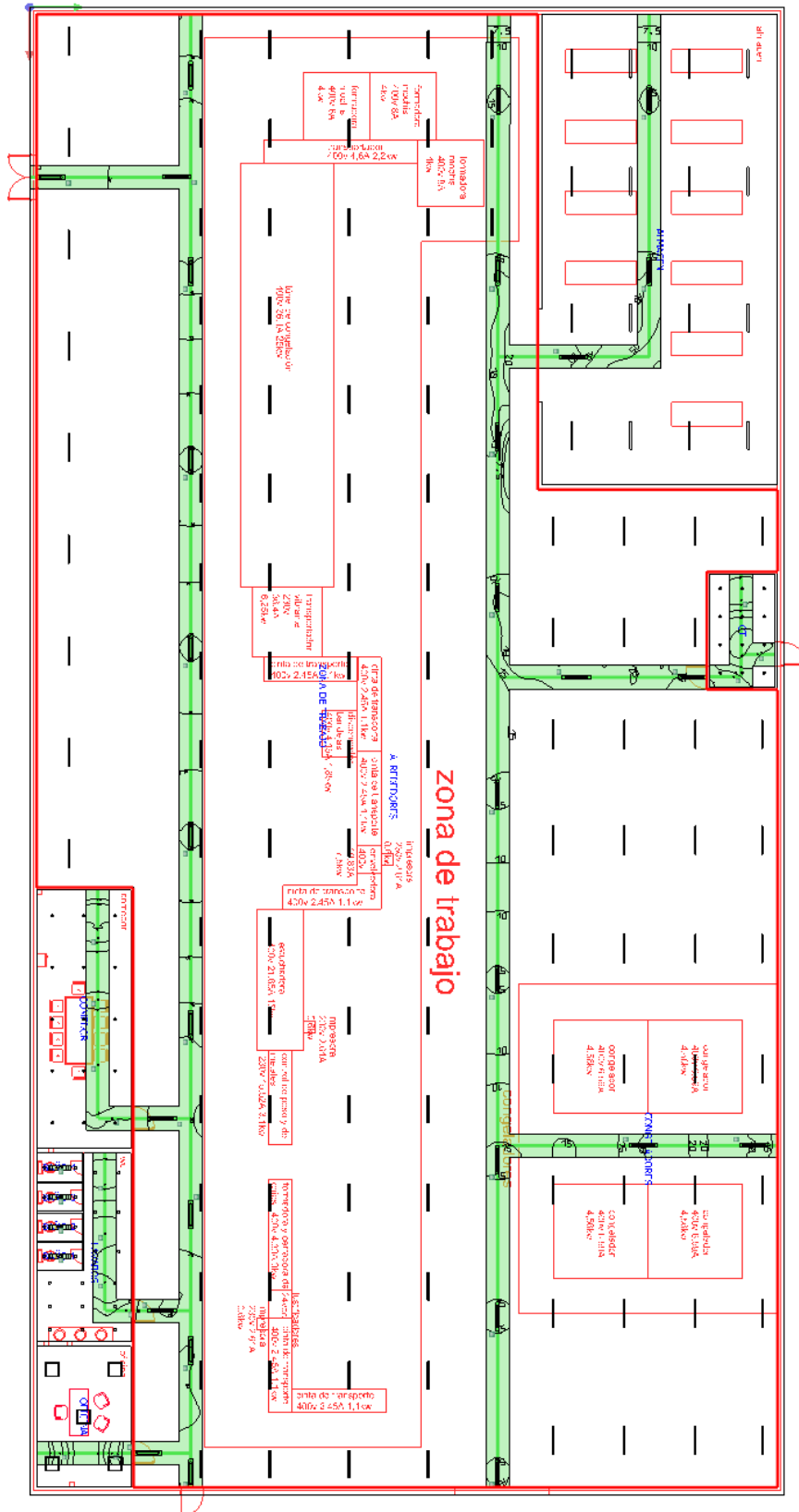


FIGURA 10: RUTAS DE EVACUACIÓN (FUENTE: DIALUX)

DISEÑO DEL ALUMBRADO DE EMERGENCIA

El diseño del alumbrado de emergencia es crucial en las vías de evacuación para evitar confusión y lesiones en situaciones de evacuación. Este sistema proporciona una iluminación especial que garantiza la visibilidad adecuada en áreas oscuras durante una emergencia.

En primer lugar, se determina si la instalación eléctrica del estudio se clasifica como un lugar de pública concurrencia, y según la ITC-BT-28, este edificio no entra en esta categoría. Por lo tanto, se rige por la reglamentación de protección contra incendios en establecimientos industriales, establecida en el REAL DECRETO 2267/2004 del 3 de diciembre. Según este reglamento, el alumbrado de emergencia solo es necesario en vías de evacuación y áreas con cuadros de alumbrado que podrían representar peligros durante una evacuación. Además, debido a la presencia de un CT en el interior del edificio, se requiere un alumbrado de emergencia independiente para iluminar las salidas del CT.

El sistema de alumbrado de emergencia debe activarse automáticamente cuando haya una caída del 70% en la tensión nominal de servicio, según esta normativa. En situaciones de evacuación sin fallos en la iluminación, se espera que el alumbrado normal proporcione la iluminación necesaria en las vías de evacuación, lo cual cumple con los requerimientos establecidos. Otros aspectos del alumbrado de emergencia, como su activación a cierta temperatura o su duración mínima de funcionamiento, son aspectos ya considerados en la fabricación de las luminarias de emergencia y no se profundizan aquí.

De acuerdo con las normativas, el alumbrado de emergencia debe garantizar una iluminación mínima de 1 lux a nivel del suelo y en el eje de las vías principales, y de 5 lux para los paneles de distribución de iluminación. Se ha decidido, para mayor seguridad, proporcionar una iluminación de 5 lux en otros paneles cercanos a las vías de evacuación, aunque no estén directamente relacionados con la iluminación.

Por último, existen dos maneras de realizar la conexión del alumbrado de emergencia:

- Colocar líneas distintas para el alumbrado de emergencia y el general
- Colocar en la misma línea el alumbrado de emergencia y el general

El modelo escogido ha sido el segundo porque así las luminarias de emergencia se encenderán cuando el alumbrado general al sector al cual está conectado se quede sin alimentación (que se abra el interruptor diferencial), encendiéndose el alumbrado de emergencia de forma selectiva por distintos sectores. De otro modo se podría encender el alumbrado en zonas donde el alumbrado general está funcionando en condiciones normales.

ELECCION DE LAS LUMINARIAS

Se han seleccionado luminarias de emergencia autónomas para asegurar su independencia total del sistema de alumbrado general. Además, estas unidades autónomas contienen todos los elementos necesarios para su funcionamiento, lo que facilita su mantenimiento.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

El siguiente aspecto por considerar es la clasificación del aparato autónomo como permanente, no permanente o combinado. En el caso de un aparato autónomo permanente, el alumbrado de emergencia está alimentado de manera continua, independientemente de cortes en la alimentación. Dado que la normativa no exige este tipo, se ha optado por el tipo no permanente para reducir el consumo de energía.

En este edificio, se ha instalado alumbrado de emergencia utilizando tecnología LED. Tradicionalmente, los LED solo se justificaban en casos de alumbrado permanente para ahorrar energía frente a las fuentes de luz más tradicionales. Sin embargo, los avances en la tecnología LED han demostrado un ahorro energético significativo, incluso en luminarias de emergencia no permanentes, como es el caso aquí. Estudios muestran un ahorro energético del 47% en comparación con las luminarias fluorescentes, además de la mayor durabilidad de los LED. Otro factor que considerar es que las ópticas utilizadas en las luminarias LED son más eficientes que las fluorescentes, lo que permite cubrir una mayor área de iluminación con menos luminarias instaladas.

Para el diseño del alumbrado de emergencia, se ha considerado la normativa que exige un máximo de 8 metros entre dos luminarias de emergencia. El diseño se ha realizado teniendo en cuenta esta especificación para determinar el número mínimo de luminarias necesarias. A partir de esta disposición, se han seleccionado las luminarias adecuadas para cumplir con los niveles de iluminación requeridos.

Se han instalado luminaria de tipo pendular en toda la zona del proceso industrial, alrededores, congeladores y almacén por dónde discurre la vía de evacuación “Dextra SIRBD 12L40 E3 Sira LED Emergency” y en los locales, CT, zona de descanso/comedor, aseos y la oficina, se han instalado empotradas en el techo “ES-SYSTEM POINT LED AW-E 1x2 TA WD 5825411AWXW”

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

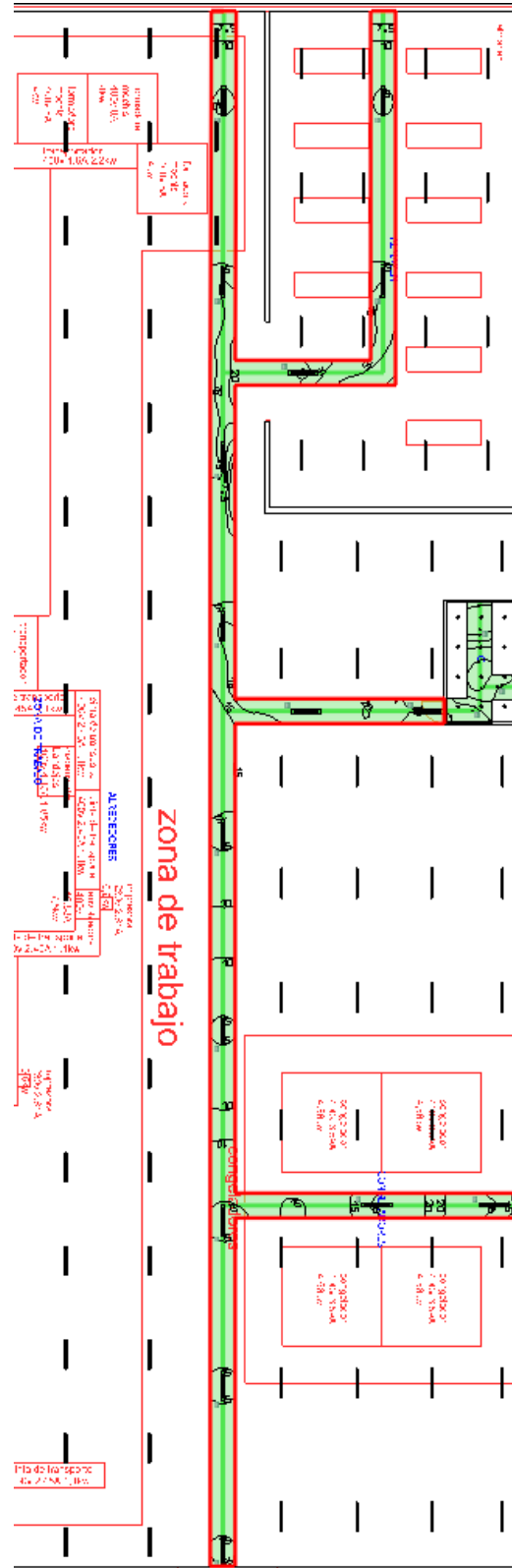


FIGURA 11: SALIDA DE EMERGENCIA 1 (VIA 1 DE EVACUACIÓN) (FUENTE: DIALUX)

NUMERO DE LUMINARIAS: 18

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

ILUMINANCIA MEDIA: 5,92 lux

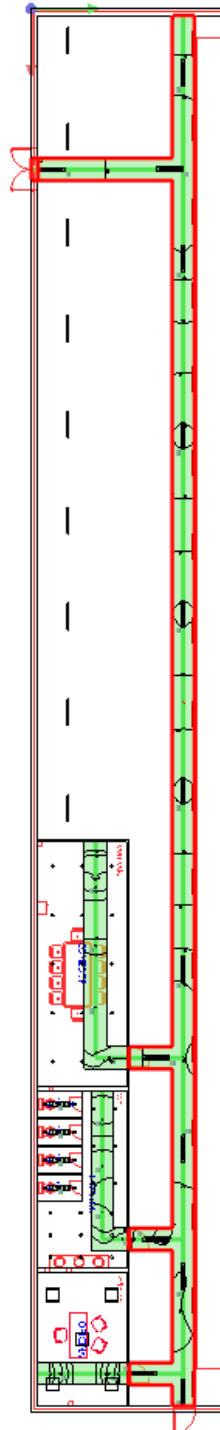


FIGURA 12: SALIDA DE EMERGENCIA 2 (VIA 2 DE EVACUACIÓN) (FUENTE: DIALUX)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

NUMERO DE LUMINARIAS: 14

ILUMINANCIA MEDIA: 7,87 lux

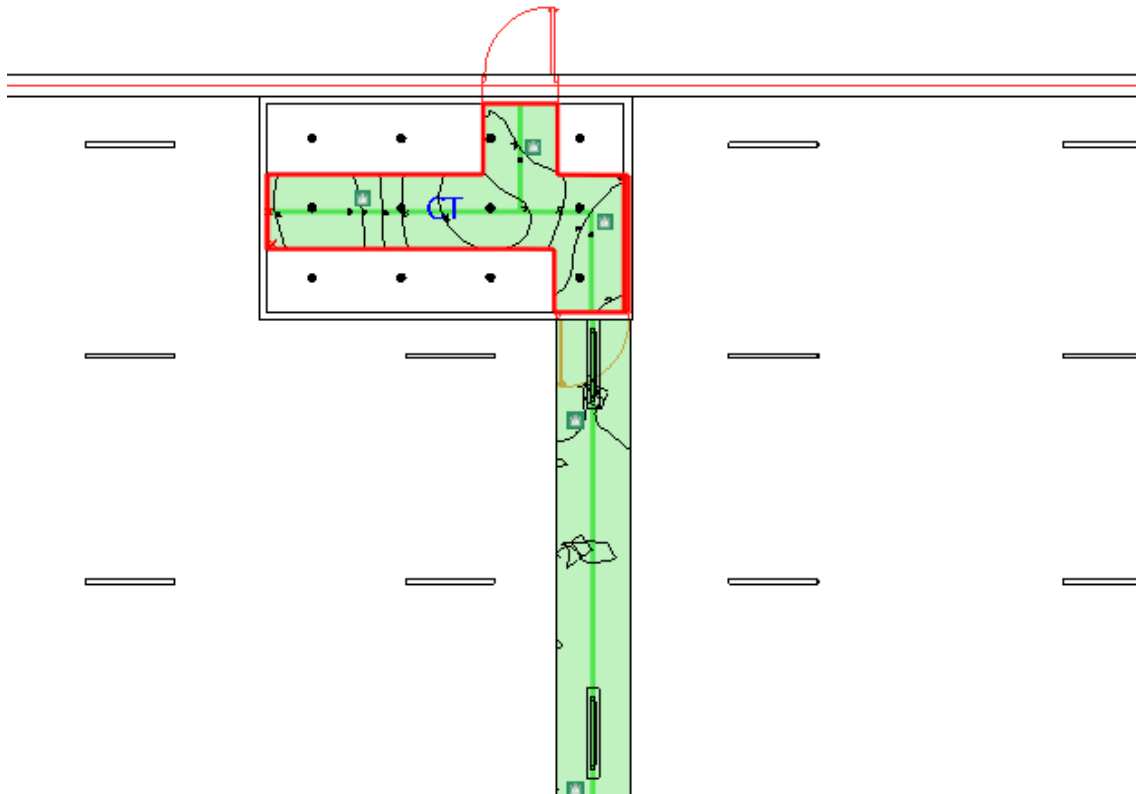


FIGURA 13: SALIDA EMERGENCIA CT (FUENTE: DIALUX)

NUMERO DE LUMINARIAS: 3

ILUMINANCIA MEDIA: 9,95 lux

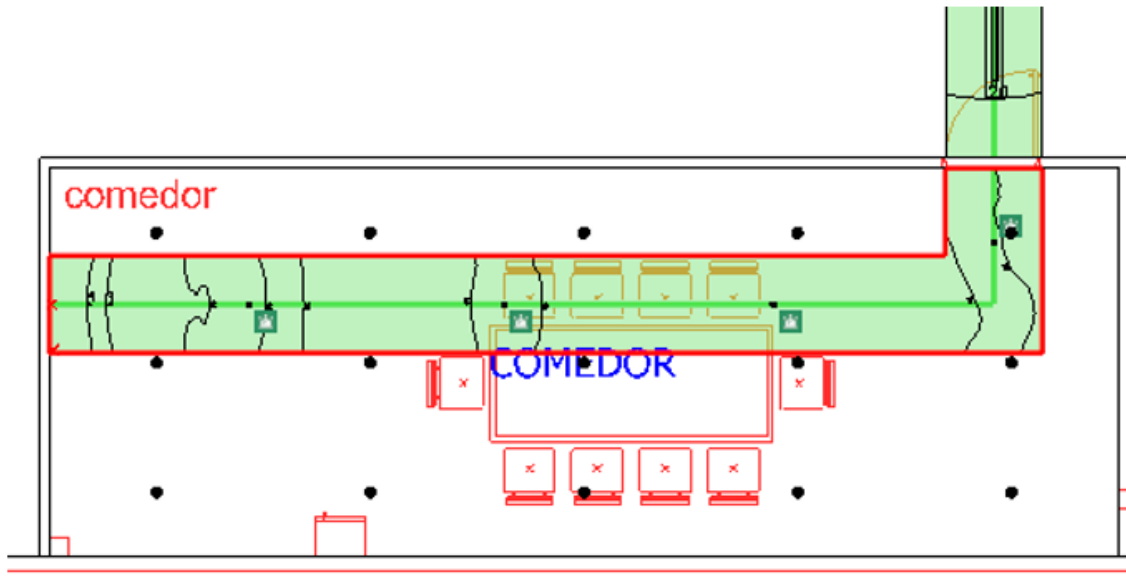


FIGURA 14: SALIDA DE EMERGENCIA ZONA DE DESCANSO (FUENTE: DIALUX)

NUMERO DE LUMINARIAS: 4

ILUMINANCIA MEDIA: 6,73lux

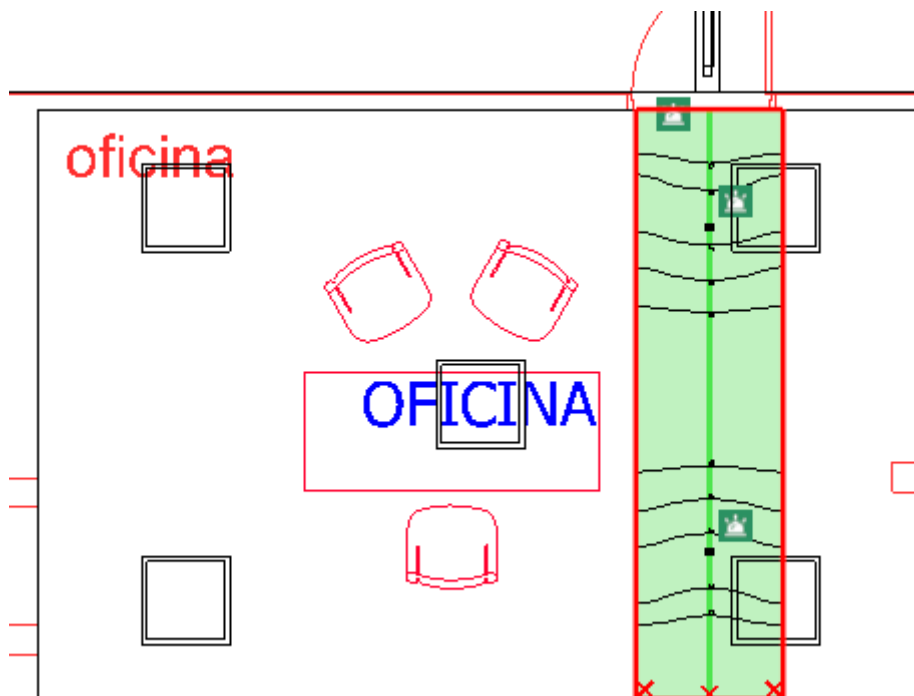


FIGURA 15: SALIDA EMERGENCIA ZONA DE OFICINA (FUENTE: DIALUX)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

NUMERO DE LUMINARIAS: 2

ILUMINANCIA MEDIA: 10,5lux

En este caso en los inodoros se han tratado como áreas antipánico por ser zona cerradas. Entonces queda de la siguiente manera:

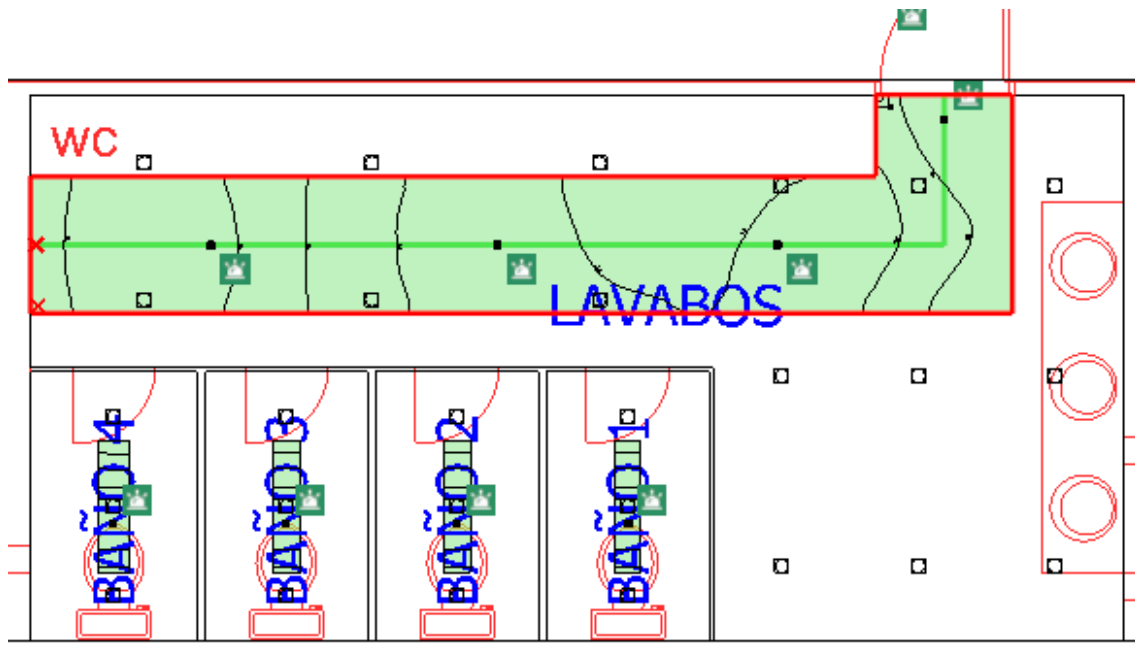


FIGURA 16: SALIDA EMERGENCIA ZONA DE LAVABO E INODOROS

Para los lavabos:

NUMERO DE LUMINARIAS: 4

ILUMINANCIA MEDIA: 9,18 lux

Y para los aseos (para los 4)

NUMERO DE LUMINARIAS: 1

ILUMINANCIA: 7,82 lux

5.2. COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA

El propósito es mitigar la energía reactiva generada en los diversos dispositivos receptores, evitando restricciones en la producción de energía activa y mejorando la eficiencia general del sistema. Al realizar la compensación, teóricamente se puede alcanzar un valor cercano a $\cos(\varphi)=1$, en comparación con los valores de $\cos(\varphi) \approx \{0,8, 0,95\}$ obtenidos si no se compensa. Adicionalmente, la compensación

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

se lleva a cabo por motivos económicos, debido a sanciones monetarias por el consumo de energía reactiva.

Diseño de la Compensación:

1. Cálculo de Demanda Reactiva: Inicialmente, se debe calcular la demanda de potencia reactiva de la instalación. Esto se hace individualmente para cada receptor con un factor de potencia menor a 0,95 para facilitar el proceso. Dado que no se poseen todos los datos de factores de potencia, se asumen valores típicos basados en la potencia demandada, que se aproximan a la realidad en aquellos factores desconocidos. Se establecen tres niveles:

- $P \leq 2 \text{ Kw} \rightarrow \cos(\varphi) \cong 0,85$
- $P \leq 20 \text{ Kw} \rightarrow \cos(\varphi) \cong 0,90$
- $P > 20 \text{ Kw} \rightarrow \cos(\varphi) \cong 0,92$

Se pueden observar los factores de potencia de cada máquina en la tabla 8.

CANTIDAD	MÁQUINA	POTENCIA (Kw)	RENDIMIENTO (%)	FDP
3	Formadora Mochis	4	84,5	0,9
1	Transportador	2,2	81,5	0,9
1	Túnel Congelación	25	100	0,92
6	Cinta Transporte	1,1	78,5	0,85
1	Envolvedora	7,5	100	0,9
1	Estuchadora	15	100	0,9
1	Formadora y cerradora Cajas	3	100	0,9
4	Congelador	4,56	100	0,9
1	Dispensador Bandeja	1,1	78,5	0,85
1		0,75	77	0,85
1	Transportador Vibrante	1,1	76	0,85
1		1,1	76	0,85
1		1,1	76	0,85

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

1		0,75	74	0,85
1		2,2	79	0,9
3	Impresora	0,6	100	0,85
1	Control peso y de metales	2	100	0,85
1		1,1	73	0,85

TABLA 8. VALORES DE POTENCIAS Y FACTORES DE POTENCIA

2. Potencia Reactiva (Q) Demandada: Utilizando estos valores y la potencia demandada de cada receptor, se calcula la potencia reactiva (Q) necesaria utilizando las expresiones:

$$Q_r = P \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}(\varphi) = (\sqrt{1 - \cos^2(\varphi)}) / \cos(\varphi) \quad (3)$$

MÁQUINA	POTENCIA DEMANDADA (w)	FDP	TAG FI	POTENCIA REACTIVA DEMANDADA (var)
Formadora Mochis	4733,73	0,9	0,48	2292,65
Transportador	2699,39	0,9	0,48	1307,37
Túnel Congelación	25000	0,92	0,43	10649,96
Cinta Transporte	1401,27	0,85	0,62	868,43
Envolvedora	7500	0,9	0,48	3632,42
Estuchadora	15000	0,9	0,48	7264,83
Formadora y cerradora Cajas	3000	0,9	0,48	1452,97
Congelador	4560	0,9	0,48	2208,51
Dispensador Bandeja	1401,27	0,85	0,62	868,43
	974,03	0,85	0,62	603,65
Transportador Vibrante	1447,37	0,85	0,62	897
	1447,37	0,85	0,62	897
	1447,37	0,85	0,62	897
	1013,51	0,85	0,62	628,12

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

	2784,81	0,9	0,48	1348,75
Impresora	600	0,85	0,62	371,85
Control peso y de metales	2000	0,85	0,62	1239,49
	1506,85	0,85	0,62	933,86

TABLA 9. VALORES DE POTENCIA REACTIVA DEMANDADA

3. Compensación con Condensadores: Se instalan condensadores en el cuadro general para lograr el factor de potencia deseado $\cos(\varphi') = 0,95$ a través de la relación $P \cdot \text{tg}(\phi') = Q_f$, donde P es la potencia total demandada y Q_f la potencia reactiva final una vez hecha la compensación:

$$\cos(\varphi') = 0,95 \rightarrow \text{tg}(\varphi') = 0,329$$

$$Q_f = 109870,791 \cdot 0,329 = 36112,783 \text{ var}$$

4. Cálculo de la Compensación: La compensación se realiza de manera que los condensadores contribuyan con la potencia reactiva requerida: $Q_c = Q_r - Q_f$ (4)

$$Q_c = 54658,941 - 36112,783 = 18546,158 \text{ var}$$

5. Instalación de los Condensadores

La compensación de energía reactiva se va a realizar de forma centralizada y regulable para poder realizar mediante una instalación de condensadores situada en el CG la compensación de toda la instalación. Con este método, la regulación puede ajustarse sin un excesivo mantenimiento a la gran variedad de factores de potencia que presentan los receptores y al servicio variado que presenta la instalación. Si se optara por una regulación fija a lo largo de la jornada laboral, habría períodos donde la compensación sería totalmente inefectiva porque el consumo de energía reactiva no se ajustaría a la demanda de cada momento del día.

Con todo ello se ha elegido una batería de condensadores de la marca CISAR, concretamente de la serie "fast cap 400v, armario M 30", aportando suficiente flexibilidad a la instalación a la hora de conectar y desconectar los distintos escalones.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

armario **M 30**



KVAr/400 V (50Hz)	Formación	Dimensiones (H x A x P)	Peso	Código
5,5	0,5+1+1,5+2,5	500 x 395 x 180 mm	13,5 kg	F115000540
8	0,5+1+1,5+5		13,5 kg	F115000840
9	0,5+1+2,5+5		14 kg	F115000940
12,5	1+1,5+2,5+2,5+5		14,5 kg	F115001240
15	1+1,5+2,5+5+5		14,5 kg	F115001540
17,5	1+1,5+5+10		15 kg	F115001740
19	1,5+2,5+5+10		15,5 kg	F115001940
24	1,5+2,5+5+15		15,5 kg	F115002440
27,5	2,5+5+10+10		16 kg	F115002740
29	1,5+2,5+5+10+10		16 kg	F115002940

Protección de serie:	Protección opcional:
1 - Interruptor automático magnetotérmico IV p. (P.d.C. 6-10kA)	2 - Interruptor Magnetotérmico + Diferencial IV p.

FIGURA 17: BATERÍA DE CONDESADORES CISAR (FUENTE: CATÁLOGO CISAR)

Esta batería de 19Kvar, está formada de la siguiente manera: 1,5+2,5+5+10. Así se podrá regular la energía reactiva de manera eficiente dependiendo de las demandas durante el día.

Corriente de los condensadores: Se debe calcular la corriente demandada por los condensadores para determinar el tamaño necesario de la línea de alimentación:

$$I_B = Q_c / \sqrt{3} \cdot U_n \quad (4)$$

$$I_B = 19\text{Kvar} / \sqrt{3} \cdot 400 = 27,424 \text{ A}$$

5.3 INSTALACIÓN DE LOS CUADROS SECUNDARIOS

El diseño de la disposición de los cuadros se ha orientado a lograr una configuración eléctrica flexible que permita una respuesta eficiente ante posibles problemas, sin aumentar excesivamente los costos de instalación. El cuadro general, el punto de inicio que recibe la corriente del CT (Centro de Transformación), se sitúa muy cerca de este para minimizar las pérdidas de energía, asegurando un trayecto directo y simple.

Inicialmente, se han instalado los cuadros destinados al alumbrado. El alumbrado se ha dividido por distintas zonas. Estas líneas de alumbrado, junto a las líneas de tomas de corriente, se han distribuido entre tres cuadros secundarios. Esta estrategia proporciona flexibilidad a la instalación, evitando que un problema en una zona apague por completo toda la iluminación de la instalación.

Los cuadros se han dispuesto de manera que las longitudes de las líneas sean lo más cortas posible. Se han agrupado los receptores más cercanos en cada cuadro, evitando sobrecargar excesivamente cada uno de ellos, aunque la normativa no imponga restricciones específicas en este sentido.

La elección de los cuadros secundarios se ha basado en los requisitos de espacio necesarios para los dispositivos de protección de cada línea. Por ejemplo, un dispositivo tetrapolar requiere un espacio de 4 módulos de 18mm, mientras que los bipolares necesitan 2 módulos de 18mm. Considerando estos

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

requerimientos, se elige el cuadro secundario con un margen adicional del 25%, como mínimo del espacio total demandado, previendo posibles ajustes futuros.

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN	MODELO	ALTO (mm)	ANCHO (mm)	PROFUNDIDAD (mm)	N.º MÓDULOS
CD1	LVSXL213	450	302	145	26
CD2	LVSXL118	450	426	145	18
CD3	LVSXL313	600	302	145	36
CD4	LVSXL118	450	426	145	18
CD5	LVSXL213	450	302	145	26
CD6	LVSXL213	450	302	145	26
CD7	LVSXL213	450	426	145	18

TABLA 10. DIMENSIONES Y NÚMERO DE MÓDULOS DE LOS CUADROS DE DISTRIBUCIÓN

5.4 CONDUCTORES

MATERIAL CONDUCTOR

El diseño de los conductores se ha hecho de acuerdo con la ITC-BT-19. Se ha utilizado el cobre como conductor principal cobre debido a sus características superiores al aluminio y además por tratarse de líneas no muy largas y de interior (dentro de la nave).

Es importante destacar que, si bien el aluminio es más económico, tanto sus propiedades mecánicas como eléctricas son inferiores en comparación con el cobre. Esto resulta en una vida útil más corta para los conductores de aluminio, mientras que las propiedades del cobre tienden a mantenerse más estables a lo largo del tiempo, lo que facilita su mantenimiento. Otra consideración relevante es que los conductores de aluminio suelen fabricarse con secciones de 16 mm², lo que también influye en su uso y aplicación en sistemas eléctricos.

Específicamente, en las líneas destinadas a alimentar equipos industriales, se ha elegido exclusivamente el cobre como conductor. Esto se debe a que estas máquinas pueden generar picos de intensidad durante el arranque de sus motores, y las propiedades superiores del cobre son más adecuadas para manejar estas condiciones, lo que hace recomendable su uso en estas situaciones críticas.

METODO DE INSTALACIÓN

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

En la selección del método de instalación para cada línea eléctrica, se han considerado diversos factores que abarcan desde aspectos económicos hasta consideraciones prácticas, incluyendo la facilidad de construcción y la estética del entorno. Se detallarán los puntos clave que se han tenido en cuenta en este diseño.

En el caso de muchas líneas destinadas a suministrar energía a equipos industriales, se ha elegido el uso de tuberías al aire como método de instalación predominante. Esto se debe a que estos receptores suelen estar distribuidos a lo largo de la infraestructura industrial, a menudo distantes de elementos estructurales como paredes o columnas. Esta disposición dificulta la instalación de las líneas en bandejas o dentro de conductos, especialmente en muros de mampostería, entre otros. Además, en un entorno industrial, la visibilidad de tubos al aire no afecta significativamente la estética del lugar, a diferencia de lo que podría ocurrir en edificaciones de uso público, donde se busca una solución más discreta para la ubicación de estos conductos.

El trazado de las líneas se ha planificado para minimizar la distancia y, por ende, los costos. No obstante, se han considerado aspectos fundamentales, como evitar la intersección de los conductores con otras canalizaciones presentes en la instalación, como las de agua. En este sentido, se han dispuesto los tubos en tramos horizontales o verticales, evitando las diagonales, lo que permite un orden y una comprensión más efectiva de la instalación para facilitar las labores de mantenimiento.

Otra opción utilizada es el empleo de bandejas perforadas, especialmente en líneas cercanas a paredes o pilares, simplificando su disposición y representando una solución constructiva más sencilla. Por ejemplo, los cuadros secundarios 1, 2, 5 y 7 son alimentados mediante bandejas desde el cuadro general. Sin embargo, existen excepciones, como el caso del cuadro secundario 3, que se alimenta mediante tubo. De manera similar, los cuadros secundarios 4 y 6 también se alimentan mediante este método, por estar en medio de la nave, sin pilares ni paredes cerca.

AISLANTE DEL CONDUCTOR

Se ha empleado polietileno reticulado (XLPE) como material aislante para garantizar la resistencia a la corriente que fluye a través del conductor y evitar la creación de una peligrosa diferencia de potencial cuando el conductor entra en contacto con personas. En el contexto específico de conductores alojados dentro de bandejas, el uso de XLPE es obligatorio, dado que estas bandejas requieren conductores capaces de soportar tensiones de 1000V.

En otras situaciones, como en líneas o receptores que demandan una alta potencia, se ha optado por emplear XLPE como aislante. Esto se debe a que el XLPE exhibe mejoras significativas en sus propiedades térmicas y eléctricas en comparación con el PVC. El XLPE, al ser un material termoestable, reduce considerablemente las pérdidas en la transmisión de energía, lo que lo convierte en una opción altamente adecuada para aplicaciones con elevadas demandas de potencia.

Además, para receptores más pequeños, como pequeñas máquinas industriales o sistemas de iluminación, así como para líneas de menor capacidad, también se ha elegido el XLPE por sus ventajas con respecto al PVC en términos de sus características técnicas y de rendimiento.

Las líneas han quedado de la siguiente manera:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

LINEAS DESDE EL CUADRO HASTA LA MÁQUINA	LONGITUD(m)	MATERIAL	AISLANTE	MÉTODO DE INSTALACIÓN	
Mochis1	15,13	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Mochis2	12,55	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Mochis3	7,57	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Transportador	13,10	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Túnel congelación	14,33	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cinta Transporte 1	9,94	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cinta Transporte 2	5,90	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cinta Transporte 3	4,34	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cinta Transporte 4	9,78	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Envolvedora	6,89	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Dispensador Bandeja	6,05	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Transportador Vibrante	12,99	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Impresora 1	6,04	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cinta Transporte 5	14,73	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cinta Transporte 6	13,68	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Impresora 2	9,17	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Impresora 3	13,78	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Estuchadora	12,37	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Formadora y cerradora Cajas	7,47	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Control peso y de metales	9,33	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Congelador	6,43	cobre	XLPE	tubo al aire	B2

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Congelador	10,48	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Congelador	6,43	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Congelador	10,48	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Condensador	1,37	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma simple1 comedor	2,60	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma simple2 comedor	2,77	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma simple3 oficina	7,68	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma simple4 aseo	6,68	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma simple5 aseo	11,96	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma doble1 comedor	3,32	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma doble2 comedor	14,14	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Toma doble3 oficina	13,95	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Cg	1,75	cobre	XLPE	tubo al aire	B1
C1	30,23	cobre	XLPE	bandeja perforada	F
C2	21,43	cobre	XLPE	bandeja perforada	E
C3	15,71	cobre	XLPE	tubo al aire	B1
C4	35,89	cobre	XLPE	tubo al aire	B1
C5	18,31	cobre	XLPE	bandeja perforada	E
C6	33,16	cobre	XLPE	tubo al aire	B1
C7	55,22	cobre	XLPE	bandeja perforada	F
Luminarias almacén	27,37	cobre	XLPE	tubo al aire	B2

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Luminarias arriba1+ct	21,28	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminarias zona trabajo 1	33,08	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminaria zona trabajo 2	36,83	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminarias arriba 2	50,99	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminarias abajo	34,76	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminarias comedor	14,76	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminaria baño	22,18	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminaria oficina	13,39	cobre	XLPE	tubo al aire	B2
Luminarias zona trabajo 3	27,6	cobre	XLPE	tubo al aire	B2

TABLA 11: MATERIAL, AISLANTE Y MÉTODO DE INSTALACIÓN DE CADA LÍNEA

DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

El proceso de dimensionamiento de las líneas eléctricas, una vez trazados sus recorridos, debe cumplir dos criterios esenciales según la normativa ITC-BT-19: el criterio del calentamiento térmico y el de la caída de tensión.

CRITERIO TÉRMICO

El criterio térmico se enfoca en asegurar que el conductor, en su funcionamiento normal, no alcance una temperatura que pueda dañar sus elementos constituyentes. Para determinar las intensidades admisibles de cada conductor sin sufrir deterioro, se hace referencia a la norma UNE EN 20-460-5-523. Esta norma proporciona tablas con intensidades máximas soportables por cada conductor en función de varios factores: material conductor y aislante, distribución de los circuitos eléctricos, y el método de instalación. Estas intensidades normalizadas deben ser mayores que la intensidad demandada por la línea, calculada a partir de los datos suministrados por los receptores.

Para calcular la intensidad demandada por la línea (IB) a partir de los datos de los receptores:

$$IB(A) = P(w) / (\sqrt{3} \cdot U(V) \cdot \cos(\varphi)) \quad (5)$$

Respecto a esta expresión general hay que tener en cuenta cuando el receptor alimentado es un motor. Durante el arranque de este, la corriente absorbida es entre 3 y 8 veces mayor (en función del tamaño del motor) que su corriente nominal. Por tanto, si no tenemos en cuenta esta intensidad de arranque, la intensidad demandada considerada sería menor de lo que realmente puede llegar a ser durante su funcionamiento, pudiendo dar lugar a secciones y aparatos de protección incapaces de soportarla. Por

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

este motivo, la ITC-BT-47 establece que, para el caso de diseño de motores, se debe prevenir un aumento de la corriente del 25 % del consumo del mayor motor alimentado por línea. O lo que es lo mismo, la expresión anterior quedará multiplicada en estos casos por 1,25.

En el caso específico de líneas destinadas al alumbrado, se establece un enfoque diferente. Dichas líneas son monofásicas y se ha fijado una intensidad máxima de 10 A. Aunque se puedan usar líneas con mayor capacidad, se ha preferido ajustar a este límite para adecuarse a las secciones estándar y facilitar la conexión con las luminarias habituales de los fabricantes, secciones de 1,5mm². Esto evita la necesidad de modificar la sección y la instalación de dispositivos de protección adicionales. En función de esta intensidad máxima, se determina el número máximo de luminarias que se pueden conectar en cada línea.

La intensidad de diseño se calcula con la expresión:

$$IB = P(W)/UF$$

Además, se calcula la intensidad de diseño considerando factores especiales, como en el caso de luminarias LED, que, al ser cargas no lineales, pueden generar armónicos y deformaciones en la onda de intensidad. Se aplica un coeficiente de compensación para prevenir el calentamiento excesivo del conductor igual a 1,5. El procedimiento a seguir para calcular cuantas luminarias disponer en cada línea será:

$$I1 = 1.5 \cdot \sum Pot \text{ luminarias por línea} / 230 \leq 10$$

En las líneas que alimenten el alumbrado de emergencia, la intensidad demandada no es la obtenida a partir de la expresión anterior, sino que se aproxima al 10% de este valor, por lo que no se tiene en cuenta en el cálculo, debido a ser un valor extremadamente bajo.

La razón viene dada por el propio funcionamiento de las luminarias de emergencia, que funcionan con una fuente propia de energía ajena a la alimentación general. Estas luminarias solo son alimentadas desde el CG para realizar la carga, que solamente requiere una potencia que se aproxima al 10% de su potencia total, puesto que la carga se realiza lentamente durante 24 h.

Otro caso particular, es el caso de las tomas de corriente, donde no se conoce la potencia de los receptores que están alimentando. Para realizar un adecuado dimensionamiento, lo que se ha tenido en cuenta para las líneas que están alimentando directamente las tomas de corriente es suponer que en cada toma hay unos 16 A y en las tomas doble, un total de 16 A.

Una vez calcula la intensidad demandada en todas las líneas, debe tenerse en cuenta que este valor debe ser rectificado con unos factores de corrección (k). Estos factores deben tenerse en cuenta puesto que los valores aportados por las tablas vienen como resultado de situaciones normalizadas (temperatura ambiente, agrupación de circuitos...), y por tanto difieren de las condiciones reales del circuito.

$$I1 = IB/k \quad (6)$$

Se obtiene una sección, S, necesaria de forma que se cumpla que la intensidad admisible sea mayor que la demandada;

$$IT \geq I1 \quad (7)$$

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Por último, como la intensidad admisible es de nuevo un valor normalizado obtenido de las tablas, habrá que multiplicar este valor por k para que el resultado vuelva a adaptarse a las condiciones reales:

$$IZ = k \cdot IT \quad (8)$$

MÁQUINA	IB	KA	K=(KA*KT)	I1	IT	SECCIÓN mm2	IZ
mochis1	8,99	0,65	0,65	13,83	18,50	1,5	12,03
mochis2	8,99	0,65	0,65	13,83	18,50	1,5	12,03
mochis3	8,99	0,65	0,65	13,83	18,50	1,5	12,03
transportador	5,13	0,65	0,65	7,89	18,50	1,5	12,03
túnel congelación	37,98	1	1	37,98	43	6	43
Cinta Transporte 1	2,66	0,65	0,65	4,09	18,50	1,5	12,03
Cinta Transporte 2	2,66	0,65	0,65	4,09	18,50	1,5	12,03
Cinta Transporte 3	2,66	0,65	0,65	4,09	18,50	1,5	12,03
Cinta Transporte 4	2,66	0,65	0,65	4,09	18,50	1,5	12,03
Envolvedora	15,93	0,65	0,65	24,51	25	2,5	16,25
Dispensador Bandeja	4,14	0,65	0,65	6,37	18,50	1,5	12,03
Transportador Vibrante	40,44	0,65	0,65	62,22	100	16	65
Impresora 1	2,61	0,65	0,65	4,01	19,50	1,5	12,68
Cinta Transporte 5	2,66	0,60	0,60	4,44	18,50	1,5	11,10
Cinta Transporte 6	2,66	0,60	0,60	4,44	18,50	1,5	11,10
Impresora 2	2,61	0,60	0,60	4,35	18,50	1,5	11,10
Impresora 3	2,61	0,70	0,70	3,73	18,50	1,5	12,95
Estuchadora	22,79	0,60	0,60	37,98	43	6	25,80

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Formadora y cerradora Cajas	4,56	0,70	0,70	6,51	18,50	1,5	12,95
Control peso y de metales	18,34	0,60	0,60	30,56	36	4	21,60
Congelador	6,93	0,80	0,80	8,66	18,50	1,5	14,80
Congelador	6,93	0,80	0,80	8,66	18,50	1,5	14,80
Congelador	6,93	0,80	0,80	8,66	18,50	1,5	14,80
Congelador	6,93	0,80	0,80	8,66	18,50	1,5	14,80
condensador	27,42	1	1	27,42	34	4	34
toma simple1 comedor	16	0,60	0,60	26,67	27	4	16,20
toma simple2 comedor	16	0,60	0,60	26,67	27	4	16,20
toma simple3 oficina	16	0,52	0,52	30,77	36	4	18,72
toma simple4 aseo	16	0,52	0,52	30,77	36	4	18,72
toma simple5 aseo	16	0,52	0,52	30,77	36	4	18,72
toma doble1 comedor	16	0,60	0,60	26,67	27	2,5	16,20
toma doble2 comedor	16	0,60	0,60	26,67	27	2,5	16,20
toma doble3 oficina	16	0,52	0,52	30,77	36	4	18,72
cg	306,20	1	1	306,20	344	150	344
c1	63,66	0,88	0,88	72,34	107	16	94,16
c2	12,93	0,88	0,88	14,70	23	1,5	20,24
c3	63,38	0,70	0,70	90,55	137	35	95,90

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

c4	65,25	0,70	0,70	93,22	137	35	95,90
c5	27,71	0,88	0,88	31,49	42	6	36,96
c6	52,87	0,70	0,70	75,53	110	25	77
c7	69,51	0,88	0,88	78,99	107	16	94,16
luminarias almacén	2,00	1	1	2,00	26	1,5	26
luminarias arriba1+ct	1,95	0,80	0,80	2,44	26	1,5	20,80
luminarias zona trabajo 1	6,69	0,80	0,80	8,36	26	1,5	20,80
Luminaria zona trabajo 2	5,95	0,80	0,80	7,43	26	1,5	20,80
luminarias arriba 2	2,82	0,80	0,80	3,52	26	1,5	20,80
luminarias abajo	1,06	0,60	0,60	1,76	26	1,5	15,60
luminarias comedor	0,82	0,60	0,60	1,37	26	1,5	15,60
luminaria baño	1,74	0,52	0,52	3,35	26	1,5	13,52
luminaria oficina	1,57	0,52	0,52	3,01	26	1,5	13,52
luminarias zona trabajo 3	4,96	0,52	0,52	9,53	26	1,5	13,52

TABLA 12. INTENSIDADES DE DISEÑO Y SECCIONES DE LÍNEAS

CRITERIO POR CAÍDA DE TENSIÓN

La ITC-BT-19 establece límites máximos de caída de tensión para los conductores, dependiendo de la aplicación. Para instalaciones industriales, se limita al 4,5% para líneas de alumbrado y al 6,5% para el resto casos. La caída de tensión se calcula entre el inicio de la instalación (la salida del transformador) y el punto que se esté considerando, considerando que la línea está alimentando simultáneamente todos los receptores que tiene a su cargo.

Para el cálculo de la caída de tensión de una línea trifásica se utiliza la expresión:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

$$U1 - U2 = \Delta U = (L/U2) \cdot (Ru \cdot P + Xu \cdot Q) \quad (9)$$

Para el caso de líneas monofásicas, como lo son por ejemplo las líneas de alumbrado, la caída de tensión se calcula como:

$$\Delta U = 2 \cdot L/U2 \cdot (Ru \cdot P + Xu \cdot Q) \quad (10)$$

La caída de tensión expresada en % útil para comprobar las especificaciones resulta:

$$\varepsilon = \Delta U/U_n \cdot 100 \quad (11)$$

Este ha sido el procedimiento habitual para hallar la caída de tensión. Sin embargo, algunas líneas encargadas del alumbrado tienen conectadas múltiples cargas. En este caso, calcularemos la potencia instalada de dicha línea en el punto más alejado del tramo.

Los resultados se muestran en la tabla

MAQUINA	ALIMENTACION	CUADRO	DISTANCIA AL TRAFO(m)	Potencia (w)	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	CAIDA TENSIÓN ADMISIBLE (V)
mochis1	TRIFASICO	C1	47,10	4733,73	7,50	26
mochis2	TRIFASICO	C1	44,53	4733,73	7,09	26
mochis3	TRIFASICO	C1	39,55	4733,73	6,30	26
transportador	TRIFASICO	C1	45,08	2699,39	3,78	26
túnel congelación	TRIFASICO	C1	46,30	25000	10,17	26
Cinta Transporte 1	TRIFASICO	C3	27,39	1401,27	1,16	26
Cinta Transporte 2	TRIFASICO	C3	23,35	1401,27	0,99	26
Cinta Transporte 3	TRIFASICO	C3	21,80	1401,27	0,92	26
Cinta Transporte 4	TRIFASICO	C3	27,24	1401,27	1,15	26
Envolvedora	TRIFASICO	C3	24,35	7500	3,99	26

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Dispensador Bandeja	TRIFASICO	C3	23,50	2375,30	1,71	26
Transportador Vibrante	MONOFASICO	C3	30,44	8140,43	2,71	14,95
Impresora 1	MONOFASICO	C3	23,50	600	1,48	14,95
Cinta Transporte 5	TRIFASICO	C6	49,64	1401,27	2,10	26
Cinta Transporte 6	TRIFASICO	C6	48,59	1401,27	2,06	26
Impresora 2	TRIFASICO	C6	44,09	600	0,80	26
Impresora 3	TRIFASICO	C6	48,69	600	0,88	26
Estuchadora	TRIFASICO	C6	47,29	15000	6,23	26
Formadora y cerradora Cajas	TRIFASICO	C6	42,39	3000	3,90	26
Control peso y de metales	MONOFASICO	C6	44,24	3506,85	7,03	14,95
Congelador	TRIFASICO	C5	26,48	4560	3,79	26
Congelador	TRIFASICO	C5	30,53	4560	4,36	26
Congelador	TRIFASICO	C5	26,48	4560	3,79	26
Congelador	TRIFASICO	C5	30,53	4560	4,36	26
toma simple1 comedor	MONOFASICO	C4	40,23	3680	0,12	14,95
toma simple2 comedor	MONOFASICO	C4	40,40	3680	7,04	14,95
toma simple3 oficina	MONOFASICO	C7	64,65	3680	7,07	14,95

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

toma simple4 aseo	MONOFASICO	C7	63,64	3680	10,80	14,95
toma simple5 aseo	MONOFASICO	C7	68,92	3680	10,63	14,95
toma doble1 comedor	MONOFASICO	C4	40,95	3680	11,52	14,95
toma doble2 comedor	MONOFASICO	C4	51,77	3680	11,47	14,95
toma doble3 oficina	MONOFASICO	C7	70,91	3680	14,50	14,95
cg	TRIFASICO	TRANSFORMADOR	1,75	143840,89	11,85	26
c1	TRIFASICO	CG	31,98	41900,57	19,14	26
c2	TRIFASICO	CG	23,18	2974,80	4,45	26
c3	TRIFASICO	CG	17,46	24220,82	2,25	26
c4	TRIFASICO	CG	37,64	15008	0,71	26
c5	TRIFASICO	CG	20,06	18240	0,95	26
c6	TRIFASICO	CG	34,91	25509,40	3,08	26
c7	TRIFASICO	CG	56,97	15987,30	2,14	26
luminarias almacen	MONOFASICO	C2	50,54	306	2,21	10,35
luminarias arriba1+ct	MONOFASICO	C2	44,45	298,80	1,61	10,35
luminarias zona trabajo 1	MONOFASICO	C2	56,25	1026	1,38	10,35
Luminaria zona trabajo 2	MONOFASICO	C2	60	912	6,14	10,35
luminarias arriba 2	MONOFASICO	C2	74,16	432	5,79	10,35

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

luminarias abajo	MONOFASICO	C4	72,39	162	3,34	10,35
luminarias comedor	MONOFASICO	C4	52,39	126	1,22	10,35
luminaria baño	MONOFASICO	C7	79,14	267,30	0,69	10,35
luminaria oficina	MONOFASICO	C7	70,35	240	2,21	10,35
luminarias zona trabajo 3	MONOFASICO	C7	84,57	760	1,76	10,35

TABLA 13. CAÍDAS DE TENSIÓN DE CADA LÍNEA

NOTA: En las líneas con una sección menor a 120mm² se han despreciado las pérdidas debidas a la reactancia del cable por ser muy inferiores en comparación a las de la resistencia.

5.5. INSTALACIONES DE ENLACE

El diseño de las conexiones eléctricas incluye los siguientes aspectos:

1. Proyección de la carga para abastecimientos de baja tensión:

Este proceso, regido por las directrices de la ITC-BT-10, consiste en prever las demandas de energía para sistemas de baja tensión (BT), con el fin de asegurar una conexión adecuada y prevenir alteraciones en caso de aumentos en la demanda de potencia. En este caso, no fue necesario llevar a cabo esta etapa, ya que las demandas reales son conocidas gracias a los datos de los dispositivos receptores. Además, se considerarán las demandas estimadas de los usuarios a través de las tomas de corriente.

2. Esquemas de las instalaciones de enlace:

Según las indicaciones de la ITC-BT-12, estas instalaciones vinculan la caja general de protección con las instalaciones internas. Sin embargo, en este contexto, estas instalaciones tienen su inicio al final de la acometida, por lo que no fue necesario diseñarlas, ya que la instalación eléctrica de baja tensión se inicia en el punto de salida del transformador.

3. Componentes como cajas generales de protección, línea principal de suministro, derivaciones individuales, medidores, dispositivos generales e individuales de control y protección, así como interruptores de control de potencia.

Igual que el resto de la instalación de enlace, estos elementos se ubican antes del punto de salida del transformador (según la ITC-BT-13, ITC-BT-14, ITC-BT-15, ITC-BT-16 e ITC-BT-17).

5.6. PROTECCIONES

5.6.1. SISTEMAS DE CONEXIÓN DEL NEUTRO Y DE LAS MASAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para iniciar el diseño de la instalación eléctrica, el primer paso es elegir cómo se va a distribuir la energía. Según las reglas de la ITC-BT-08, como en este caso la instalación del estudio se conecta desde su propia subestación de transformación, hay tres opciones: TT, TN e IT.

La diferencia clave entre estas opciones es cómo se conecta el neutro del transformador (primera letra) y las partes de baja tensión (segunda letra) con respecto a la tierra. Si la primera letra es "T", el neutro se conecta directamente a tierra. Si es "I", el neutro se mantiene separado de la tierra. En cuanto a la segunda letra, si es "T", las partes de baja tensión se conectan directamente a tierra, mientras que, si es "N", están conectadas a través del neutro del transformador.

Hemos optado por el esquema TT (esquema reflejado en la figura 17), que es adecuado para instalaciones industriales de tamaño moderado, como este estudio. Elegimos este esquema porque hace el mantenimiento más simple y la separación de la conexión a tierra entre el neutro y las partes de baja tensión ayuda a que las protecciones funcionen mejor ante posibles problemas, lo que aumenta la seguridad. Bajo este esquema TT, la corriente en caso de problemas está limitada tanto por los cables como por las resistencias de conexión a tierra, incluyendo las de las partes de baja tensión (RA), el neutro del transformador (RB) y la resistencia de defecto (RD). En comparación, en el esquema TN, donde las partes de baja tensión no están conectadas directamente a tierra, la corriente en caso de problemas sería mayor. Descartamos el esquema IT porque su principal ventaja, que mantiene la energía fluyendo aún si hay un problema, no es crucial en este estudio y no justifica el costo adicional.

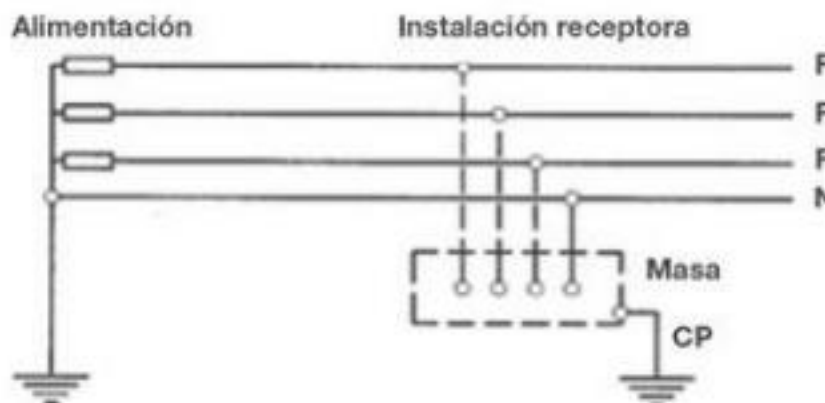


FIGURA 18: ESQUEMA DE DISTRIBUCION TT (FUENTE: LIBRO TE)

5.6.2. INSTALACION PUESTA A TIERRA

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) establece la "Puesta a Tierra" (P.A.T) como la conexión eléctrica que une el punto neutro de un circuito eléctrico o elementos conductores no relacionados, sin la incorporación de fusibles ni protecciones adicionales.

Los propósitos primordiales de esta conexión son:

- Prevenir la aparición de diferencias significativas de voltaje tanto en el sistema eléctrico como en sus alrededores.
- Dirigir las corrientes que surgen de fallos hacia el suelo.
- Asegurar que los dispositivos de protección en la edificación funcionen adecuadamente.

De acuerdo con la normativa UNE 20-460, es obligatorio que la instalación eléctrica del estudio cuente con una conexión a tierra de baja tensión y otra en el centro del transformador. El diseño se llevará a cabo conforme a las pautas detalladas en la ITC-BT-18

PUESTA A TIERRA DEL NEUTRO DEL TRANSFORMADOR (RB)

La ITC-BT-18 presenta diversas alternativas para implementar esta conexión a tierra. La elección ha recaído en conectar el neutro a tierra mediante la utilización de un electrodo. Esta decisión se fundamenta en que al tener el neutro conectado a tierra, en caso de que surja una corriente defectuosa, esta se dirigirá hacia el suelo a través del neutro. Esto simplifica la activación de las protecciones y disminuye el desgaste de los materiales. La instrucción demanda la presencia de un sistema de puesta a tierra propio. Además, según la instrucción MIE-RAT 12, dado que la puesta a tierra se lleva a cabo de manera independiente mediante una impedancia moderada, no será requerido un sistema adicional de pararrayos para prevenir sobretensiones.

En último término, la instalación de la puesta a tierra se realizará siguiendo las disposiciones de la norma UNE-EN 60298, distribuyéndola a lo largo de las celdas del centro de transformación (CT). El electrodo seleccionado es una pica vertical con una longitud de 14 metros.

PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DE BAJA TENSIÓN (RA)

En el caso de RA, todas las partes conductoras de baja tensión se conectan a tierra. Esto se hace para evitar que ocurran voltajes peligrosos en caso de que haya problemas con el aislamiento. Si no se conectaran estas partes a tierra y hubiera un problema, la corriente no se iría al suelo. En su lugar, podría pasar por la persona que toca la parte dañada, lo cual sería peligroso.

Para hacer esto, usaremos una cinta de acero que tiene un tamaño de 30x3,5 mm². Esta cinta se va a enterrar en las zanjas de cimentación. La longitud de esta será igual al perímetro del edificio, que es 189,42 metros.

PUESTA A TIERRA DE LAS MASAS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Para el caso de RT, todas las partes metálicas dentro del centro de transformación (CT) se conectan a tierra utilizando un método separado de la conexión de RA. Es importante tener en cuenta que el transformador proporciona energía para toda la instalación, lo que significa que las corrientes más grandes fluyen a través del CT. Esto resulta en una mayor tensión peligrosa en caso de un problema, lo cual podría ser fatal si alguien entra en contacto con ella.

Si combináramos la conexión a tierra de RA y RT en una sola, sin las protecciones adecuadas, esta alta tensión de contacto podría propagarse a las partes de baja tensión que están en contacto con personas, lo cual sería inaceptable.

Para solucionarlo, vamos a usar un tipo de electrodo normalizado en forma de anillo rectangular, que se instala en una zanja perimetral del CT. Además, vamos a poner cuatro picas de 8 metros de largo en cada esquina del anillo.

El resultado de las distintas instalaciones de puesta a tierra queda resumido:

RA (Ω)	RB (Ω)	RT (Ω)
4,22	28,57	22,40

TABLA 14: VALORES DE RESISTENCIAS DE LAS PUESTAS A TIERRA

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA PUESTA A TIERRA

TOMA DE TIERRA

En el diseño de la instalación a tierra, la ITC-BT-01 establece que una "toma de tierra" es un tipo de electrodo que está en contacto con el suelo y garantiza la conexión eléctrica con él. Para mejorar la conducción de la corriente de fallo hacia el suelo, se utilizarán electrodos hechos de metal. Estos electrodos metálicos facilitarán que la corriente anormal fluya más efectivamente hacia la tierra.

Para asegurarnos de que esta toma de tierra sea eficaz, la resistencia de este electrodo debe cumplir con ciertas condiciones. Se espera que esta resistencia (RT) sea mucho menor que la resistencia de aislamiento del esquema de distribución (Radm). Además, se tendrá en cuenta el sistema de protección contra contactos indirectos, que se examinará en detalle más adelante.

$$RT \approx \delta \cdot F (\text{Dimensiones}) \ll Radm$$

BORNE PRINCIPAL DE TIERRA

El "borne principal de tierra" es el punto de conexión que une el conductor de tierra con los conductores de protección y los conductores de equipotencialidad principal en la instalación. En este caso, se ha decidido utilizar una regleta de conexión como borne principal de tierra. Se opta por esta regleta en lugar de las regletas tradicionales de empalme o las barras de conexión debido a que ofrece una mayor confiabilidad y permite una conexión y desconexión más rápida.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

CONDUCTORES DE PROTECCIÓN (CP)

Son los cables responsables de unir las masas de la instalación con la puesta a tierra. Esto se hace para garantizar que, en caso de un problema eléctrico, las partes metálicas no puedan electrificarse y causar peligros. Vamos a instalar estos cables en el mismo lugar donde están los cables activos.

El dimensionamiento de estos cables se realiza según la ITC-BT-28:

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

TABLA 15: VALORES DE SECCIÓN DEL CONDUCTOR DE PROTECCIÓN

En el caso de que la sección del conductor de protección no coincida con un valor normalizado de las secciones se escoge la sección inmediatamente superior.

MÁQUINA	SECCIÓN DE LA FASE	SECCIÓN DE PROTECCIÓN
mochis1	1,5	1,5
mochis2	1,5	1,5
mochis3	1,5	1,5
transportador	1,5	1,5
túnel congelación	6	6
Cinta Transporte 1	1,5	1,5
Cinta Transporte 2	1,5	1,5
Cinta Transporte 3	1,5	1,5
Cinta Transporte 4	1,5	1,5
Envolvedora	2,5	2,5
Dispensador Bandeja	1,5	1,5

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Transportador Vibrante	10	10
Impresora 1	1,5	1,5
Cinta Transporte 5	1,5	1,5
Cinta Transporte 6	1,5	1,5
Impresora 2	1,5	1,5
Impresora 3	1,5	1,5
Estuchadora	6	6
Formador y cerradora Cajas	1,5	1,5
Control peso y de metales	4	4
Congelador	1,5	1,5
Congelador	1,5	1,5
Congelador	1,5	1,5
Congelador	1,5	1,5
condensador	4	4
toma simple1 comedor	4	4
toma simple2 comedor	4	4
toma simple3 oficina	4	4
toma simple4 aseo	4	4
toma simple5 aseo	4	4
toma doble1 comedor	2,5	2,5
toma doble2 comedor	2,5	2,5
toma doble3 oficina	4	4
cg	150	95
c1	16	16

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

c2	1,5	1,5
c3	35	16
c4	35	16
c5	6	6
c6	25	16
c7	16	16
luminarias almacén	1,5	1,5
luminarias arriba1+ct	1,5	1,5
luminarias zona trabajo 1	1,5	1,5
Luminaria zona trabajo 2	1,5	1,5
luminarias arriba 2	1,5	1,5
luminarias abajo	1,5	1,5
luminarias comedor	1,5	1,5
luminaria baño	1,5	1,5
luminaria oficina	1,5	1,5
luminarias zona trabajo 3	1,5	1,5

TABLA 16: SECCIONES DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

CONDUCTOR DE TIERRA

Son conductores que parten del borne principal de conexión a tierra y se enlazan con los electrodos presentes en la instalación. Siguiendo la guía ITC-BT-18, estos cables se dimensionan de manera similar a los cables de protección. Sin embargo, debido a que parte del electrodo se encuentra enterrado en la zanja de cimentación, la normativa permite usar una sección mínima de 25 mm² (de cobre sin protección contra corrosión) siempre y cuando se verifique que satisface los requisitos térmicos.

Para mejorar la conducción eléctrica, se usará cobre como material conductor, y el aislamiento será de tipo XLPE para intentar reducir la sección necesaria. Si se siguiera las pautas de los cables de protección, se obtendría la mayor sección de los cables de protección. Sin embargo, se busca usar una sección menor debido a la parte enterrada del cable. Se evalúa si la sección mínima de 25 mm² cumple con los

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

requerimientos. En esta configuración, la cantidad de energía Joule (I^2t) puede alcanzar el valor antes de deteriorarse, que es $(I^2t)_{adm} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 25)^2 = 1,278 \times 10^7 \text{ A}^2 \cdot \text{S}$.

Si ocurre un problema de aislamiento, una corriente defectuosa de 7,013 A será dirigida a tierra a través de los cables de conexión a tierra. Las protecciones intervendrán en un breve intervalo de tiempo, pero en cualquier caso, dado que se trata de una corriente defectuosa tan pequeña, $(I^2t) \ll (I^2t)_{adm}$, lo que hace que la sección de 25 mm^2 sea adecuada.

ESTRUCTURA Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

En la figura se dispone el esquema de las partes que se han ido nombrando y que figuran en una instalación de puesta a tierra.

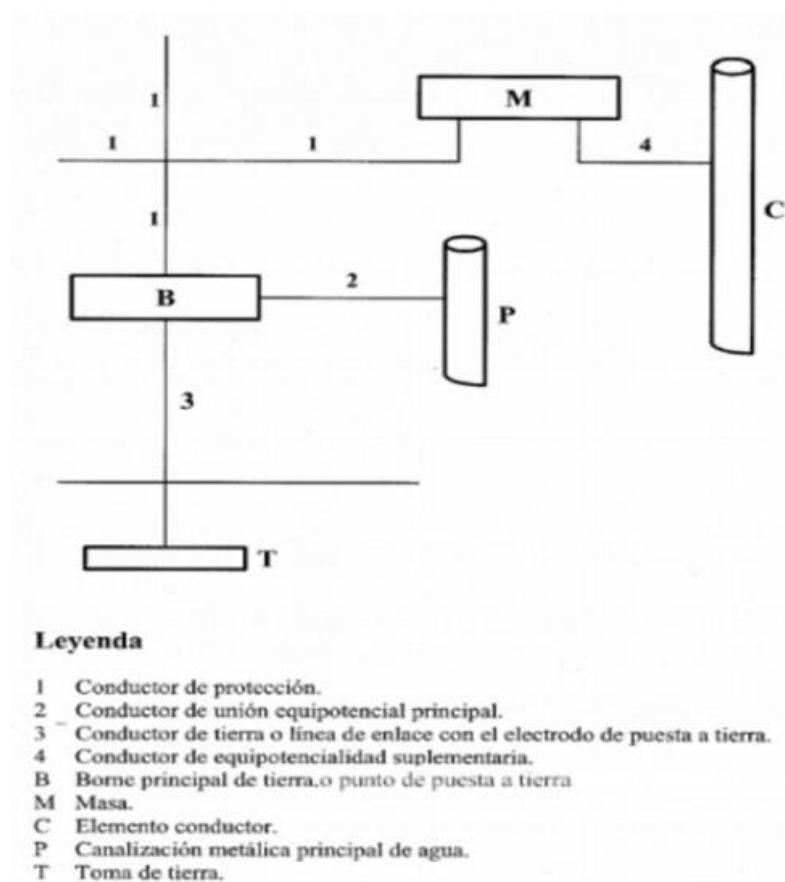


FIGURA 19: PARTES QUE CONFORMAN LA PUESTA A TIERRA (FUENTE: LIBRO TE)

CONDICIONES RELATIVAS A LA SEGURIDAD

El electrodo seleccionado para la conexión a tierra de las partes del transformador (CT) debe satisfacer tres condiciones fundamentales para asegurar la seguridad de las personas:

1. La tensión máxima en el camino a través del suelo no debe superar el límite establecido para garantizar la seguridad (tensión de paso admisible):

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

$$V_{pm} \leq V_{padm} \rightarrow 1554,86 \text{ V} \leq 28310 \text{ V} \text{ (12)}$$

2. La tensión máxima que podría experimentarse al tocar el suelo debe ser menor que un valor límite predefinido (tensión de contacto admisible):

$$V_{cm} \leq V_{cadm} \rightarrow 2820,77 \text{ V} \leq 819,5 \text{ V} \text{ (13)}$$

3. La corriente de defecto que podría surgir debido a un fallo total de aislamiento debe ser mayor que la corriente necesaria para activar los interruptores de protección:

$$I_d \geq I_a \rightarrow 343,99 \text{ A} \geq 0,7 \text{ A} \text{ (14)}$$

Por lo tanto, como la segunda condición no se cumple, sería necesario realizar ajustes en la conexión a tierra. Sin embargo, la normativa ITC-BT-18 permite hacer excepciones a esta condición si se implementan medidas adicionales para garantizar la seguridad de las personas.

Una de estas medidas adicionales implica la instalación de un mallazo electrosoldado, el cual se conecta a dos puntos opuestos del electrodo y se recubre con una capa de hormigón de 10 cm de espesor. Esto convierte al CT en una superficie equipotencial, asegurando que no haya diferencias significativas de potencial eléctrico entre diferentes puntos en su superficie.

Con estas nuevas condiciones, se deben cumplir los siguientes requisitos:

1. La tensión de paso máxima en el exterior del CT debe ser menor que la tensión de paso admisible.

$$V_{pm,ext} \leq V_{padm} \rightarrow 1554,86 \text{ V} \leq 28310 \text{ V}$$

2. La tensión de paso máxima en los puntos de acceso desde la planta y la acera debe ser inferior a los valores admisibles. Esto debe comprobarse para ambos accesos al CT.

$$V_{p(acc)m} = V_{cextm} \leq V_{p(acc)a} \rightarrow 2820,77 \text{ V} \leq 19370 \text{ V}$$

$$V_{p(acc)m} = V_{cextm} \leq V_{p(acc)p} \rightarrow 2820,77 \text{ V} \leq 28310 \text{ V}$$

En resumen, con la implementación del mallazo electrosoldado, la conexión a tierra cumple con los requisitos de seguridad establecidos.

DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Una vez que se han calculado y dimensionado todos los componentes necesarios para establecer la conexión a tierra, es momento de instalarlos en el edificio industrial de tal manera que las tensiones transmitidas entre los sistemas de puesta a tierra no representen un riesgo. La normativa establece condiciones de cumplimiento debido a que las tomas de tierra no operan de manera independiente y pueden transferir tensiones a sistemas cercanos. Esta transferencia de tensión debe ser controlada, especialmente en el caso de la toma de tierra de las partes del transformador (CT), donde las corrientes de defecto son significativamente altas y, por lo tanto, las tensiones transferidas serían inaceptables. La ITC-BT-18 considera que dos tomas de tierra son independientes cuando la tensión transferida no supera los 50 V en relación con las tomas de tierra del neutro del transformador y las masas de baja tensión (BT).

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Para asegurar la independencia de las tomas de tierra RT (toma de tierra de las masas del CT) y RA (toma de tierra de las masas del BT), la distancia mínima entre los electrodos debe cumplir con ciertas condiciones. En terrenos con alta resistividad ($400 \Omega \cdot m$), la distancia mínima D se calcula utilizando la fórmula:

$$D = \rho_1 \cdot I_d / 2 \cdot \pi \cdot U = 400 \cdot 343,996 / 2 \cdot \pi \cdot 1200 = 18,25 \text{ m (15)}$$

Donde ρ_1 es la resistividad del suelo y U es la tensión de 1200 V, aplicada en sistemas de distribución TT, con un tiempo de eliminación de fallos en la instalación de alta tensión de hasta 5 segundos.

Por otro lado, para garantizar que RA sea independiente de RT, la distancia mínima entre estas dos tomas de tierra debe ser según las recomendaciones de "UNESA":

$$D = \rho_1 \cdot I_d / 2000 \cdot \pi = 400 \cdot 343,996 / 2000 \cdot \pi = 21,9 \text{ m}$$

Esta fórmula asegura que la tensión transferida al neutro se mantenga en un valor que no comprometa la integridad de los aislamientos en la instalación de baja tensión (BT).

Por último, en contraposición al último criterio de separación entre RT y RB, la ITC-BT-18 sugiere que se pueden unir estas dos tomas de tierra en una toma común si la tensión transferida es inferior a 1000 V. Esto se hace para reducir los costos. Sin embargo, para confirmar esto, se evalúa si la tensión transferida ($V_{d,MT}$) es mayor a 1000 V:

$$V_{d,MT} = I_d \cdot R_{t,MT} = 22,4 \cdot 343,996 = 7705,52 \text{ V} > 1000 \text{ V (16)}$$

Dado que $V_{d,MT}$ supera los 1000 V, no es posible implementar una toma de tierra común.

La intensidad de defecto (I_d) a través de una masa del CT se puede calcular como:

$$I_d = U / \sqrt{3} \cdot \sqrt{((R_n + R_t)^2 + X_n^2)} = 20000 / \sqrt{3} \cdot \sqrt{(22,4^2 + 25^2)} = 343,996 \text{ A (17)}$$

Donde R_n y X_n son las impedancias de la red de alta tensión con el neutro que alimenta al CT puesto a tierra. Se ha omitido el valor de R_d , que es la resistencia de defecto de aislamiento, ya que es insignificante en comparación con las otras resistencias.

PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS

Garantizar la seguridad frente a contactos directos e indirectos es un requisito obligatorio según lo establecido en la normativa ITC-BT-24. Es esencial comprender los dos tipos de contactos para diseñar las protecciones adecuadas.

Los contactos directos ocurren cuando una persona entra en contacto con cualquier parte de la instalación eléctrica que normalmente está bajo tensión, como conductores o enchufes. En cambio, los contactos indirectos suceden cuando una persona toca una parte de la instalación que, en condiciones normales, no debería estar bajo tensión, pero lo está debido a un fallo de aislamiento, lo que puede representar un peligro.

5.6.3. PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS DIRECTOS

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

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

Para elegir el método de protección, se debe tener en cuenta la clase de edificio de estudio.

La elección del método de protección depende del tipo de edificio. En un entorno industrial restringido al público, se ha considerado que el personal en la zona de procesos industriales está más familiarizado con los riesgos eléctricos, mientras que, en áreas adyacentes, el personal puede carecer de conocimientos. Por precaución, se ha implementado una protección con envolventes con grado de protección IPXXB, cumpliendo con la normativa UNE 20.324 para mantener partes activas peligrosas dentro de estas envolventes.

PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS

Se optó por cortar la alimentación en caso de fallo de aislamiento, cumpliendo con la ITC-BT-24. Este corte debe ocurrir cuando se detecta una tensión mayor que la tensión límite convencional en un tiempo menor al tiempo admisible (t_a) para evitar daños a la persona, este tiempo se obtiene de las curvas de seguridad del dispositivo entrando con la tensión de contacto correspondiente. Además, todas las masas accesibles deben conectarse a la misma puesta de tierra.

INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Se seleccionaron interruptores automáticos de protección diferencial para detectar corrientes diferenciales debido a fallos de aislamiento y cortar la alimentación para proteger la instalación. Se decidió instalar varios interruptores a diferentes niveles para permitir un corte selectivo y mantener la continuidad del servicio.

Esta intensidad se calcula de forma que no se supere la tensión límite convencional mediante la expresión:

$$I\Delta N \cdot RA \leq UL(\text{Local seco, } 50 \text{ V o local húmedo, } 24\text{V})$$

Si se detecta esta intensidad, el interruptor diferencial (ID) corta la alimentación de forma que queda protegida toda la instalación aguas abajo del dispositivo.

Así pues, según lo dicho, con un solo dispositivo de protección instalado en el inicio de la instalación podría quedar protegida toda la instalación. Si se optara por esta opción, aunque bien sería seguro y aceptado por la norma, sería totalmente ineficiente al tratarse de una instalación con una considerable extensión. Con un solo dispositivo, cualquier fallo de aislamiento, por pequeño que fuera, provocaría el accionamiento del dispositivo y el corte de alimentación de toda la instalación. Evidentemente esto no puede ser aceptable, y por tanto lo que se va a hacer es disponer de distintos niveles de interruptores diferenciales de manera que se realice un corte selectivo de la instalación.

Para garantizar la protección en diferentes niveles, se instaló un conjunto de dispositivos en el origen y otro conjunto en niveles más bajos. Esto asegura que los fallos en niveles superiores sean cubiertos por

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

el dispositivo del origen, los cuales ocurren con muy poca frecuencia, y los fallos en cargas sean atendidos por los dispositivos en niveles inferiores, evitando cortes totales y manteniendo la continuidad del servicio.

Según este planteamiento, se podría pensar en disponer diferenciales en serie en todas las líneas secundarias para lograr una mayor continuidad en el servicio, pero encarecería excesivamente la instalación eléctrica. Entonces, el diseño se centró en una relación costo-eficiencia, agrupando receptores cercanos en dispositivos diferenciales para evitar excesos o ineficiencias en la protección. Se consideraron las potencias de los receptores para determinar la mejor agrupación en los dispositivos diferenciales.

Se va a ejemplificar el diseño con el caso del CD1, se ha instalado un ID en el origen del cuadro, de esta forma cubre cualquier fallo de aislamiento que se produzca en cualquiera de los receptores no tienen ningún ID destinado a su particular protección. Se han agrupado con un solo ID las tres formadoras de mochis, dejando el túnel de congelación y el transportador libres. La agrupación de varios receptores se ha hecho en base a no disponer de un número demasiado elevado de ID innecesarios, agrupándose los receptores según su proximidad y tipo de forma que un dispositivo diferencial no cubra una excesiva potencia, lo cual sería comprometido en vistas a la protección.

Para el caso de las líneas alumbrado, los ID se han instalado con otro planteamiento. En este caso, aunque las líneas son muy pequeñas, se han instalado los diferenciales agrupando las líneas según las zonas a alumbrar. De esta forma, ante un posible fallo no quedará toda la zona sin luz.

Así pues, no se dejará ninguna línea sin protección, independientemente de lo pequeña que sea la línea, para garantizar así una mayor continuidad de servicio, que, por su aplicación, resulta aconsejable.

Los interruptores son diseñados de acuerdo con la expresión anterior, asegurando una adecuada selectividad de disparo para aquellos interruptores que funcionen en serie con otro. En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

INTERRUPTOR DIFERENCIAL	MODELO	SELECTIVIDAD
ID1	Bloque diferencial electrónico ajustable 4P 400 A I Δ N = 1000mA	SI
ID2,4,5,8	iID 4P 80 A I Δ N = 300mA	SI
ID3, ID6, ID9	F204 AC- s-40 I Δ N = 300mA	SI
ID7	DDA204 AC-S-63 I Δ N = 300mA	SI
ID10,11,12,13,14,15,16	F204 AC-25 I Δ N = 100mA	NO
ID17,18	F204 AC-40 I Δ N = 100mA	NO

TABLA 17. MODELOS DE DIFERENCIALES USADOS

5.6.4 PROTECCIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES

El sistema de protección contra sobrecargas se ha concebido siguiendo las directrices establecidas por la ITC-BT-22, la cual distingue dos formas de protección: contra sobrecargas y cortocircuitos (cc). Cuando ocurre una falla, las corrientes anormales circulan por la instalación eléctrica, superando los valores normales de funcionamiento. Aunque la instalación está diseñada para tolerar sin inconvenientes las corrientes normales de diseño, se requiere la activación de protecciones para evitar daños, especialmente en los conductores.

La elección del dispositivo de corte —ya sea fusibles, interruptores automáticos (IA) o pequeños interruptores automáticos (PIA)— se basa en la preferencia por los PIA siempre que sea viable. Estos

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

dispositivos son más fáciles de instalar y pueden ser manejados por personal sin formación en electricidad, lo que facilita el mantenimiento.

Sin embargo, los PIA normalizados tienen límites en su capacidad de corte, alcanzando hasta 25 KA y una corriente máxima de 125 A, lo que limita su aplicación en líneas de mayor potencia. En estos casos, se puede optar por IAs o fusibles. Aunque los fusibles tienen un coste inicial menor, su mantenimiento es más costoso y pueden presentar inconvenientes, como el funcionamiento de las fases restantes si una falla afecta a solo una fase.

El diseño de las protecciones de las líneas se ha planificado para que un solo dispositivo maneje tanto las sobrecargas como los cortocircuitos, lo cual resulta más rentable que usar dos dispositivos separados. En este proceso, se inicia seleccionando el dispositivo en función de las sobrecargas, pero es crucial verificar la corriente máxima de cortocircuito para asegurar que el dispositivo elegido tenga el poder de corte necesario. Esto es crucial ya que, a pesar de cumplir con las sobrecargas, podría no tener suficiente capacidad para proteger contra cortocircuitos si la corriente máxima de cortocircuito supera sus capacidades.

PROTECCIÓN FRENTE A SOBRECARGAS

La ocurrencia de una sobrecarga se da cuando un conductor experimenta una corriente superior a la prevista durante un intervalo sin que exista una falla. El diseño de las protecciones tiene como objetivo evitar que la temperatura del conductor supere su valor admisible (T_{ad}) durante su tiempo de calentamiento (t_{cal}), lo que podría dañar el aislamiento. Se requiere que un dispositivo de protección actúe antes de que se alcance esta degradación. Aunque calcular t_{cal} directamente resulta complicado, se plantea la comprobación:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (18)$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad (19)$$

I_n es la intensidad nominal del dispositivo, I_2 la intensidad que garantiza el accionamiento del dispositivo, que en el caso de PIAs normalizados tiene un valor de $I_2 = 1,45 \cdot I_n$, y para los IAs normalizados un valor de $I_2 = 1,3 \cdot I_n$. En función de estas intensidades, obtendremos un dispositivo capaz de soportar estas sobrecargas, y que luego se verificará para la protección frente a cc. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 18

MÁQUINA/ALUMBRADO/CUADRO	IB	IZ	IN	I2	1,45IZ
mochis1	8,99	12,03	10	14,5	17,44
mochis2	8,99	12,03	10	14,5	17,44
mochis3	8,99	12,03	10	14,5	17,44
transportador	5,13	12,03	10	14,5	17,44

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

túnel congelación	37,98	43,00	40	58	62,35
Cinta Transporte 1	2,66	12,03	10	14,5	17,44
Cinta Transporte 2	2,66	12,03	10	14,5	17,44
Cinta Transporte 3	2,66	12,03	10	14,5	17,44
Cinta Transporte 4	2,66	12,03	10	14,5	17,44
Envolvedora	15,93	16,25	16	23,2	23,56
Dispensador Bandeja	4,14	12,03	10	14,5	17,44
Transportador Vibrante	40,44	48,75	50	72,5	94,25
Impresora 1	2,61	12,68	10	14,5	18,38
Cinta Transporte 5	2,66	11,10	10	14,5	16,10
Cinta Transporte 6	2,66	11,10	10	14,5	16,10
Impresora 2	2,61	11,70	10	14,5	16,10
Impresora 3	2,61	13,65	10	14,5	18,78
Estuchadora	22,79	25,80	25	36,25	37,41
Formadora y cerradora Cajas	4,56	12,95	10	14,5	18,78
Control peso y de metales	18,34	21,60	20	29	31,32
Congelador	6,93	14,80	13	18,85	21,46
Congelador	6,93	14,80	13	18,85	21,46
Congelador	6,93	14,80	13	18,85	21,46
Congelador	6,93	14,80	13	18,85	21,46
condensador	27,42	34,00	32	46,4	49,30
toma simple1 comedor	16	16,20	16	23,2	23,49
toma simple2 comedor	16	16,20	16	23,2	23,49
toma simple3 oficina	16	18,72	16	23,2	27,14

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

toma simple4 aseo	16	18,72	16	23,2	27,14
toma simple5 aseo	16	18,72	16	23,2	27,14
toma doble1 comedor	16	16,20	16	23,2	23,49
toma doble2 comedor	16	16,20	16	23,2	23,49
toma doble3 oficina	16	18,72	16	23,2	27,14
cg	306,20	344	320	416	498,80
c1	63,66	94,16	80	116	136,53
c2	12,93	20,24	16	23,2	29,348
c3	63,38	95,90	80	116	139,06
c4	65,25	95,90	80	116	139,06
c5	27,71	36,96	32	46,4	53,59
c6	52,87	77	63	91,35	111,65
c7	69,51	94,16	80	116	136,53
luminarias almacén	2,00	26	25	36,25	37,70
luminarias arriba1+ct	1,95	20,80	20	29	30,16
luminarias zona trabajo 1	6,69	20,80	20	29	30,16
Luminaria zona trabajo 2	5,95	20,80	20	29	30,16
luminarias arriba 2	2,82	20,80	20	29	30,16
luminarias abajo	1,06	15,60	13	18,85	22,62
luminarias comedor	0,82	15,60	13	18,85	22,62
luminaria baño	1,74	13,52	13	18,85	19,60
luminaria oficina	1,57	13,52	13	18,85	19,60
luminarias zona trabajo 3	4,96	13,52	13	18,85	19,60

TABLA 18. INTENSIDADES NOMINALES DE LOS INTERRUPTORES (PIA Y IA)

PROTECCIÓN FRENTE A CORTOCIRCUITOS

Para que la protección contra cortocircuitos sea efectiva, deben cumplirse diversas condiciones, especialmente al emplear IAs (o PIAs):

1. Poder de corte $> I_{cc,max}$: Asegura que el IA puede cortar la máxima corriente posible.
2. $I_{cc,min} > I_a$: Garantiza que el dispositivo actúe ante cualquier intensidad de cortocircuito, incluso las pequeñas.
3. $I_{cc,max} < I_B$: Asegura que el interruptor pueda cortar la corriente de cortocircuito en un tiempo suficiente para evitar la degradación del conductor, es decir, $t_{ac} < t_{cal}$.

Esta meticulosa consideración de las características de los dispositivos de protección asegura la integridad y la eficiencia de la instalación eléctrica, minimizando los riesgos ante posibles fallos y optimizando su rendimiento.

Estas condiciones gráficamente corresponden a:

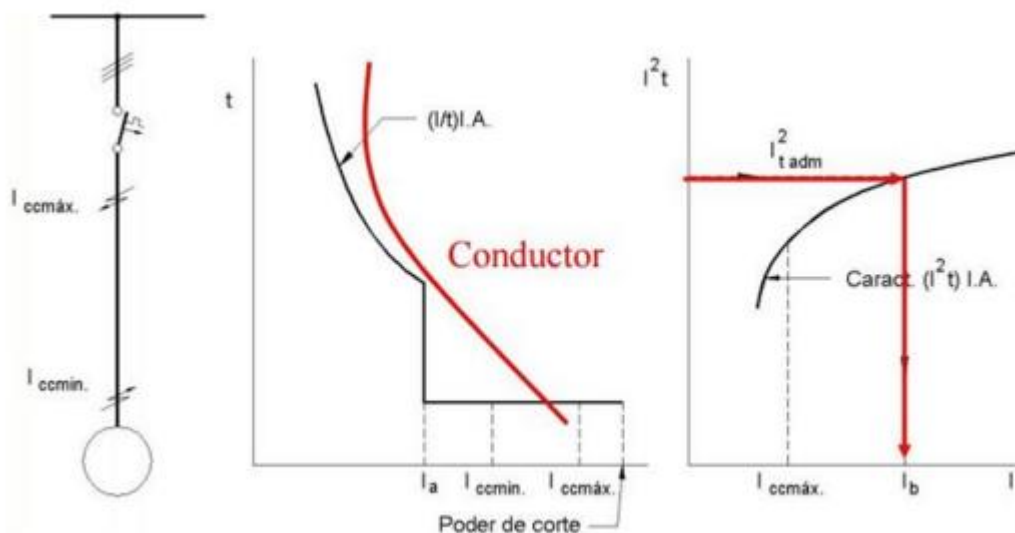


FIGURA 20: PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS (FUENTE: LIBRO TE)

En la siguiente tabla aparecen los parámetros que se han calculado para comprobar las corrientes de cortocircuito. Los siguientes datos ya están actualizados en el caso de que se haya tenido que realizar un cambio de sección en el anterior apartado para que el aparato sea apto frente a sobrecargas:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

LÍNEA	RK	XK	ZK	ICCMIN	ICCMAX
cg	0,016	0,038	0,041	2831,12	5704,75
c1	0,053	0,042	0,067	1715,85	5662,24
c2	0,295	0,039	0,298	387,81	5662,24
c3	0,024	0,040	0,047	2476,70	5662,24
c4	0,036	0,042	0,056	2081,14	5662,24
c5	0,077	0,039	0,087	1334,55	5662,24
c6	0,042	0,042	0,059	1947,65	5662,24
c7	0,085	0,045	0,096	1201,45	5662,24
condensador	0,023	0,038	0,044	514,96	5662,24
c1+mochis1	0,257	0,043	0,260	418,64	3431,71
c1+mochis2	0,229	0,043	0,226	482,05	3431,71
c1+mochis3	0,155	0,043	0,160	678,56	3431,71
c1+trans	0,216	0,043	0,220	494,91	3431,71
c1+túnel	0,103	0,043	0,112	1033,46	3431,71
c2+lum.alm	0,623	0,039	0,624	185,13	775,61
c2+lum.ar1+ct	0,550	0,039	0,551	209,48	775,61
c2+zt1	0,700	0,039	0,701	164,81	775,61
c2+zt2	0,743	0,039	0,744	155,15	775,61
c2+lum.ar2	0,907	0,039	0,908	127,23	775,61
c3+ct1	0,144	0,041	0,150	726,01	4953,40
c3+ct2	0,096	0,040	0,104	1050,22	4953,40
c3+ct3	0,077	0,040	0,087	1256,47	4953,40
c3+ct4	0,143	0,041	0,148	734,91	4953,40

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

c3+env	0,085	0,040	0,094	1162,58	4953,40
c3+disba	0,099	0,040	0,106	1023,26	4953,40
c3+transv	0,051	0,042	0,066	1651,77	4953,40
c3+im1	0,097	0,040	0,105	1097,36	4953,40
c4+lum.ab	0,451	0,042	0,453	254,70	4162,28
c4+lum.com	0,212	0,042	0,216	533,63	4162,28
c4+ts1c	0,050	0,043	0,066	1757,59	4162,28
c4+ts2c	0,060	0,043	0,074	1568,45	4162,28
c4+td1c	0,065	0,043	0,078	1488,05	4162,28
c4+td2c	0,160	0,044	0,165	698,18	4162,28
c5+cong1	0,158	0,040	0,163	710,05	2669,10
c5+cong2	0,209	0,040	0,212	543,92	2669,10
c5+cong3	0,158	0,040	0,163	710,05	2669,10
c5+cong4	0,209	0,040	0,212	543,92	2669,10
c6+ct5	0,220	0,043	0,224	485,51	3895,30
c6+ct6	0,207	0,043	0,212	514,10	3895,30
c6+im2	0,153	0,043	0,159	728,55	3895,30
c6+im3	0,208	0,043	0,212	544,21	3895,30
c6+est	0,085	0,043	0,096	1139,55	3895,30
c6+for	0,134	0,043	0,140	776,40	3895,30
c6+cont	0,090	0,043	0,100	1154,32	3895,30
c7+lum.BAÑO	0,351	0,045	0,354	326,42	2402,91
c7+lum.OFI	0,245	0,045	0,250	462,87	2402,91
c7+lum.ZT3	0,425	0,045	0,427	270,33	2402,91

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

c7+ts3o	0,125	0,046	0,133	867,43	2402,91
c7+ts4a	0,112	0,045	0,128	900,95	2402,91
c7+ts5a	0,147	0,046	0,154	747,94	2402,91
c7+td3	0,158	0,046	0,164	702,50	2402,91

TABLA 19: VALORES DE INTENSIDADES MÍNIMAS Y MÁXIMAS DE CORTOCIRCUITO

En función de estos parámetros, se eligen los adecuados dispositivos de protección:

LÍNEA	IN	INTERRUPTOR	CURVA	I2tadm
mochis1	10	S200	D	46010,25
mochis2	10	S200	D	46010,25
mochis3	10	S200	D	46010,25
transportador	10	S200	D	46010,25
túnel congelación	40	S200	C	736164
Cinta Transporte 1	10	S200	D	46010,25
Cinta Transporte 2	10	S200	D	46010,25
Cinta Transporte 3	10	S200	D	46010,25
Cinta Transporte 4	10	S200	D	46010,25
Envolvedora	16	S200	D	127806,25
Dispensador Bandeja	10	S200	D	46010,25
Transportador Vibrante	50	S200	D	5234944
Impresora 1	10	S200	C	46010,25
Cinta Transporte 5	10	S200	D	46010,25
Cinta Transporte 6	10	S200	D	46010,25

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Impresora 2	10	S200	C	46010,25
Impresora 3	10	S200	C	46010,25
Estuchadora	25	S200	D	736164
Formadora y cerradora Cajas	10	S200	D	46010,25
Control peso y de metales	20	S200	C	327184
Congelador	13	S200	C	46010,25
Congelador	13	S200	C	46010,25
Congelador	13	S200	C	46010,25
Congelador	13	S200	C	46010,25
condensador	32	S200	C	327184
toma simple1 comedor	16	S200	C	327184
toma simple2 comedor	16	S200	C	327184
toma simple3 oficina	16	S200	C	327184
toma simple4 aseo	16	S200	C	327184
toma simple5 aseo	16	S200	C	327184
toma doble1 comedor	16	S200	C	127806,25
toma doble2 comedor	16	S200	C	127806,25
toma doble3 oficina	16	S200	C	327184
cg	320	DPX3 630	-	460102500
c1	80	S200	C	5234944
c2	16	S200	C	46010,25
c3	80	S200	C	25050025
c4	80	S200	C	25050025
c5	32	S200	C	736164

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

c6	63	S200	C	12780625
c7	80	S200	C	5234944
luminarias almacén	25	S200	C	46010,25
luminarias arriba1+ct	20	S200	C	46010,25
luminarias zona trabajo 1	20	S200	C	46010,25
Luminaria zona trabajo 2	20	S200	C	46010,25
luminarias arriba 2	20	S200	C	46010,25
luminarias abajo	13	S200	C	46010,25
luminarias comedor	13	S200	C	46010,25
luminaria baño	13	S200	C	46010,25
luminaria oficina	13	S200	C	46010,25
luminarias zona trabajo 3	13	S200	C	46010,25

TABLA 20: DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRENTE A CORTOCIRCUTOS Y SOBRECARGAS

6. CONCLUSIÓN

Se ha diseñado una instalación eléctrica de baja tensión que comprende desde la salida del transformador hasta cada uno de los elementos que es necesario alimentar, incluyendo las tomas de corriente necesarias para alimentar receptores que en un principio no pueden estar previstos, cumpliendo todas las especificaciones requeridas por el REBT.

La instalación diseñada se caracteriza especialmente por aportar una elevada de flexibilidad en el diseño tanto de los cuadros secundarios como de las protecciones previstas frente a las sobreintensidades, lo cual aporta unas elevadas prestaciones de servicio y una continuidad de servicio más que aceptable de acuerdo con las necesidades del edificio industrial.

Con el presente diseño se ha logrado que los posibles fallos que se puedan suceder tanto en los receptores como en las líneas no supongan una excesiva penalización para el resto de la instalación eléctrica de forma que no se deriven grandes daños económicos en lo referido tanto al proceso industrial como a los elementos que integran la instalación eléctrica.

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta en el diseño ha sido la búsqueda del máximo confort en la instalación. De esta forma, las canalizaciones se han diseñado de forma que su instalación no suponga un complejo entendimiento de acuerdo con el resto de las instalaciones presentes en la instalación (telefonía, agua) intentando evitar recorridos tortuosos. En el mismo sentido se ha realizado la

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

instalación de los cuadros de alumbrado, del CT o las protecciones de forma que mantenimiento sea el más sencillo posible (instalación lógica y eficiente de los cuadros secundarios de acuerdo con la distribución del edificio, instalación de PIAs para facilitar posibles recambios), etc.

Atendiendo a las prestaciones que es capaz de ofrecer la instalación eléctrica, se ha realizado el diseño de forma que los costes sean los menores posibles. Como opinión, la realización del presente proyecto me ha permitido adquirir un conocimiento más exhaustivo de las instalaciones eléctricas de baja tensión, y adquirir algunas de las competencias para las que está diseñado el grado en Tecnologías industriales:

- El empleo de diversas herramientas informáticas y programas de software
- Aprendizaje autónomo de temas no tratados durante el grado.
- Tomar decisiones de forma crítica, resolviendo problemas con iniciativa propia.

7. REFERENCIAS

Para la elaboración del presente proyecto, se utilizaron diversos recursos que se clasifican en normativas, bibliografía y catálogos industriales.

7.1. NORMATIVAS

[1] Real Decreto 842/2002, "Reglamento electrotécnico de baja tensión". Las secciones específicas empleadas son:

[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 sobrecorrientes".

[9] ITC-BT-24: "Protección contra los contactos directos e indirectos".

[10] Real Decreto 2267/2004, "Reglamentos de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales".

[12] Documento sobre el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría" emitido por UNESA.

[13] Normativa UNE 20460-5-523 (Edición noviembre 2004), relacionada con las instalaciones máximas admisibles en conductores para instalaciones eléctricas en edificios.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

7.2. BIBLIOGRAFÍA

[14] Folch, José Roger; Riera Guasp, Martín; Porta, Carlos Roldán. "Tecnología eléctrica". 4ª edición. Síntesis.

7.3. CATÁLOGOS INDUSTRIALES

ABB GROUP. Catálogo Técnico System Pro-M Compact.

Catálogo DPX3 de Legrand.

Catálogo XL3-S de Legrand.

DOCUMENTACIÓN N. 02: CÁLCULOS

1. INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

1.1. CÁLCULO ELEMENTOS PUESTA A TIERRA

Cálculo de RA:

El electrodo seleccionado tiene la forma de una cinta de acero con una sección de 30x3,5 mm² y se colocará enterrado en las zanjas de cimentación. La longitud del electrodo será igual al perímetro del edificio, que es de 189,420 metros. La normativa requiere que la profundidad mínima de las tomas de tierra sea de 0,5 metros.

Para calcular la resistencia de esta toma de tierra, se utiliza una expresión aproximada que considera el terreno y las características geométricas del electrodo, que en este caso es un conductor horizontal enterrado:

$$RA = 2 \cdot \rho / L = 2 \cdot 400 \Omega \cdot m / 189,42 = 4,22 \Omega$$

Donde ρ es la resistividad del terreno y L es la longitud del conductor en metros.

Cálculo de RB:

Para esta resistencia, se ha optado por un electrodo en forma de pica vertical, ya que requiere muy poco mantenimiento. La expresión estimada para calcular la resistencia de una pica vertical es:

$$RB = \rho / L = 400 / 14 = 28,57 \Omega$$

Donde L es la longitud de la pica en metros.

Al elegir la longitud de la pica, se consideraron varias opciones normalizadas, y se optó por una longitud de 14 metros para asegurarse de que RB sea menor a 30 Ω , como se aconseja para un funcionamiento óptimo de la conexión a tierra.

Cálculo de RT:

Debido a la extensa naturaleza de la construcción de Centros de Transformación (CT) por parte de abonados individuales, como es nuestro caso, a menudo se utilizan electrodos estandarizados que simplifican el proceso de diseño. En esta situación, hemos optado por la solución más común, que involucra un electrodo en forma de anillo rectangular, el cual será colocado en la zanja que rodea la base del CT.

Para obtener los parámetros específicos de este electrodo elegido, recurrimos a las tablas proporcionadas por "UNESA". Utilizando las dimensiones de nuestro CT (5x3 metros), hemos consultado las tablas en la página A2-A15 de dicha fuente. A continuación, presentamos los datos obtenidos de las tablas:

PARAMETROS CARACTERISTICOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Rectángulo de 5.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm².
 Diámetro picas = 14 mm.
 L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

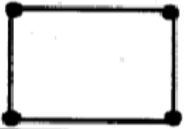
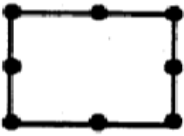
CONFIGURACION	L _p (m)	RESISTENCIA K _r	TENSION DE PASO K _p	TENSION DE CONTACTO EXT K _c = K _p (acc)	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.123	0.0252	0.0755	50-30/5/00
4 picas 	2	0.093	0.0210	0.0461	50-30/5/42
	4	0.076	0.0164	0.0329	50-30/5/44
	6	0.064	0.0134	0.0253	50-30/5/46
	8	0.056	0.0113	0.0205	50-30/5/48
8 picas 	2	0.082	0.0182	0.0371	50-30/5/82
	4	0.064	0.0132	0.0236	50-30/5/84
	6	0.053	0.0103	0.0169	50-30/5/86
	8	0.045	0.0084	0.0130	50-30/5/88

FIGURA 21: PUESTA A TIERRA DEL CT (FUENTE: UNESA)

La elección de la configuración más simple es esencial, por lo tanto, primero se realiza una prueba con un electrodo sin picas. En caso de que esta configuración no sea suficiente para brindar una protección adecuada, se considerará añadir picas en los vértices y puntos medios de los lados del electrodo. Una vez que se obtengan los parámetros característicos, es posible calcular la resistencia de puesta a tierra utilizando la siguiente expresión normalizada:

$$R_t = K_r \cdot \rho_1 (\Omega) = 0,123 \cdot 400 = 49,2 \Omega (20)$$

Aquí, $\rho_1 (\Omega \cdot m)$ representa la resistividad del terreno donde se encuentran enterrados los electrodos. Dado que el suelo donde se entierra el electrodo es de tipo arena arcillosa, se ha asumido una resistividad estimada de $\rho_1 = 400 \Omega \cdot m$, aunque esta cifra deberá ser verificada una vez que se realice la instalación.

Todas las expresiones que involucran la resistividad son aproximadas, ya que esta no se puede conocer con certeza debido a factores variables como la estacionalidad. Por lo tanto, antes de implementar la instalación a tierra, será necesario obtener el valor real de la resistividad del terreno. Si los cálculos aproximados no se ajustan adecuadamente, se tomarán las medidas necesarias.

Con respecto al electrodo elegido, los cálculos se han realizado de la siguiente manera:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

$$I_d = U/\sqrt{3} \cdot \sqrt{((R_n + R_t)^2 + X_n^2)} = 20000/\sqrt{3} \cdot \sqrt{(49,2^2 + 25^2)} = 209,23 \text{ A}$$

$$V_{d,MT} = I_d \cdot R_{t,MT} = 49,6 \cdot 207,88 = 10311,271 \text{ V} > 8000 \text{ V}$$

Sin embargo, esta configuración no es aceptable, ya que genera una tensión de contacto dentro del CT superior a 8000 V, lo que supera la capacidad de los materiales aislantes para cubrir los elementos internos del CT. Por lo tanto, es necesario buscar un electrodo que permita una tensión de contacto inferior a 8000 V.

Para lograrlo, se deben introducir varias picas en el electrodo. La configuración más sencilla después de la inicial es colocar 4 picas en los extremos del anillo rectangular. Es importante comenzar con picas de longitud mínima posible, pero se ha determinado que, para cumplir con la especificación previa, se requiere una longitud de pica de 8 metros.

Utilizando esta configuración, se derivan los siguientes parámetros relacionados con el electrodo:

Profundidad de enterramiento (m)	Sección del conductor (mm ²)	Longitud de las picas (m)	Diámetro de las picas (mm)	Resistencia (Kr)	Tensión de paso (Kp)	Tensión de contacto exterior (Kc=Kpacc)
0,8	50	8	14	0,056	0,0113	0,0205

TABLA 21: PARÁMETROS DEL ELECTRODO

Con respecto a esta configuración adoptada, los cálculos generan los siguientes valores relativos a la tensión de contacto en las masas del CT:

- La resistencia de puesta a tierra (R_t) se determina mediante la expresión $R_t = K_r \cdot \rho_1$. En este caso, tomando $K_r = 0,123$ y la resistividad del terreno $\rho_1 = 400 \Omega \cdot m$, se obtiene $R_t = 49,2 \Omega$.
- La intensidad de defecto (I_d) se calcula mediante la fórmula $I_d = U/\sqrt{3} \cdot \sqrt{((R_n + R_t)^2 + X_n^2)}$, donde U es la tensión de línea (20000 V), R_n es la impedancia de la red de alta tensión y X_n es la reactancia de la red. Si despreciamos el valor de X_n y consideramos $R_n \approx 0$, se tiene $I_d = 343,996 \text{ A}$.
- La tensión de defecto en la masa del CT ($V_{d,MT}$) se determina multiplicando I_d por $R_{t,MT}$ (la resistencia de puesta a tierra del electrodo vertical), resultando $V_{d,MT} = 7705,515 \text{ V}$, que es menor que el límite de 8000 V.

1.2. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS RELATIVOS A LA SEGURIDAD

Para evaluar la seguridad en esta configuración, consideremos un tiempo de actuación (t_a) de 0,7 segundos. Con este valor, podemos consultar la tabla proporcionada por el MIE RAT 13 para determinar el valor admisible de la tensión de contacto en condiciones normales. De acuerdo con esta tabla, se obtiene un valor de tensión admisible $V_{ca,adm}$ de 149 voltios. (ver FIGURA 21)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

En relación con la tensión de paso en el acceso al CT, debemos considerar que esta ocurre cuando una persona tiene un pie en el pavimento del CT y el otro fuera del CT. Aquí, ρ_2' se refiere a la resistividad del acceso exterior, que en el caso de caminar sobre la acera al exterior del edificio industrial es de $1000 \Omega \cdot m$. Además, cuando accedemos desde el interior del edificio, la resistividad del suelo también debe tenerse en cuenta, siendo en este caso de $3000 \Omega \cdot m$ (ρ_2).

A pesar de que el reglamento considera una resistencia inherente al calzado, en nuestro análisis hemos optado por ser precavidos y considerar la situación más desfavorable, en la cual suponemos que la persona no está utilizando calzado apropiado.

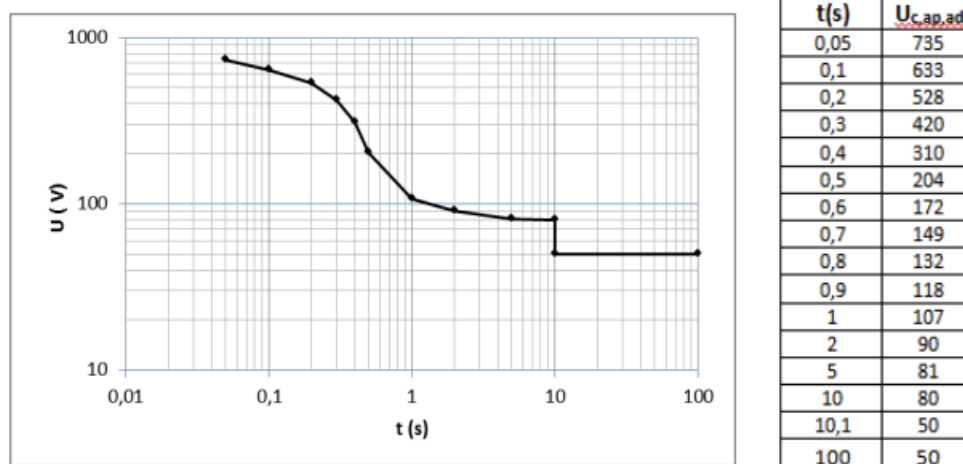


FIGURA 22: TABLA MIE RAT 13 (FUENTE: LIBRO TE)

Tensión de contacto admisible en el interior (V_{cadm}):

$$V_{cadm} = V_{ca,adm} \cdot (1 + 1,5 \cdot \rho_2 / 1000) = 149 \cdot (1 + 1,5 \cdot 3000 / 1000) = 819,5 \text{ V}$$

Tensión de paso admisible en el interior (V_{padm}):

$$V_{padm} = 10 \cdot V_{ca,adm} \cdot (1 + 6 \cdot \rho_2 / 1000) = 10 \cdot 149 \cdot (1 + 6 \cdot 3000 / 1000) = 28310 \text{ V}$$

Tensión de paso admisible en el acceso desde el exterior al CT ($V_{p(acc)adext}$):

$$V_{p(acc)adext} = 10 \cdot V_{ca,adm} \cdot (1 + 3 \cdot \rho_2 / 1000 + 3 \cdot \rho_2' / 1000) = 10 \cdot 149 \cdot (1 + 3 \cdot 3000 / 1000 + 3 \cdot 1000 / 1000) = 19370 \text{ V}$$

Tensión de paso admisible en el acceso desde la acera al CT ($V_{p(acc)adacera}$):

$$V_{p(acc)adacera} = 10 \cdot V_{ca,adm} \cdot (1 + 3 \cdot \rho_2 / 1000 + 3 \cdot \rho_2' / 1000) = 10 \cdot 149 \cdot (1 + 3 \cdot 3000 / 1000 + 3 \cdot 1000 / 1000) = 19370 \text{ V}$$

Tensión de paso admisible en el acceso desde el suelo del edificio al CT ($V_{p(acc)adplanta}$):

$$V_{p(acc)adplanta} = 10 \cdot V_{ca,adm} \cdot (1 + 3 \cdot \rho_2 / 1000 + 3 \cdot \rho_2' / 1000) = 10 \cdot 149 \cdot (1 + 3 \cdot 3000 / 1000 + 3 \cdot 3000 / 1000) = 28310 \text{ V}$$

1.3. CÁLCULO DE LOS PARAMETROS CARACTERÍSTICOS DE RT

Se procede a calcular la máxima tensión de paso (V_{pm}), la máxima tensión de contacto (V_{cm}), la máxima tensión de paso en el acceso desde el exterior ($V_{pm, ext}$) y la máxima tensión de contacto en el acceso desde el exterior ($V_{cm, ext}$).

- Tensión de paso máxima (V_{pm}): $Kp \cdot \rho_1 \cdot Id = 0,0113 \cdot 400 \cdot 343,996 = 1554,863 \text{ V}$
- Tensión de contacto máxima (V_{cm}): $Kc \cdot \rho_1 \cdot Id = 0,0205 \cdot 400 \cdot 343,996 = 2820,769 \text{ V}$
- Tensión de paso máxima exterior ($V_{pm, ext}$): $Kp \cdot \rho_1 \cdot Id = 0,0113 \cdot 400 \cdot 343,996 = 1554,863 \text{ V}$
- Tensión de contacto máxima exterior ($V_{cm, ext}$): $Kc \cdot \rho_1 \cdot Id = 0,0205 \cdot 400 \cdot 343,996 = 2820,769 \text{ V}$

En resumen, la configuración de la toma de tierra se ha optimizado para cumplir con los requisitos de seguridad y limitar las tensiones de contacto y paso en las masas del CT.

2. PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS

SELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORRS DIFERENCIALES

Los cálculos dedicados a la selección de los dispositivos dependen fundamentalmente del esquema de distribución escogido, que en este caso es TT.

Con este esquema, debido a la instalación de una toma independiente a tierra de las masas de BT y del neutro del transformador, la I_d circula por estas puestas a tierra y por la masa averiada formando un bucle cerrado, tal como se observa en la Figura 22.

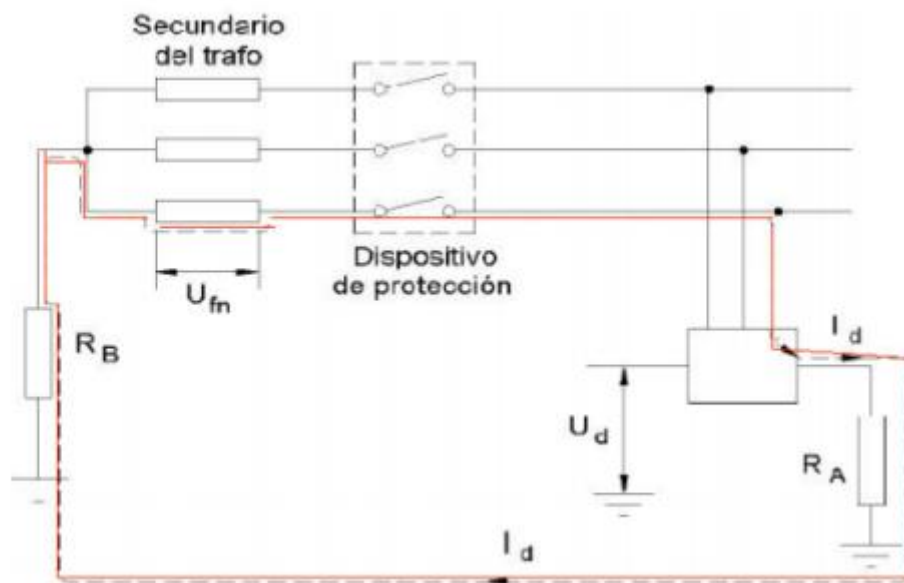


FIGURA 23: RECORRIDO DE LA CORRIENTE DE FUGA EN DISTRIBUCIÓN TT (FUENTE: LIBRO TE)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

$$I_d = U_{fn} / (R_A + R_B + R_d) = 230 / (4,223 + 28,571 + 0) = 7,013 \text{ A}$$

Nota: Se ha considerado la resistencia de defecto en la masa averiada (R_d) igual a 0 porque representa un valor despreciable respecto al resto de resistencias de puesta a tierra.

Por tanto, la tensión máxima de contacto que se genera como consecuencia de un fallo de aislamiento en una masa de BT es:

$$U_{cmax} = R_A \cdot I_d = U_{fn} \cdot R_A / (R_A + R_B) = 4,223 / (28,571 + 4,223) \cdot 230 = 29,62 \text{ V}$$

Los interruptores diferenciales son los encargados de que no se generen tensiones de contacto peligrosas. La intensidad necesaria para que la tensión de contacto no sea peligrosa, tal como se ha explicado anteriormente, se calcula con la expresión:

$$I_{\Delta N} \cdot R_A \leq U_L \rightarrow I_{\Delta N} \leq U_L / R_A = 50 / 4,223 = 11,84 \text{ A}$$

Esta expresión, observando la Figura 24, se explica de forma que al propagarse un fallo de aislamiento, si una persona entra en contacto con la masa que tiene el defecto de aislamiento, al estar la masa puesta a tierra mediante R_A , quedan los pies al mismo potencial, por lo que se forma una intensidad de defecto, cuyo producto con R_A es la tensión de contacto que recibirá la persona en contacto con la masa. De esta forma, la corriente nominal del dispositivo, que es la corriente a partir de la cual el aparato abre el circuito, debe ser tal que, con el producto con 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).

Sin embargo, se tienen instalados diversos dispositivos diferenciales. La corriente calculada a partir de la expresión se tiene en cuenta para el cálculo del diferencial situado en el origen, que es donde se produce la mayor intensidad de defecto. Pero además hay que calcular la intensidad nominal del resto de diferenciales siguiendo un esquema de distribución en serie.

Para que dos ID cualquiera D_1 y D_2 estén en serie, la banda I/t de disparo de D_1 debe quedar por encima y a la derecha de la banda I/t de del D_2 . Para entender este concepto hay que analizar la banda de disparo I/t , que es la franja que se queda entre $I_{\Delta Nf}$ y $I_{\Delta N}$. La primera intensidad se refiere a la intensidad por debajo de la cual el circuito que protege sigue en funcionamiento, y la segunda es la intensidad a partir de la cual el aparato diferencial abre el circuito. De esta forma, al estar la banda de D_1 más a la derecha que D_2 , si por ejemplo llega una intensidad que debe ser despejada por D_2 , como $I_{\Delta Nf1}$ es más elevada, entrará primero dentro de la franja de disparo de D_2 , que se encargará de cortar esa intensidad. Evidentemente si la intensidad que circula es mayor que $I_{\Delta N2}$, necesariamente será despejada por D_1 , siendo este el funcionamiento buscado. Con la siguiente figura quedará más clara la comprensión de este funcionamiento:

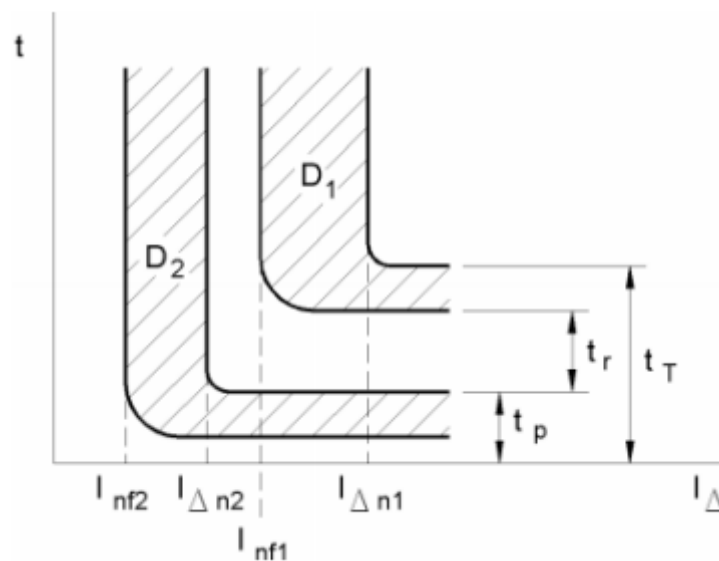


FIGURA 24: FRANJAS DE DISPARO DE DOS INTERRUPTORES DIFERENCIALES EN SERIE (FUENTE: LIBRO TE)

Una vez clarificado el funcionamiento selectivo, se van a buscar los distintos aparatos diferenciales necesarios para la protección. Según los cálculos realizados previamente, el diferencial del origen requiere una intensidad nominal menor que 11840 mA. La corriente inmediatamente inferior con la que trabajan los fabricantes es 3000 mA, pero igualmente válidas son las corrientes de 1000, 500, 300, 30 y 10 mA. Para escoger cuál es la intensidad más adecuada, hay que tener en cuenta en primer lugar que no es habitual la fabricación de interruptores nominales de sensibilidad 3000 mA, y que por tanto son excesivamente caros, por lo que se elegirá para el origen un interruptor diferencial con sensibilidad de 1000 mA.

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta es que como hay varios niveles de distribución, la intensidad del primer dispositivo tiene que ser tal que permita el dimensionamiento del resto de diferenciales. Por esto motivo se descartan intensidades menores a la escogida, puesto que se requerirían intensidades nominales en los diferenciales situados en el último nivel de distribución tan pequeñas que los fabricantes no proporcionan. El diseño del resto de niveles se hará de forma que la sensibilidad sea la mayor posible, para así conseguir un mayor rendimiento económico.

- Para el caso de D1 se necesita:

$$I_{\Delta N} \leq 11,84 \text{ A} \rightarrow I_{\Delta N} = 1000 \text{ mA}$$

Para que el funcionamiento en serie sea adecuado, D1 se deberá diseñar retardado. De esta forma, cuando circula una corriente de defecto, el interruptor dejará pasar un tiempo, t_r, de retardo independiente de la I_d antes de abrir el circuito. De este modo el aparato selectivo tardará más en saltar, asegurando que saltará el interruptor situado aguas abajo en serie en el caso de que sea el que debe actuar.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

- Para el caso de D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 y D9 (cuadros y batería)

Estos aparatos están en serie con D1, y además tienen otros aparatos en series con ellos mismos.

$$I_{\Delta N2} < I_{\Delta Nf1} \rightarrow I_{\Delta N 2,3,4,5,6,7,8,9} = 300 \text{ mA}$$

$$I_{\Delta Nf} \approx I_{\Delta N}/2 \rightarrow I_{\Delta Nf1} \approx I_{\Delta N1}/2 = 500 \text{ mA}$$

Como estos interruptores tienen a la vez otros interruptores en serie aguas abajo, también deben ser selectivos.

- Para D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16, D17, D18

Estos diferenciales están aguas debajo del segundo nivel, y como no tienen ningún otro en serie aguas abajo, serán de tipo instantáneo, por ser los primeros en accionarse en el caso de ser requeridos.

$$I_{\Delta N3} < I_{\Delta Nf2} \rightarrow I_{\Delta N10,11,12,13,14,15,16,17,18} = 100 \text{ mA}$$

$$I_{\Delta Nf2} \approx I_{\Delta N2}/2 = 150 \text{ mA}$$

3. DISEÑO DE LOS CONDUCTORES

3.1. CÁLCULO DE LAS LÍNEAS DE ALUMBRADO

En este apartado, se quiere saber cuántas luminarias se pueden conectar a cada línea de alumbrado. En primer lugar, de acuerdo con lo descrito en la memoria descriptiva en el apartado de seccionamiento por criterio térmico, para calcular las líneas de alumbrado debe utilizarse la expresión:

$$IB = \text{Coeficiente compensación} \cdot \sum \text{Pot luminarias por línea} / 230 \leq 10$$

Esta expresión, para cada caso particular de las luminarias elegidas:

$$IB = 1,5 \cdot P(W) / UF \text{ (Lámparas LED)}$$

$$IB = I1 \cdot k = 10 \cdot k$$

$$\text{Nota: } I1 = IB/k$$

Con esta expresión y teniendo en cuenta la potencia de cada luminaria, se puede calcular el número de luminarias que puede alimentar sin llegar a una intensidad mayor de 10 A. Se van a ejemplificar algunos casos. Por ejemplo, para el caso del almacén se tiene:

$$1,5 \cdot n \cdot 18 / 230 \geq 10 \rightarrow n = 85,2 \text{ luminarias}$$

En vez de 86 luminarias, se van a agrupar tan solo 17, pues con tan solo 17 se consigue las necesidades lumínicas.

Ahora se va a calcular la potencia de la línea que sale del CD7 que alimenta los aseos, si por ella circulase 10 A:

$$10 \cdot 0,52 \geq 1,5 \cdot P / 230 \rightarrow P = 797,34 \text{ w}$$

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Con esta potencia, se comprueba si se pueden alimentar todas las luminarias de esta zona con una sola línea a partir de sus potencias individuales:

Potencia instalada $P = 9,9 \cdot 27 = 267,3 \text{ w}$

Por tanto, si cumple y la intensidad demandada del alumbrado de la zona de los aseos queda:

$$IB = 1,5 \cdot 267,3 / 230 = 1,743 \text{ A}$$

3.2. CÁLCULO DE LAS SECCIONES

En este apartado se va a ejemplificar más detalladamente como obtener la sección necesaria de un conductor.

Como ya se ha explicado, se aplicará primero el criterio térmico para obtener la sección, y luego se comprobará si la sección cumple frente el criterio de caída de tensión.

El primer paso para dimensionar las secciones por criterio térmico es obtener IB.

Se parte de la expresión:

Alimentación trifásica: $IB(A) = P(w) / \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos(\varphi)$

Alimentación monofásica: $IB(A) = P(w) / 230 \cdot \cos(\varphi)$

Donde $P(w)$ es la potencia absorbida de la red: Potencia nominal/rendimiento eléctrico

$\cos(\varphi)$ es el factor de potencia. Como este factor ha sido rectificado mediante la compensación reactiva, se introduce un $\cos(\varphi) = 0,95$.

La expresión anterior quedará multiplicada por 1,25 cuando el receptor sea un motor. Si hay varios motores, se multiplicará solo el de mayor potencia.

Para el caso de la línea 1, que alimenta el cuadro general, no se aplicara la expresión anterior, sino que se sumarán las corrientes que alimentan cada cuadro secundario, y la corriente de estos se calculará sumando las intensidades de cada receptor al que alimentan.

Si, además, en la línea 1, se hace el cálculo con la intensidad demandada total, es decir, con todos los receptores a funcionamiento pleno, sería un caso altamente improbable. En este sentido, se establece un coeficiente de simultaneidad en esta línea para tener en cuenta una previsión de carga más realista. El coeficiente de simultaneidad, al no tener datos precisos del fabricante, se ha elegido en función de las recomendaciones de la Tabla 22, e igual a 0,8, ya que se puede asemejar bastante la industria de estudio a una industria de alimentos.

TIPO DE INSTALACIÓN	COEFICIENTE DE SIMULTANEIDAD
Industria mecánica, fabricante de coches...	0,25
Papeleras	0,5-0,7
Industria textil	0,6-0,75
Industrial del caucho	0,6-0,7
Industria química, refinerías.	0,5-0,7
Cementera (alrededor de 500 motores)	0,8-0,9
Industria de alimentación	0,7-0,9
Minería	0,8-0,1
Alumbrado público (calles, túneles), de grandes áreas, espectáculos, etc	1
Industrias del mueble	0,6-0,7
Industrias cerámica (sin hornos eléctricos)	0,7-0,8
Hoteles	0,6-0,8
Pequeñas oficinas	0,5-0,7
Grandes oficinas, administración pública	0,7-0,8
Grandes almacenes	0,7-0,9
Escuelas	0,6-0,7
Hospitales	0,5-0,75
Líneas de enchufe (más de 7 enchufes):	
- En viviendas	0,2
- En tiendas	0,3
- Otros	0,1

TABLA 22: ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD DEPENDIENDO DE LA INSTALACIÓN

Por tanto, la intensidad que alimenta el cuadro general quedará como:

$$IB(A) = 0,8 \cdot I_{Total} = 0,8 \cdot 382,752 = 306,202 \text{ A}$$

En el resto de las líneas también se podría aplicar un coeficiente de simultaneidad, pero como se desconoce la información del proceso industrial, se realizará el cálculo del resto de líneas como si estuvieran todos los receptores en funcionamiento, lo cual aporta una mayor seguridad a la instalación.

Como ejemplo de cómo se realiza este criterio de seccionamiento, se va a explicar con detalle el cálculo de algunas líneas significativas.

Por ejemplo, se va a realizar el diseño de la línea encargada de alimentar el transportador vibrante.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

$$IB(A) = P(w) / (U(V) \cdot \cos(\varphi)) = ((1,1 \cdot 3/0,76) + 0,75/0,74 + 1,25 \cdot 2,2/0,79) \cdot 1000 / (230 \cdot 0,95) = 40,44 A$$

Atendiendo a los datos nominales obtenidos de esta máquina de inducción, se tiene como información de sus distintos motores, los cuales tienen potencias diferentes, lo que significa que multiplicaremos por 1,25 el motor de mayor potencia.

Tal como se ha realizado este cálculo para esta máquina, se ha realizado de la misma manera con el dispensador de bandejas y con el control de peso y de metales.

Para obtener el factor de corrección k se utilizan las tablas de la ITC-BT-19, de las cuales se citan las tablas utilizadas, dependen del sistema de instalación y el tipo de línea.

La línea que alimenta el transportador vibrante es una línea de cobre aislada mediante XLPE e instalada en un tubo al aire. El método de instalación "Cable unipolar, en un conducto al aire separado del techo", cuya instalación que más se asemeja a las tablas es el método B1. Como el conductor está instalado en un tubo al aire, y las intensidades normalizadas se han obtenido con una temperatura ambiente de 30°C, se realiza un factor de corrección en caso de que la temperatura ambiente sea distinta. La instalación eléctrica, es de una nave situada en Cheste, cuya temperatura media anual es menor de 30°C, por tanto, para estar al lado de la seguridad cogeremos T=30°C. El factor de corrección depende también del aislante que se haya propuesto, debido a que este es el elemento encargado de soportar las temperaturas del exterior. De acuerdo con las tablas, Kt=1.

En este conducto transcurren 4 circuitos, por tanto, se tiene que aplicar un factor de agrupamiento, el cual Ka=0,65.

Con todo esto, el factor de corrección queda solamente afectado por el agrupamiento de circuitos, con un valor K=Kt·Ka=1·0,65=0,65

El resultado de la intensidad demandada corregida por el factor de corrección es:

$$I1 = IB/k = 40,44/0,65 = 62,22 A$$

Buscamos en la Tabla, cuál es la intensidad admisible que sea superior al valor de I1, de forma que la sección sea adecuada. Entrando en la tabla con el método de instalación B1 y con XLPE2 (número de conductores cargados, que al ser un circuito trifásico son 2) se obtiene:

$$IT = 75A; S = 10 \text{ mm}^2$$

Estos datos obtenidos son normalizados. Por tanto, la intensidad admisible con las condiciones reales de la instalación se calcularía como:

$$Iz = IT \cdot k = 75 \cdot 0,65 = 48,75A$$

Para comprobar la caída de tensión, recordemos que tenemos dos formas de hacerlo, dependiendo si el receptor tiene alimentación trifásica o monofásica:

$$\text{TRIFASICO: } \Delta U = (L/U^2) \cdot (Ru \cdot P + Xu \cdot Q)$$

$$\text{MONOFASICO: } \Delta U = 2 \cdot (L/U^2) \cdot (Ru \cdot P + Xu \cdot Q)$$

L: Longitud de la línea desde el transformador hasta la máquina, en metros

U2: 400V en trifásica o 230V en monofásica

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

Ru: Resistencia unitaria de la línea en Ω /m

Xu: Reactancia unitaria de la línea en Ω /m

P: Potencia activa del receptor en w

Q Potencia reactiva del receptor en var

Cosas que comentar, en ambas fórmulas podremos despreciar la caída de tensión debida a la potencia reactiva si la sección es menor de 120mm².

En la línea se calculan primero su resistencia unitaria:

$$Ru = \rho / (n \cdot S) = 0,0207 / (1 \cdot 10) = 0,00207 \Omega /m$$

ρ : Densidad del conductor en $\Omega \cdot mm^2/m$

n: número de fases del conductor

S: Sección del conductor que alimenta la máquina, en mm²

Se tienen que hacer dos aclaraciones. En primer lugar, no se va a obtener la sección mínima para que cumpla el criterio de tensión. Como la sección debe cumplir los dos criterios, se ha partido de la sección calculada por el criterio térmico para ver si también cumple con el criterio de caída de tensión. Se parte normalmente desde el criterio térmico porque suele ser el criterio más restrictivo, excepto en algunos casos con líneas muy grandes.

En segundo lugar, la variación de la resistividad del material con la temperatura se puede admitir lineal, de modo que se calculará la resistividad a la temperatura real del conductor a partir de los datos de resistividad a temperatura de 20°C, los cuales están disponibles.

Para calcular la temperatura real del conductor se puede aplicar esta expresión aproximada:

$$TC = T_{amb} + (T_z - T_{amb}) \cdot (I_B / I_z)^2 = 30 + (90 - 30) \cdot (40,44 / 48,75)^2 = 71,293^\circ C$$

El único dato que falta por determinar es T_z , que se trata de la temperatura admisible para el conductor en régimen permanente, la cual depende del tipo de aislante que se haya utilizado.

En el caso de XLPE la temperatura admisible son 90°C.

Por tanto, la resistividad a la temperatura real del conductor queda como:

$$\rho_{Tcond} = \rho_{20^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,01724 \cdot (1 + 0,00393 \cdot (71,293 - 20)) = 0,0207 \Omega \cdot mm^2/m$$

Siendo α el coeficiente de temperatura, el cual es propiedad del material del conductor. Para el cobre son 0,00393°C⁻¹ a una temperatura de 20°C.

No hará falta calcular la reactancia, pues este valor es despreciable en comparación a la resistencia, debido a la pequeña sección que tiene (menor que 120mm²)

Una vez tenemos la resistencia unitaria calculada, ya se puede acometer el cálculo de la caída tensión. Según la expresión, la caída de tensión en la línea queda como:

$$\Delta U = 2 \cdot (30,44 / 230) \cdot (0,00207 \cdot 8140,429) = 4,464V$$

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Como la instrucción dispone las exigencias en lo referido a la caída de tensión en % respecto a la intensidad nominal, se calcula esta mediante:

$$\varepsilon = \Delta U / U_2 \cdot 100 = 4,464 \cdot 100 / 230 = 1,939 \% < 6,5 \%$$

Por tanto, la sección calculada mediante el criterio térmico es adecuada.

Se van a realizar los cálculos de las secciones de otras líneas de manera menos detallada.

Por ejemplo, la línea que alimenta el cuadro secundario 1. Su intensidad demandada será la suma de las intensidades que consumen todos los receptores:

$$IB = 3 \cdot 7,19 + 4,10 + 37,98 = 63,66 \text{ A}$$

Esta línea es de cobre aislada mediante XLPE e instalada sobre bandeja perforada. El método de instalación "Cable unipolar, en bandeja perforada", cuya instalación que más se asemeja a las tablas es el método F. El factor debido a la temperatura, $K_t=1$. En esta bandeja transcurren 2 circuitos, por lo que $K_a=0,88$. Luego, $K=0,88$

La intensidad que tenemos que buscar en las tablas es:

$$I_1 = IB / k = 63,66 / 0,88 = 72,34 \text{ A} \rightarrow IT = 107 \text{ A}; S = 16 \text{ mm}^2$$

Se Comprueba la caída de tensión:

$$R_u = \rho / (n \cdot S) = 0,0198 / (1 \cdot 16) = 0,00124 \Omega / \text{m}$$

$$\Delta U = (L / U_2) \cdot (R_u \cdot P) = (31,975 / 400) \cdot (0,00124 \cdot 41900,57) = 4,153 \text{ V}$$

$$\varepsilon = \Delta U / U_2 \cdot 100 = 4,153 \cdot 100 / 400 = 1,04\% < 6,5 \%$$

Así, esta sección es adecuada.

Otro ejemplo, dimensionamiento de la sección de la línea que alimenta el cuadro general:

$$IB = 306,202 \text{ A}$$

Línea de cobre aislada mediante XLPE e instalada sobre tubo al aire. El método de instalación "Cable unipolar, en tubo al aire", cuya instalación que más se asemeja a las tablas es el método B1. El factor debido a la temperatura, $K_t=1$. En este tubo solo transcurre este circuito. $K=1$.

$$I_1 = IB = 306,202 \text{ A} \rightarrow IT = 344 \text{ A}; S = 150 \text{ mm}^2$$

Se comprueba la caída de tensión, esta vez lo haremos con la siguiente fórmula:

$$\Delta U = 3^{0,5} \cdot I \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi))$$

R: resistencia de la línea, Ω

X: reactancia de la línea, Ω

$\cos(\varphi)$: será 0,95, al estar compensado.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

$$R = \rho \cdot L / (n \cdot S) = 0,02114 \cdot 1,75 / (1 \cdot 150) = 0,0002466 \Omega$$

$$X = L \cdot X_u = 1,75 \cdot 0,00013 = 0,00023 \Omega,$$

donde X_u es $0,00013 \Omega / m$. un valor aceptable de reactancia por metro de alimentación trifásica, en unipolares

$$\Delta U = 3 \cdot 0,5 \cdot 306,202 \cdot (0,0002466 \cdot 0,95 + 0,00023 \cdot 0,3123) = 0,162 V$$

$$\varepsilon = \Delta U / U_2 \cdot 100 = 0,162 \cdot 100 / 400 = 0,0406\% < 6,5 \%$$

En las líneas de alumbrado, que alimentan varias luminarias, el cálculo de la caída de tensión se hará calculando la potencia instalada de la línea en el punto más alejado, de manera que si cumple de esta manera (la más desfavorable), cumplirán todas.

Se va a despreciar valor de la reactancia debido a la sección de $1,5 \text{ mm}^2$ que es muy pequeño en comparación los 120 mm^2 .

Se va a realizar como ejemplo el cálculo de la línea que alimenta la parte de arriba de la nave y la iluminación del centro de transformación.

$$I_B = 1,5 \cdot P(W)_{\text{total}} / U(V) = 1,5 \cdot 298,8 / 230 = 1,996 A$$

$$I_1 = I_B / K = 1,996 / 0,8 = 2,436 A$$

$$I_t = 26 A \rightarrow \text{sección} = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$R_u = \rho / S = 0,01795 / 1,5 = 0,012 \Omega / m$$

$$\Delta U = 2 \cdot (L / U^2) \cdot (R_u \cdot P) = 2 \cdot (44,454 / 230) \cdot (0,012 \cdot 298,8) = 1,382 V$$

$$\varepsilon = \Delta U / U_n \cdot 100 = 1,382 \cdot 100 / 230 = 0,601\% < 4,5 \%$$

4. SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN FRENTE A SOBREENSIDADES

El cálculo de las corrientes de cortocircuito se lleva a cabo con la siguiente expresión:

$$I''_k = U_{nT} / \sqrt{3} \cdot Z_k$$

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 cortocircuito desde la salida del transformador hasta el punto donde se produce el cortocircuito.

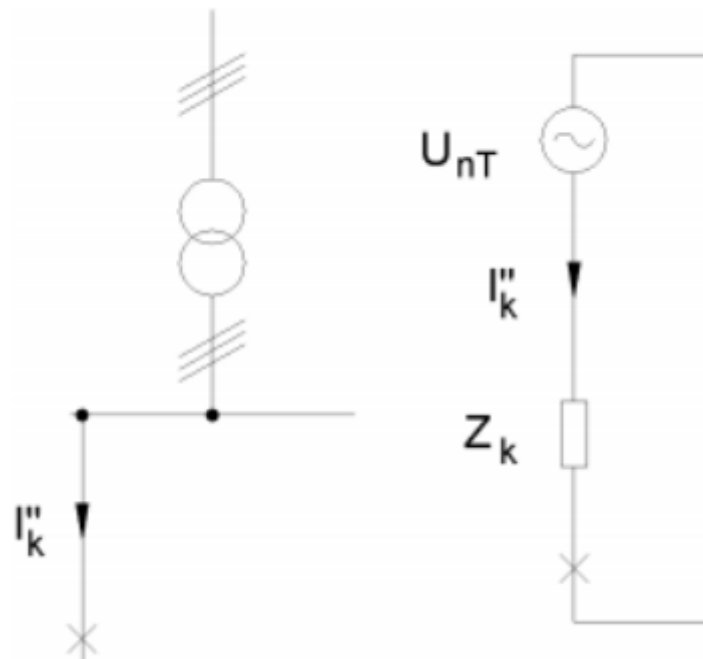


FIGURA 25: CORTOCIRCUITO EN BRONES DEL TRANSFORMADOR (FUENTE: LIBRO TE)

La caída de baja tensión provocada por la corriente del transformador, la cual pertenece al diseño de media tensión, se ha obtenido a partir de los datos obtenidos de la compañía eléctrica, que es quien alimenta el CT desde la alta tensión. La REE suministra en la provincia de Valencia una potencia de cortocircuito (S''_k) en el CT de alrededor de 350 MVA. Con este dato se calcula la impedancia de defecto en el secundario del transformador:

$$Z_L = 1,1 \cdot U_{nT}^2 / (1000 \cdot S''_k) = 1,1 \cdot 400^2 / (1000 \cdot 350) = 0,5028 \text{ m}\Omega$$

$$X_L = 0,995 \cdot Z_L = 0,50034 \text{ m}\Omega$$

$$R_L = 0,1 \cdot X_L = 0,05034 \text{ m}\Omega$$

Se calcula la impedancia de defecto que se produce en el transformador:

$$R_{cc} = \varepsilon R_{cc}(\%) \cdot U_{nT}^2 / (100 \cdot S_{nT}) = 1,52 \cdot 400^2 / (100 \cdot 160) = 15,199 \text{ m}\Omega$$

$$X_{cc} = \varepsilon X_{cc}(\%) \cdot U_{nT}^2 / (100 \cdot S_{nT}) = 4 \cdot 400^2 / (100 \cdot 160) = 37 \text{ m}\Omega$$

La potencia aparente del transformador (S_{nT}), la ha proporcionado la empresa, igual que los valores de $\varepsilon R_{cc}(\%)$ y $\varepsilon X_{cc}(\%)$. $S_{nT} = 160 \text{ KVA}$

Si el cortocircuito se produce en las líneas, la corriente estará limitada además de por la red y el transformador, también lo estará por las diferentes líneas que atraviesa la corriente de cortocircuito desde el secundario del transformador hasta la línea donde se produce el cortocircuito. Por tanto, la impedancia de cortocircuito quedará:

$$RK = RL + Rcc + \sum \text{líneas } R$$

$$XK = XL + Xcc + \sum \text{líneas } X$$

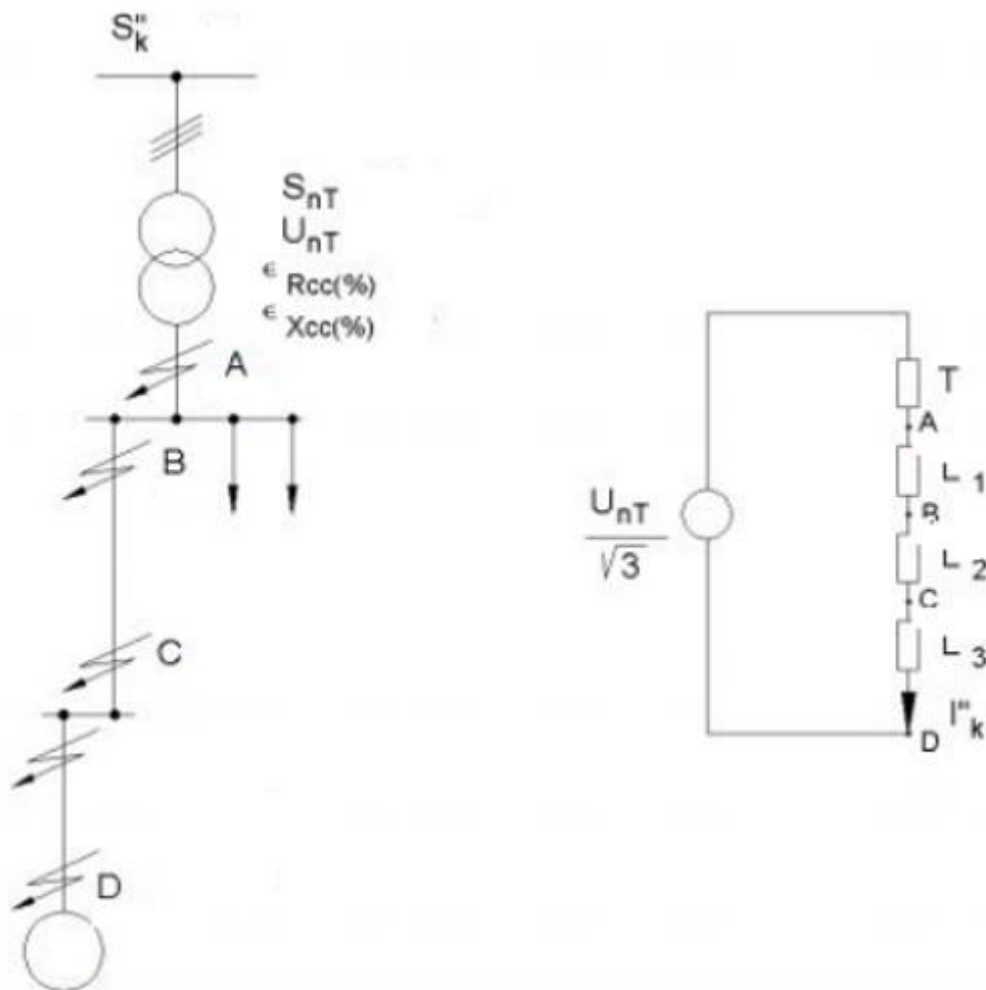


FIGURA 26: CORTOCIRCUITO EN UN PUNTO ALEJADO DEL TRANSFORMADOR (FUENTE: LIBRO TE)

A continuación, se va a realizar el diseño de la protección de aquellas líneas que aportan diferentes planteamientos al diseño. En primer lugar, se va a calcular el ejemplo de la línea del cuadro general.

En este caso, se va a tener que utilizar un IA de grandes prestaciones dado el elevado valor de la intensidad demandada que tiene que ser capaz de soportar el interruptor. El interruptor se elegirá de forma que cumpla las condiciones a sobrecarga:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

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

Con los datos obtenidos en el dimensionamiento de los conductores se tiene:

$$306,202 \leq I_n \leq 344$$

Para mayor facilidad y ahorro económico se van a utilizar interruptores normalizados.

En este caso, se cogirá un interruptor LEGRAND DPX3 630 4P 320A 36kA, el cual es ajustable.

Luego, $I_n = 320 \text{ A}$

$$I_2 = 1,3 \cdot I_n = 416 < 1,45 \cdot 344 = 498,8 \text{ A}$$

De esta forma, el IA cumple frente a sobrecargas. Ahora falta comprobar si cumple frente a intensidades de cortocircuito. Se tienen que cumplir tres condiciones:

1) Poder de corte $> I_{cc,max}$

Como la intensidad de cortocircuito máxima es la que se produce al origen de la línea, las impedancias por las que se verá limitada esta intensidad son:

$$R_k = R_L + R_{cc} = 0,01525 \Omega; X_k = X_L + X_{cc} = 0,0375 \Omega$$

Así pues, la intensidad de cortocircuito máxima se calcula como:

$$I_{cc,max} = 400 / (3^{0,5} \cdot (0,01525^2 + 0,0375^2)^{0,5}) = 5704,75 \text{ A}$$

Poder de corte = 36 KA.

2) $I_{cc,min} > I_a$

La intensidad de cortocircuito mínima es la que se produce en el extremo de la línea, por lo que a la anterior impedancia calculada habrá que sumarle la impedancia del cable.

$$R_k = R_L + R_{cc} + R_1 = 0,01525 + 0,000246 = 0,0155 \Omega$$

$$X_k = X_L + X_{cc} + X_1 = 0,0375 + 0,00023 = 0,0377 \Omega$$

$$I_{cc,min} = 0,5 \cdot 400 / (3^{0,5} \cdot (0,0155^2 + 0,0377^2)^{0,5}) = 2831,12 \text{ A}$$

Se ha multiplicado en el cálculo de $I_{cc,min}$ por 0,5 porque la sección del neutro es la misma que la de la fase.

la se obtiene de la regulación del interruptor, de manera que, como puede regularse entre $5I_n$ y $10I_n$, se va a ajustar de forma que sea algo menor que la intensidad de cortocircuito mínima. Lo hemos ajustado a $8I_n$:

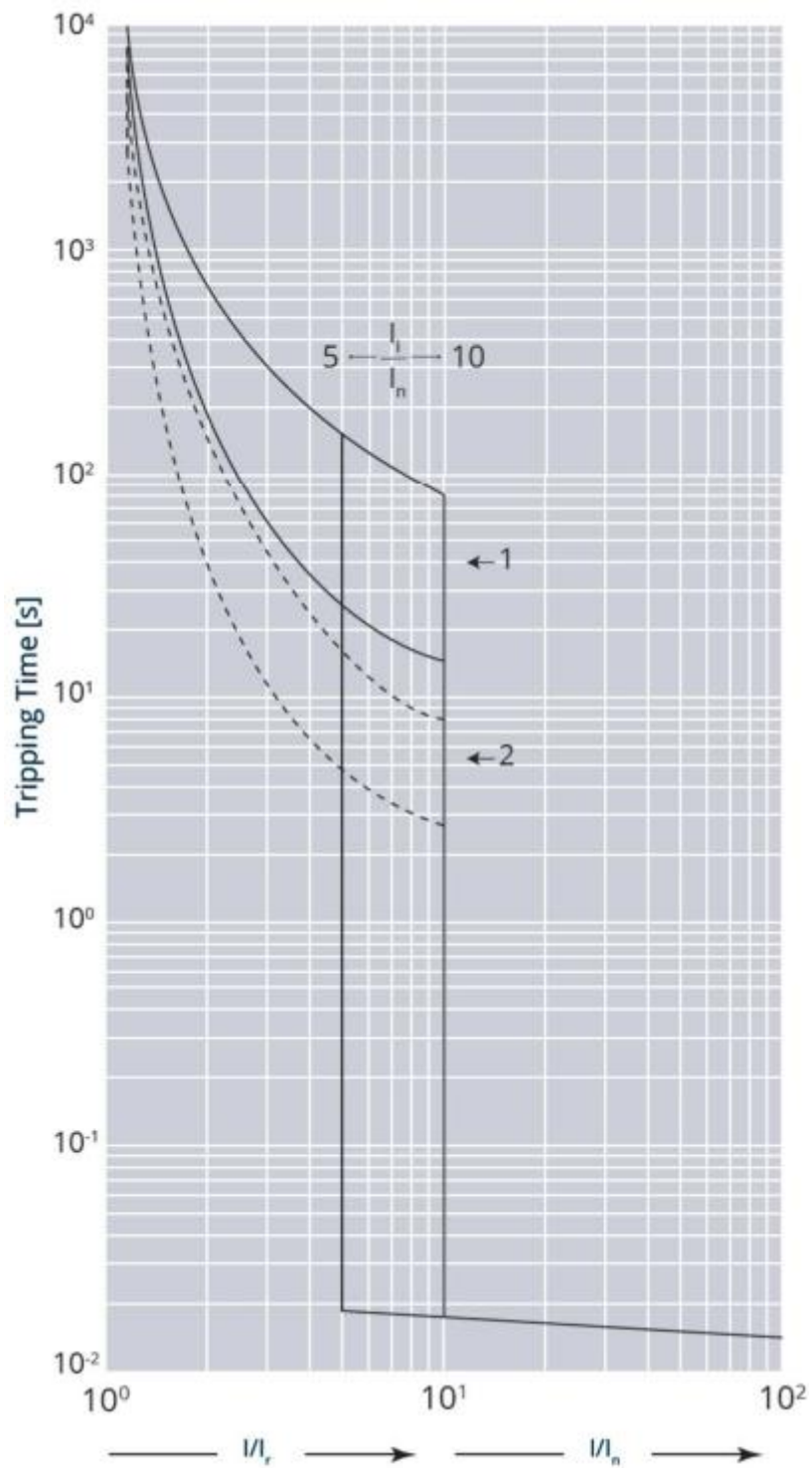


FIGURA 27: CURVA DE DISPARO DEL INTERRUPTOR LEGRAND DPX3 630 4P 320A 36KA (FUENTE: CATÁLOGO LEGRAND DPX3)

$$I_a = 8 \cdot I_n = 8 \cdot 320 = 2560 < I_{cc, \min} = 2831,12 \text{ A}$$

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

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

Como el objetivo de esta condición es comprobar que con la máxima corriente de cortocircuito el conductor no se degradará, se comprueba que la característica (I^2t) admisible del conductor es mayor que la característica I^2t del IA.

$$(I^2t)_{ad} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 150)^2 = 4,6 \cdot 10^8 \text{ A}^2\text{S}$$

El valor de la constante K se obtiene en función del material conductor y aislante, quedando recogidas las diferentes alternativas en la Tabla 24:

Combinación conductor-aislante	K
Cobre con PVC	115
Cobre con XLPE	143
Aluminio con PVC	76
Aluminio con XLPE	94

TABLA 23: VALORES DE K

Entrando con el valor de la intensidad de cortocircuito máximo en la curva del interruptor se obtiene el valor de $(I^2t)_{IA}$:

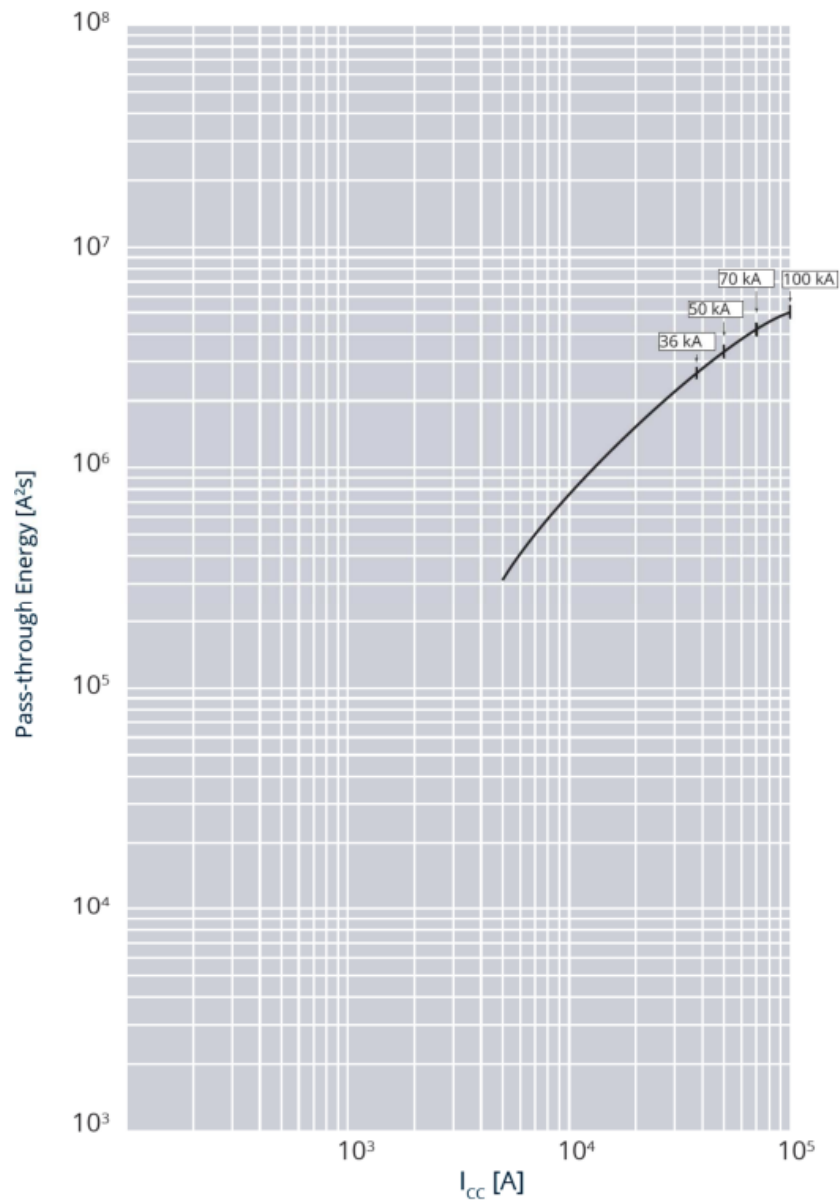


FIGURA 28: CURVA (I2t) DEL INTERRUPTOR LEGRAND DPX3 630 4P 320A 36KA (FUENTE: CATÁLOGO LEGRAND DPX3)

$$(I2t)_{IA} = 400000 \text{ A}^2\text{s} < (I2t)_{ad} = 4,6 \cdot 10^8 \text{ A}^2\text{s}$$

Por tanto, cumple las 3 condiciones.

A continuación, se van a comentar con menos detalle aquellas líneas con planteamientos distintos que la línea 1. En general, se han utilizado PIAs. Por lo que, se comentarán un par de ellas.

Este es el caso por ejemplo de la línea que alimenta una formadora de mochis. A continuación, se muestra el proceso por el cual se ha elegido el aparato de protección:

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Protección frente a sobrecargas

1) $8,99 \text{ A} \leq I_n \leq 12,025 \text{ A} \rightarrow I_n = 10 \text{ A}$

Se selecciona del catálogo de pequeños interruptores automáticos de ABB el interruptor S203-D 10.

2) $I_2 = 1,45 \cdot I_n = 14,5 \text{ A} \leq 1,45 \cdot I_Z = 17,43625 \text{ A}$

Protección frente a cortocircuito

1) Poder de corte = 6 KA > $I_{cc,max} = 3,43 \text{ KA}$

2) $I_{cc,min} = 418,645 \text{ A} > I_a = 20 \cdot I_n = 200 \text{ A}$

En este caso $I_a = 20 \cdot I_n$ porque existen distintas curvas, y en la instalación de estudio se han utilizado interruptores con curvas C y D. La segunda de ellas, que es la que se ha utilizado en este caso, se utiliza generalmente para líneas que alimentan motores.

También comentar que los motores, no llevan neutro, y por tanto, $I_{cc,min} = (2^{0,5/3}) \cdot I_K3$

3) $I_{cc,max} = 3,43 \text{ KA} < I_B$

$(I_2 t)_{ad} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 1,5)^2 = 46010 \text{ A}^2 \text{ s}$

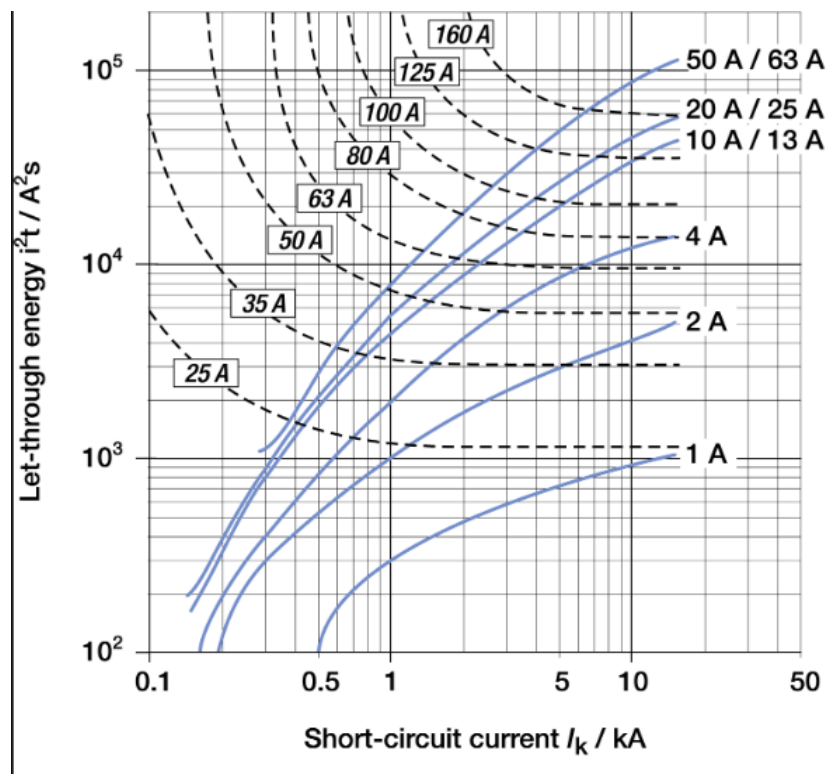


FIGURA 29: CURVA (I²t) DEL INTERRUPTOR S200 de ABB (FUENTE: CATÁLOGO ABB- PRODUCTO)

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Entrando con el valor de 3,43KA, se obtiene:

$$(I_2t)_{IA} = 15000 \text{ A}^2\text{s} < (I_2t) = 46010 \text{ A}^2\text{s}.$$

Otra línea interesante es la que alimenta el cuadro secundario 1:

Protección frente a sobrecargas

$$1) 63,66 \text{ A} \leq I_n \leq 66 \text{ A} \rightarrow I_n = \text{no encontramos ningún PIA que se adecúe.}$$

De este modo, habrá que subir la sección de 10mm² a 16mm², y en vez de ser ahora un conductor tripolar, se usará unipolares, debido a lo difícil que sería manipular un tripolar de esta sección:

$$63,66 \text{ A} \leq I_n \leq 94,16 \text{ A} \rightarrow I_n = 80 \text{ A}$$

En el catálogo no se encuentran estos PIA, pero dicen que existen. De esta manera, se selecciona el interruptor S204-C 80.

$$2) I_2 = 1,45 \cdot I_n = 116 \text{ A} \leq 1,45 \cdot I_Z = 136,5 \text{ A}$$

Protección frente a cortocircuito

$$1) \text{ Poder de corte} = 6 \text{ KA} > I_{cc,max} = 3,43 \text{ KA}$$

$$2) I_{cc,min} = 1715,85 \text{ A} > I_a = 10 \cdot I_n = 800 \text{ A}$$

En este caso $I_a = 10 \cdot I_n$ porque existen distintas curvas, y en la instalación de estudio se han utilizado interruptores con curvas C y D. La primera de ellas se utiliza para distribución.

$$3) I_{cc,max} = 5,66 \text{ KA} < I_B$$

$$(I_2t)_{ad} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 1,5)^2 = 5,2 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s}$$

Pese a no tener la tabla para verificar que cumple, muy pocas veces esto ocurre y se puede suponer que es así.

5. TOMAS DE CORRIENTE

Se debe establecer distintas tomas de corriente para permitir conectar otros receptores no previstos. Los cálculos de las tomas de corriente se han incluido en un apartado específico debido a que se llevan a cabo de forma distinta.

Localización de las tomas de corriente:

- Oficina: una toma de corriente simple y otra toma de corriente doble
- Aseo: dos tomas de corriente simple
- Comedor: dos tomas de corriente simple y dos de corriente doble



FIGURA 30: TOMAS DE CORRIENTE SIMPLE Y DOBLE (FUENTE: AMAZON)

CÁLCULO DE LAS LÍNEAS QUE ALIMENTAN LAS TOMAS DE CORRIENTE

Para realizar los cálculos debe tenerse en cuenta que se trata de un cálculo estimativo, ya que en el proyecto no se sabe cuáles son los receptores que van a ser alimentados. De esta forma, las tomas de corriente se han dispuesto en distintas líneas según se ha estimado que cada línea pueda ser suficiente para alimentar a las tomas de corriente que se puedan conectar. Estas líneas son monofásicas pueden ser de 10 o 16 A. En todos los casos se han utilizado líneas de 16 A, que al tener mayor capacidad nos resguarda más ante posibles sobrecargas.

Para la oficina, se han alimentado las tres tomas de corriente especificadas mediante una línea monofásica de 16 A, de cobre, y aislada con XLPE, cada una.

Para el cálculo de las secciones por criterio térmico, como en el resto de las líneas, se calcula primero los coeficientes K necesarios para el dimensionamiento de la línea.

$$I_1 = IB/k = 16/0,52 = 30,77A$$

La sección e intensidad admisible serán, entrando con XLPE 2, con el método B2 será de 4 mm² y 36 A respectivamente. La comprobación por caída de tensión es totalmente análoga al resto de líneas.

Por ejemplo, se muestra el cálculo de la toma doble de la oficina:

$$R_u = \rho / S = 0,0209 / 4 = 0,00523 \Omega / m$$

$$\Delta U = 2 \cdot (70,91/230) \cdot (0,00523 \cdot 3680) = 11,868 V$$

$$\varepsilon = \Delta U / U_2 \cdot 100 = 11,898 \cdot 100 / 230 = 5,173\% < 6,5 \%$$

Otro comentario, una toma doble significa que de esa única línea salen dos tomas, por lo que dos aparatos conectados, ambos deben consumir como mucho esos 16 A.

El PIA realizará correctamente la protección si cumplen las expresiones ya comentadas:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \rightarrow I_B = 16 A \leq I_n \leq I_Z = 18,72 A$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \rightarrow I_2 = 1,45 \cdot I_n = 23,2 A \leq 1,45 \cdot 18,72 = 27,144 A$$

El PIA a instalar en cada una de las tomas de corriente es de tipo C, cuya curva de disparo es de 10 I_n.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Una vez comprobado que el modelo seleccionado cumple frente a sobrecargas, se comprueba si cumple frente a las intensidades de cortocircuito. Las condiciones que se deben cumplir para que el modelo sea apto para esta protección son:

Poder de corte $> I_{cc,max}$

Escogemos el PIA "S 202-C 16" $\rightarrow 6 \text{ KA} > 2,403 \text{ KA}$

$I_{cc,min} > I_a \rightarrow 702,5 \text{ A} > 160 \text{ A}$

$I_{cc,max} < I_b$

$(I_2t)_{ad} = (143 \cdot 4)^2 = 3,3 \cdot 10^5 \text{ A}^2\text{s}$

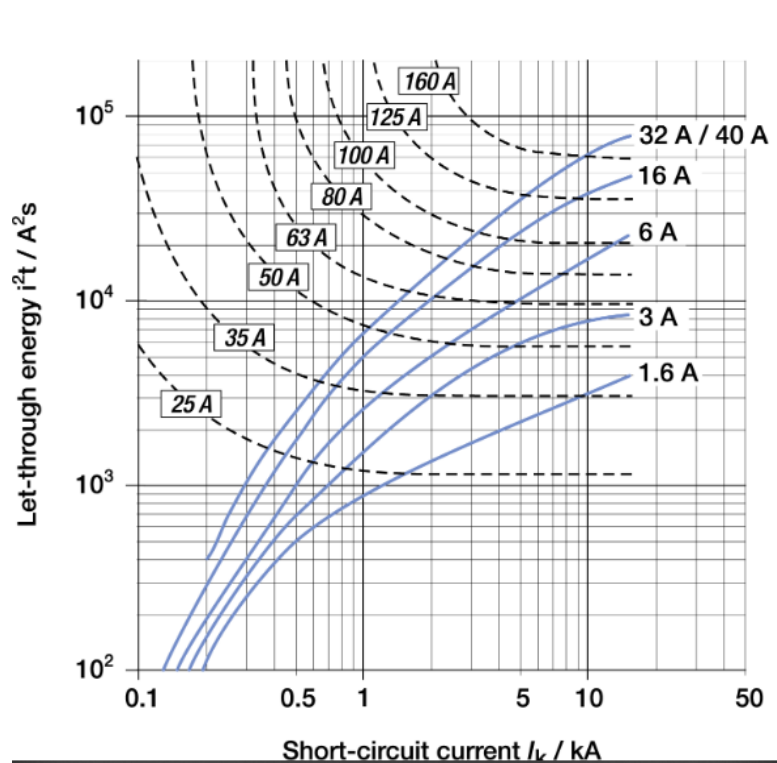


FIGURA 31: CURVA (I_2t) DEL INTERRUPTOR S200 de ABB (FUENTE: CATÁLOGO ABB- PRODUCTO)

$(I_2t)_{PIA} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ A}^2\text{s} < (I_2t)_{ad}$

Como se observa esta condición se cumple, y en consecuencia, el PIA protege la línea.

DOCUMENTO N.º 3: PRESUPUESTO

En el presente documento se va a realizar una valoración económica de los recursos necesarios para llevar a cabo la instalación de baja tensión desde el secundario del transformador hasta las tomas de corriente que se han dispuesto, sin tener en cuenta las puestas a tierra que ya existen.

1. PRESUPUESTO GENERAL DE LA INSTALACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

Capítulo 1: Suministro

- Unidad de obra 1: Líneas trifásicas en la bandeja 1 (Ud.)

Instalación, suministro y en correcto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas con la misma sección de fase y neutro dispuestas en la bandeja perforada 1 metálica de varilla de 110 x 300mm. Se incluye la parte proporcional de pequeño material y piezas especiales, y el conductor de protección necesario calculado en la instalación de puesta a tierra.

- Unidad de obra 2: Líneas trifásicas en la bandeja 2 (Ud.)

Instalación, suministro y en correcto estado de funcionamiento según el REBT de las líneas con la misma sección de fase y neutro dispuestas en la bandeja perforada 2 metálica de varilla de 120 x 300mm. Se incluye la parte proporcional de pequeño material y piezas especiales, y el conductor de protección necesario calculado en la instalación de puesta a tierra.

- Unidad de obra 3: Líneas trifásicas y monofásicas en tubo de PVC al aire (Ud.)

Líneas aéreas trifásicas y con la misma sección de fase y neutro dispuestas en el interior de un tubo de PVC. Se incluye la parte proporcional de pequeño material y piezas especiales, además el conductor de protección necesario calculado en la instalación de puesta a tierra. Instaladas, conectadas y en correcto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 4: Líneas de alumbrado y tomas de corriente en tubo de PVC al aire (Ud.)

Líneas aéreas monofásicas y con la misma sección de fase y neutro dispuestas en el interior de un tubo de PVC. Se incluye la parte proporcional de pequeño material y piezas especiales, además del conductor de protección necesario calculado en la instalación de puesta a tierra. Instaladas, conectadas y en correcto estado de funcionamiento según el REBT.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Capítulo 2: Cuadros eléctricos

- Unidad de obra 22: Cuadros secundarios de distribución (Ud.)

Cuadros de distribución vacíos de tipo industrial con puerta para montar en pared con índice de protección IP40 y chasis de distribución. Totalmente instalado según el REBT.

- Unidad de obra 23: Cuadro general de distribución (Ud.)

Cuadro general de distribución vacío de tipo industrial con puerta para montar en pared con índice de protección IP40 y chasis de distribución. Totalmente instalado según el REBT.

Capítulo 3: Instalación alumbrado

- Unidad de obra 5: Iluminación general almacén y alrededores (Ud.)

Alumbrado general correspondiente a la zona general del almacén y de los alrededores con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 6: Iluminación general zona proceso industrial (Ud.)

Alumbrado general correspondiente a la zona del proceso industrial con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 7: Iluminación del CT (Ud.)

Alumbrado general correspondiente al centro de transformación con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 8: Iluminación general oficina (Ud.)

Alumbrado general correspondiente a la oficina con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 9: Iluminación general aseos (Ud.)

Alumbrado general correspondiente a la zona de descanso con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

- Unidad general de obra 10: Iluminación general zona de descanso (Ud.)

Alumbrado general correspondiente a la zona de descanso con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad general de obra 11: Iluminación emergencia (Ud.)

Alumbrado de emergencia dispuesto a lo largo del edificio industrial con las luminarias especificadas en la memoria descriptiva. Instalado, conectado y en perfecto estado de funcionamiento según el REBT.

Capítulo 4: Protección frente a sobreintensidades

- Unidad de obra 12: Pequeño interruptor automático tetrapolar (Ud.)

Interruptores magnetotérmicos automáticos tetrapolares con poderes de corte de 6 KA intensidad de disparo fija. Totalmente instalados, conectados y en correcto estado de funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 13: Pequeño interruptor automático tripolares (Ud.)

Interruptores magnetotérmicos automáticos tripolares con poderes de corte de 6 KA e intensidad de disparo fija. Totalmente instalados, conectados y en correcto estado de funcionamiento según el REBT

- Unidad de obra 14: Pequeño interruptor automático bipolares (Ud.)

Interruptores magnetotérmicos automáticos bipolares con poderes de corte de 6 KA e intensidad de disparo fija. Totalmente instalados, conectados y en correcto estado de funcionamiento según el REBT

- Unidad de obra 15: Interruptor automático ajustable (Ud.)

Interruptor automático ajustable de baja tensión tetrapolar con intensidad nominal de 320 A y poder de corte de 36 KA. Totalmente instalado, conectado y en correcto estado de funcionamiento según el REBT.

Capítulo 5: Protección frente a contactos indirectos

- Unidad de obra 16: Interruptor diferencial nivel de distribución 1 selectivo (Ud.)

Interruptor diferencial situado en el origen de la instalación. Se trata de un diferencial tetrapolar (situado sobre línea trifásica) $I\Delta N=1000$ mA, de tipo AC. Totalmente instalado, conectado y en perfecto funcionamiento según el REBT.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Cheste

- Unidad de obra 17: Interruptores diferenciales nivel de distribución 2 selectivos tetrapolares (Ud.)

Interruptores diferenciales situados en el nivel de distribución 2. Se trata de diferenciales tetrapolares $I\Delta N=300$ mA de tipo AC selectivos. Totalmente instalados, conectados y en perfecto funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 18: Interruptores diferenciales nivel de distribución 3 no selectivos tetrapolares (Ud.)

Interruptores diferenciales situados en el nivel de distribución 3. Se trata de diferenciales tetrapolares $I\Delta N=100$ mA de tipo AC no selectivos. Totalmente instalados, conectados y en perfecto funcionamiento según el REBT.

- Unidad de obra 19: Interruptores diferenciales nivel de distribución 3 no selectivos bipolares (Ud.)

Interruptores diferenciales situados en el nivel de distribución 3. Se trata de diferenciales bipolares $I\Delta N=100$ mA de tipo AC no selectivos. Totalmente instalados, conectados y en perfecto funcionamiento según el REBT.

Capítulo 6: Compensación energía reactiva

- Unidad de obra 20: Compensación de condensadores

Se instala una batería automática con distintos escalones de 19 Kvar. Incluye el microprocesador de control y conectores para conectar los pasos de los condensadores, interruptores y resistencias de descargas. Totalmente instalado, conexionado y en correcto funcionamiento según la REBT.

Capítulo 7: Tomas de corriente

- Unidad de obra 21: Tomas de corriente

Tomas de corriente simples y dobles de base saliente, monofásica (incluyendo neutro) y con grado de protección IP44. Totalmente instalada, conectada y en correcto funcionamiento según el REBT.

1.2. COMPOSICIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

En esta etapa, se procederá a determinar los recursos necesarios para llevar a cabo todas las unidades de trabajo, así como a establecer los precios unitarios y rendimientos correspondientes para definir el costo de cada una de ellas. Para obtener esta información, se recurrirá a estimaciones basadas en precios disponibles en internet. En algunos casos, los precios serán extraídos de los catálogos industriales de los dispositivos seleccionados, los cuales están referenciados en la bibliografía.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Para calcular el precio unitario de cada unidad de trabajo, además de considerar el rendimiento y costo de cada recurso utilizado, se tendrán en cuenta los costos directos adicionales. Estos últimos, al ser difíciles de precisar con exactitud se asignarán como el 5% del total de los costos directos derivados de los recursos empleados para realizar cada unidad de trabajo.

CAPÍTULO 1: SUMINISTRO

UNIDAD DE OBRA 1: líneas trifásicas bandeja 1

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1ª electricidad	6,65	h	20	132,99
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1x16 mm2	151,13	m	2,08	314,34
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 5x1,5mm2	21,43	m	0,98	20,89
Bandeja varilla inoxidable ancho 110x300mm	30,23	m	78	2357,55
Costes directos complementarios	5%		123	6,15
			Coste total	2831,92

UNIDAD DE OBRA 2: líneas trifásicas bandeja

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1ª electricidad	12,13	h	20	242,55
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1x16 mm2	276,08	m	2,08	574,24
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 5x6mm2	18,31	m	3,90	71,40
Bandeja varilla inoxidable ancho 111,25mm	55,13	m	130	7166,25
Costes directos complementarios	5%		155,98	7,80
			Coste total	8062,23

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

UNIDAD DE OBRA 3: Líneas trifásicas y monofásicas en tubo de PVC al aire (Ud.)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1ª electricidad	46,69	h	20	933,80
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 5 x 1,5 mm2	33,80	m	0,98	32,96
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 4 x 1,5 mm2	120,23	m	0,78	93,78
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 3 x 1,5 mm2	29	m	0,59	16,96
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 4 x 2,5 mm2	6,89	m	1,63	11,20
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 5 x 4 mm2	1,37	m	2,60	3,57
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 3 x 4 mm2	9,33	m	1,56	14,55
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 5 x 6mm2	14,33	m	3,90	55,87
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 4 x 6mm2	12,37	m	3,12	38,60
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 10 mm2	38,96	m	1,30	50,65
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 25 mm2	100	m	3,25	325
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 16 mm2	25	m	2,08	52,00
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 35 mm2	206,36	m	4,55	938,94
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 16 mm2	51,59	m	2,08	107,31
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 150 mm2	7	m	19,50	136,50
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 1 x 95 mm2	1,75	m	12,35	21,61

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Tubo rígido PVC 300mm	15	m	35	525
Tubo rígido PVC 200mm	1,75	m	23	40,25
Tubo rígido PVC 110mm	26,50	m	11,00	291,50
Tubo rígido PVC 100mm	17	m	8	136
Tubo rígido PVC 75 mm	29,50	m	5,70	168,15
Tubo rígido PVC 63 mm	17,70	m	4,50	79,65
Tubo rígido PVC 40 mm	46,50	m	2,40	111,60
Tubo rígido PVC 32 mm	16,50	m	1,80	29,70
Tubo rígido PVC 20mm	63	m	1,20	75,60
Costes directos complementarios	5%		172,86	8,64
			Coste total	4299,41

UNIDAD DE OBRA 4: Líneas monofásicas alumbrado y tomas de corriente en tubo de PVC al aire (Ud.)

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1ª electricidad	243	h	20	4860
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 3 x 1,5 mm2	563,56	m	0,59	329,68
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 3x 2,5 mm2	20,22	m	0,98	19,72
Cable Cu/XLPE rígido RV 0,6/1 KV 3 x 4 mm2	42,86	m	1,56	66,87
Tubo rígido PVC 150mm	5	m	16	80
Tubo rígido PVC 100mm	8,40	m	8	67,20
Tubo rígido PVC 40 mm	17	m	2,40	40,80
Tubo rígido PVC 20 mm	1070	m	1,20	1284

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

Costes directos complementarios 5 %	5%	50,72	2,54
		coste total	6750,80

CAPÍTULO 3: INSTALACIÓN ALUMBRADO

UNIDAD DE OBRA 5: iluminación general almacén y alrededores

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	30,50	h	20	610
Especialista electricidad	30,50	h	19	579,50
luminaria pendular 18w	61	Ud.	54	3294
costes complementarios	5%		93	4,65
			coste total	4488,15

UNIDAD DE OBRA 6: iluminación general zona de proceso industrial

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	35,50	h	20	710
Especialista electricidad	35,50	h	19	674,50
luminaria pendular 38w	71	Ud.	60	4260
costes complementarios	5%		99	4,95
			coste total	5649,45

UNIDAD DE OBRA 7: iluminación general CT

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	4,50	h	20	90
Especialista electricidad	4,50	h	19	85,50

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

luminaria empotrada techo 8,4w	12	Ud.	4,90	58,80
costes complementarios	5%		43,90	2,20
			coste total	236,50

UNIDAD DE OBRA 8: iluminación general oficina

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	1,50	h	20	30
Especialista electricidad	1,50	h	19	28,50
luminaria empotrada techo 48w	5	Ud.	30,25	151,25
costes complementarios	5%		69,25	3,4625
			coste total	213,21

UNIDAD DE OBRA 9: iluminación general aseos

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	11,50	h	20	230
Especialista electricidad	11,50	h	19	218,50
luminaria empotrada en techo 9,9w	27	Ud.	5,20	140,40
costes complementarios	5%		44,20	2,21
			coste total	591,11

UNIDAD DE OBRA 10: iluminación general zona de descanso

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	6	h	20	120
Especialista electricidad	6	h	19	114

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

luminaria empotrada en techo 8,4w	15	Ud.	4,9	73,50
costes complementarios	5%		43,9	2,20
			coste total	309,70

UNIDAD DE OBRA 11: iluminación emergencia

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	23,5	h	20	470
Especialista electricidad	23,5	h	19	446,50
luminaria pendular	30	Ud.	85	2550
luminaria empotrada techo	17	Ud.	27	459
costes complementarios	5%		151	3,02
			coste total	3458,52

CAPÍTULO 4: PROTECCIÓN FRENTE A SOBREENTENSIDADES

UNIDAD DE OBRA 12: Pequeños interruptores automáticos tetrapolares

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	8	h	20	160
INTERRUPTOR S204 C-80	4	Ud.	515	2060
INTERRUPTOR S204 C-63	1	Ud.	201,15	201,15
INTERRUPTOR S204 C-32	2	Ud.	117	234
INTERRUPTOR S204 C-16	1	Ud.	51	51
INTERRUPTOR S204 C-13	4	Ud.	42,50	170
costes complementarios	5%		946,65	47,33

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

coste total	2923,48
--------------------	---------

UNIDAD DE OBRA 13: Pequeños interruptores automáticos tripolares

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	9,34	h	20	186,80
INTERRUPTOR S203 D-10	12	Ud.	70,80	849,60
INTERRUPTOR S203 D-16	1	Ud.	104	104
INTERRUPTOR S203 D-25	1	Ud.	70,80	70,80
costes complementarios	5%		265,60	13,28
			coste total	1224,48

UNIDAD DE OBRA 14: Pequeños interruptores automáticos bipolares

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	15	h	20	300
INTERRUPTOR S202 D-40	1	Ud.	54	54
INTERRUPTOR S202 C-25	1	Ud.	26	26
INTERRUPTOR S202 C-20	5	Ud.	32	160
INTERRUPTOR S202 D-16	8	Ud.	40,16	321,28
INTERRUPTOR S202 D-13	5	Ud.	54,54	272,70
INTERRUPTOR S202 D-10	3	Ud.	25,83	77,49
costes complementarios	5%		252,53	12,63
			coste total	1224,10

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

UNIDAD DE OBRA 15: Interruptor automático ajustable

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	0,67	h	20	13,40
Especialista electricidad	0,67	h	19	12,73
DPX3 320A	1	Ud.	4941,24	4941,24
costes complementarios	5%		4980,24	249,01
			coste total	5216,38

CAPÍTULO 5: PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS

UNIDAD DE OBRA 16: interruptor diferencial nivel 1

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	0,67	h	20	13,40
Especialista electricidad	0,67	h	19	12,73
Bloque diferencial electrónico ajustable 4P 400 A IΔN = 1000mA	1	Ud.	986,82	986,82
costes complementarios	5%		1025,82	51,29
			coste total	1064,24

UNIDAD DE OBRA 17: interruptores diferenciales tetrapolares nivel 2

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	5,30	h	20	106
iID 4P 80 A IΔN = 300mA	4	Ud.	1516,14	6064,56
F204 AC- s-40 IΔN = 300mA	3	Ud.	87	261
DDA204 AC-S-63 IΔN = 300mA	1	Ud.	96	96

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

costes complementarios	5%	1719,14	85,96
		coste total	6613,52

UNIDAD DE OBRA 18: interruptores diferenciales tetrapolares nivel 3

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	2,67	h	20	53,40
F204 AC-25 IΔN = 100mA	4	Ud.	78	312
costes complementarios	5%		98	4,90
			coste total	370,30

UNIDAD DE OBRA 19: interruptores diferenciales bipolares nivel 3

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	3,34	h	20	66,80
F202 AC-25 IΔN = 100mA	5	Ud.	57	285
costes complementarios	5%		77	3,85
			coste total	355,65

CAPÍTULO 6: COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA

UNIDAD DE OBRA 20: Compensación de reactiva

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	0,67	h	20	13,40
Especialista electricidad	0,67	h	19	12,73
Batería de condensadores 19KVAR	1	Ud.	855	855

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

costes complementarios	5%	894	44,70
		coste total	925,83

CAPÍTULO 7: TOMAS DE CORRIENTE

UNIDAD DE OBRA 21: tomas de corriente

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	0,67	h	20	13,40
Toma de corriente simple	5	Ud.	11	55
toma de corriente doble	3	Ud.	21	63
costes complementarios	5%		52	2,60
			coste total	134

CAPÍTULO 2: CUADROS ELÉCTRICOS

UNIDAD DE OBRA 22: cuadros de distribución

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Oficial 1º electricidad	22	h	20	440
Especialista electricidad	22	h	19	418
LVSXL313> Cuadro eléctrico superficie PrismaSeT XS 13 - 3 Filas	1	Ud.	82	82
LVSXL213> Cuadro eléctrico superficie PrismaSeT XS 13 - 2 Filas	3	Ud.	57	171
LVSXL118 > Cuadro eléctrico superficie PrismaSeT XS 18 - 1 Filas	3	Ud.	61	183
costes complementarios	5%		239	11,95
			coste total	1305,95

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

1.3. MEDICIONES

En esta fase, se procede a realizar las mediciones correspondientes de las diversas unidades de trabajo que componen la evaluación económica para la ejecución de la acción especificada en cada una de ellas. Estas mediciones se basan en las dimensiones registradas en los planos que se presentarán posteriormente. Se asigna una unidad de medida para cada unidad de trabajo identificada.

1.4. PRESUPUESTOS PARCIALES

En este apartado se disponen los presupuestos correspondientes de ejecución de material, divididos en tantos presupuestos parciales como capítulos hay.

PRESUPUESTO PARCIAL 1

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Líneas trifásicas bandeja 1	1	Ud.	2831,92	2831,92
Líneas trifásicas bandeja 2	1	Ud.	8062,23	8062,23
Líneas trifásicas y monofásicas en tubo de PVC al aire	1	Ud.	4299,40	4299,40
Líneas monofásicas alumbrado y tomas de corriente en tubo de PVC al aire	1	Ud.	6750,80	6750,80
			coste total	21944,36

PRESUPUESTO PARCIAL 2

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
cuadros de distribución	1	Ud.	1305,95	1305,95
			coste total	1305,95

PRESUPUESTO PARCIAL 3

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
iluminación general almacén y alrededores	1	Ud.	4488,15	4488,15

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

iluminación general zona de proceso industrial	1	Ud.	5649,45	5649,45
iluminación general CT	1	Ud.	236,50	236,50
iluminación general oficina	1	Ud.	213,21	213,21
iluminación general aseos	1	Ud.	591,11	591,11
iluminación general zona de descanso	1	Ud.	309,70	309,70
iluminación general emergencia	1	Ud.	3458,52	3458,52
			coste total	14946,63

PRESUPUESTO PARCIAL 4

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Pequeños interruptores automáticos tetrapolares	1	Ud.	2923,48	2923,48
Pequeños interruptores automáticos tripolares	1	Ud.	1224,48	1224,48
Pequeños interruptores automáticos bipolares	1	Ud.	1224,10	1224,10
Interruptor automático ajustable	1	Ud.	5216,38	5216,38
			coste total	10588,44

PRESUPUESTO PARCIAL 5

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
interruptor diferencial tetrapolar selectivo nivel 1	1	Ud.	1064,24	1064,24
interruptores diferenciales tetrapolares selectivos nivel 2	1	Ud.	6613,52	6613,52

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

interruptores diferenciales tetrapolares no selectivos nivel 3	1	Ud.	370,30	370,30
interruptores diferenciales bipolares no selectivos nivel 3	1	Ud.	355,65	355,65
			coste total	8403,71

PRESUPUESTO PARCIAL 6

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
compensación de reactiva	1	Ud.	925,83	925,83
			coste total	925,83

PRESUPUESTO PARCIAL 7

Descripción	Cantidad	Unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Tomas de corriente	1	Ud.	134	134
			coste total	134

1.5. TRABAJO DEL INGENIERO

Se deben sumar al presupuesto de ejecución por contrata los honorarios del ingeniero por la elaboración del proyecto.

Descripción unidades de obra

	Medición	unidades	Precio(€)/Ud.	Importe (€)
Sueldo ingeniero en Tecnologías industriales (IRPF y SS incluido)	300	h	17,5	5250

1.6. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Este presupuesto está compuesto por la suma de todos los presupuestos parciales definidos.

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión de 150Kw para industria dedicada a la fabricación de helados situada en Ceste

PRESUPUESTO PARCIAL 1: SUMINISTRO	21944,36€
PRESUPUESTO PARCIAL 2: CUADROS DE DISTRIBUCIÓN	1305,95€
PRESUPUESTO PARCIAL 3: ALUMBRADO	14946,63€
PRESUPUESTO PARCIAL 4: PROTECCIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES	10588,44€
PRESUPUESTO PARCIAL 5: PROTECCIÓN FRENTE CONTACTOS INDIRECTOS	8403,71€
PRESUPUESTO PARCIAL 6: COMPENSACIÓN DE REACTIVA	925,83€
PRESUPUESTO PARCIAL 7: TOMAS DE CORRIENTE	134€

Presupuesto ejecución de material: 58248,92€

1.7. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Al presupuesto de ejecución material hay que añadirle los gastos generales, el beneficio industrial y el trabajo realizado por el ingeniero. Para obtener el presupuesto final, hay que añadirle finalmente el IVA.

Presupuesto ejecución de material: 58248,92€

13 % (sobre PEM) Gastos generales: 7572,36€

6 % (sobre PEM) Beneficio industria: 3494,94€

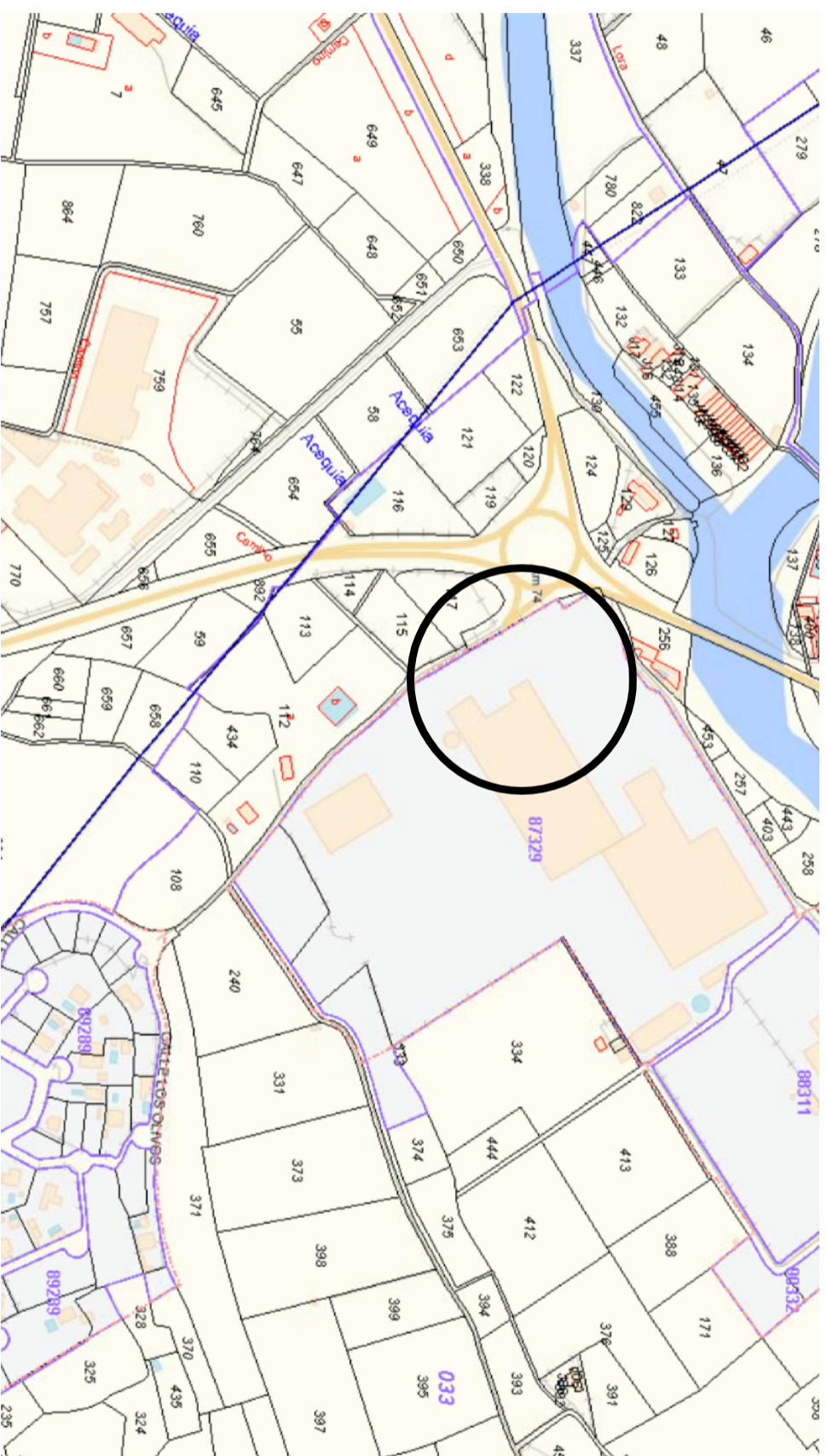
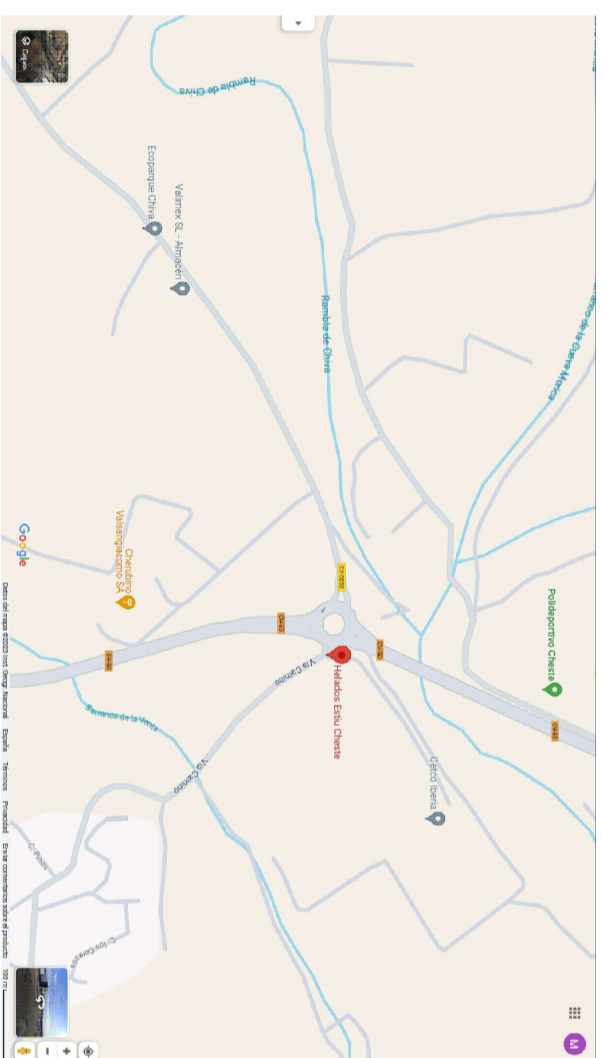
Trabajo ingeniero: 5250€

Presupuesto bruto: 74566,21€

IVA (21 %):15658,90€

Presupuesto de ejecución por contrata: 90225,12€

DOCUMENTO N.º 4: PLANOS



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA INDUSTRIAL DE VALÈNCIA

Proyecto: PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSION DE 150KW PARA INDUSTRIA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE HELADOS, CHESTE

Plano: SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

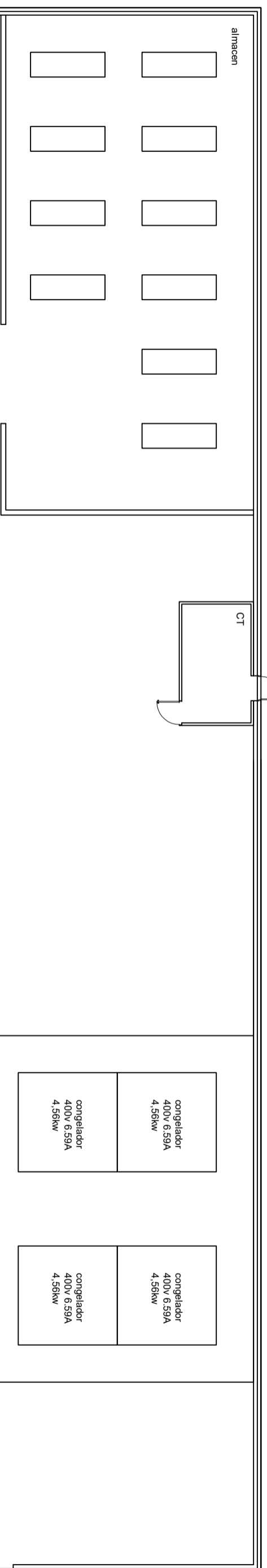
Autor: Mario Santana Ramos

Fecha: Diciembre 2023

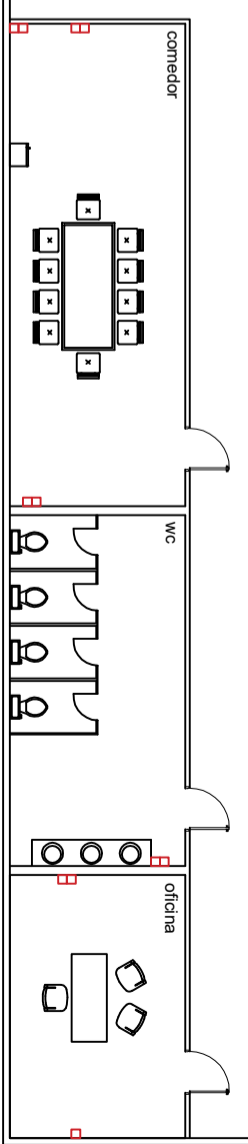
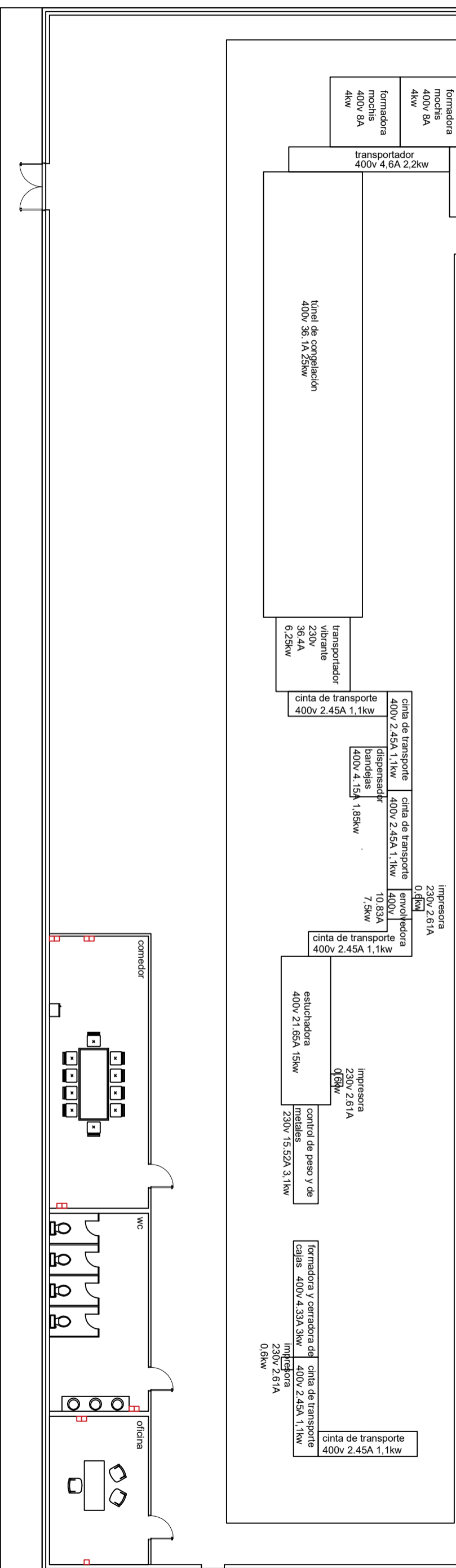
Escala:

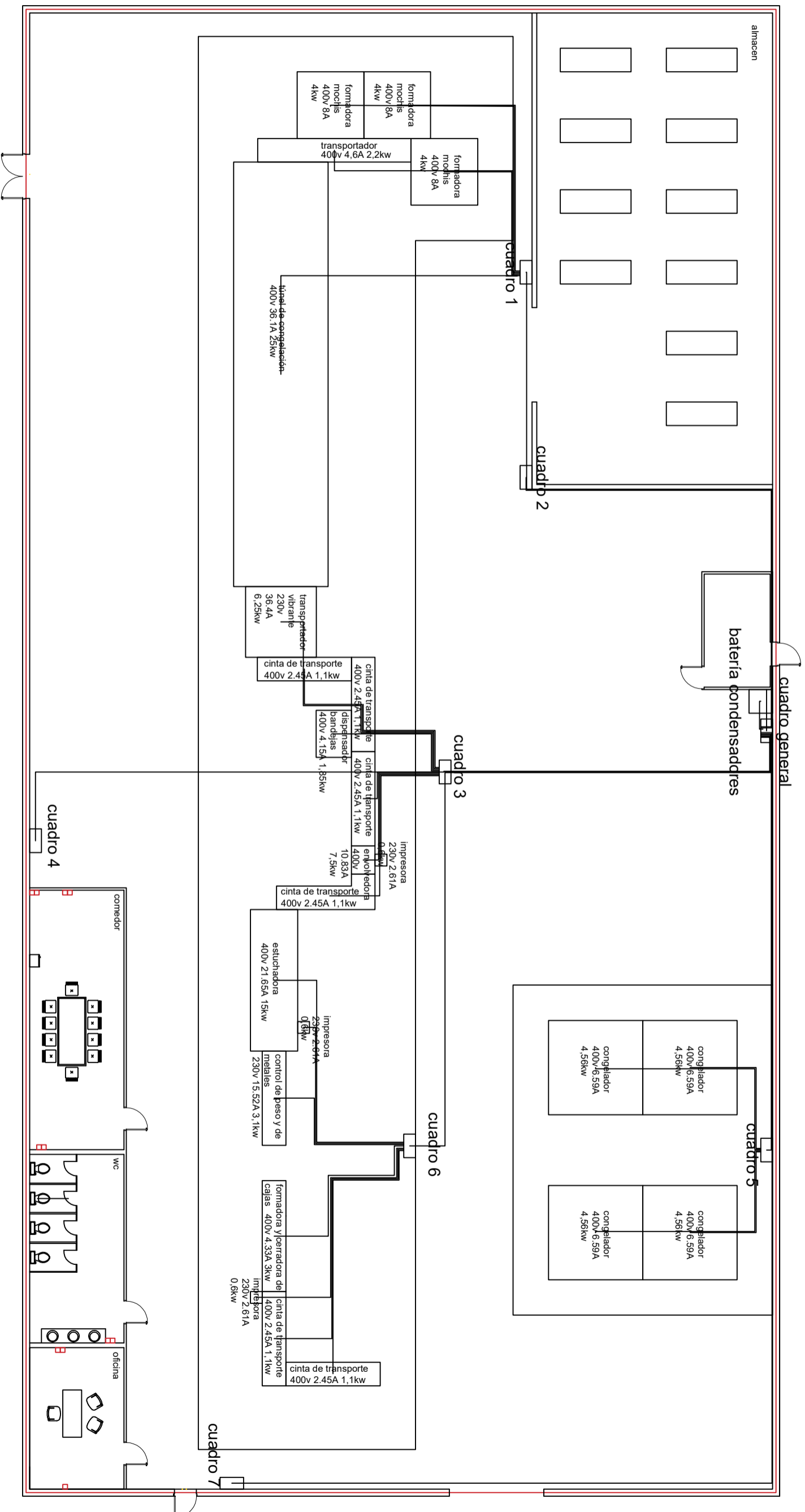
Nº Plano:

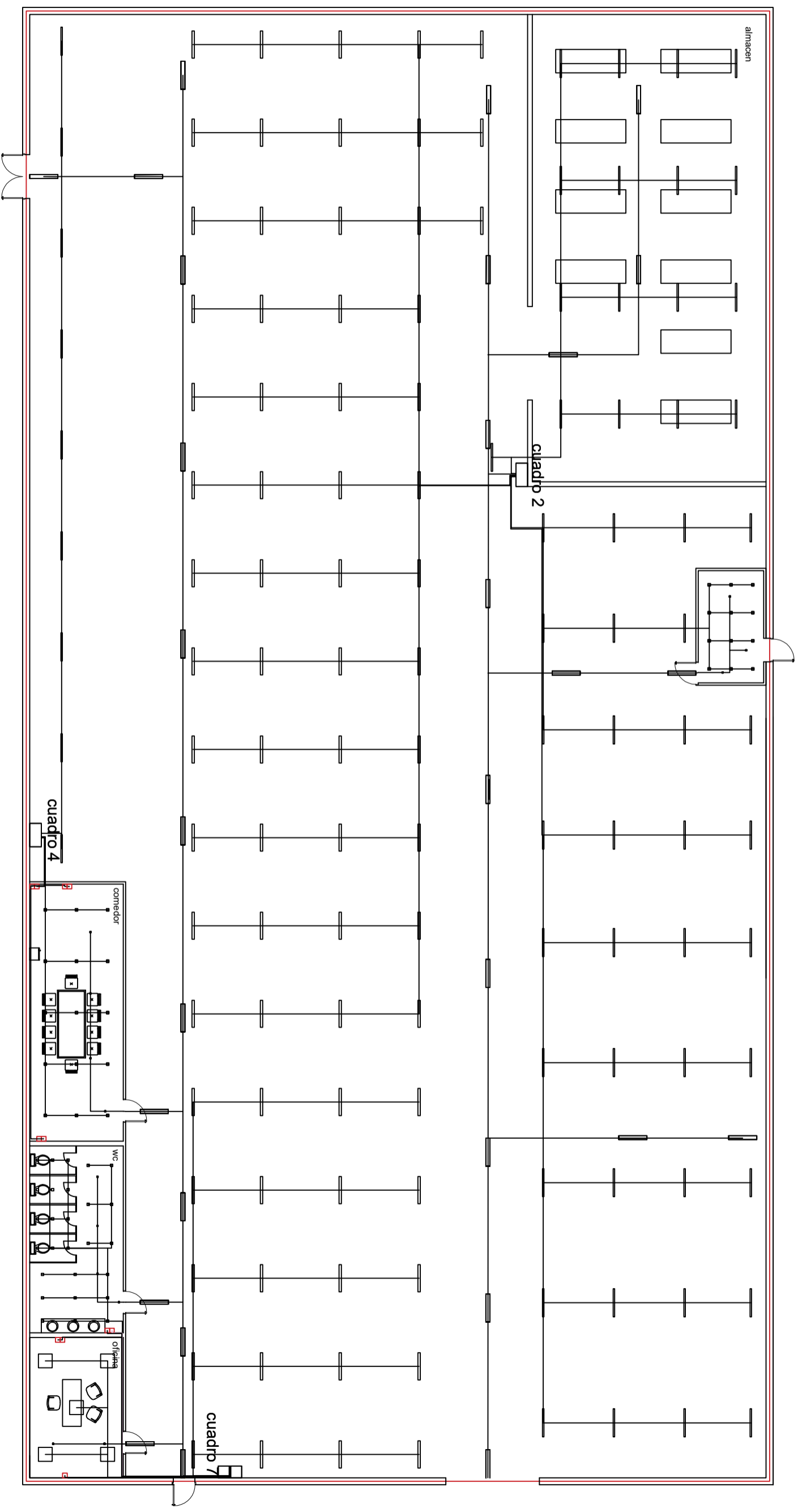
1

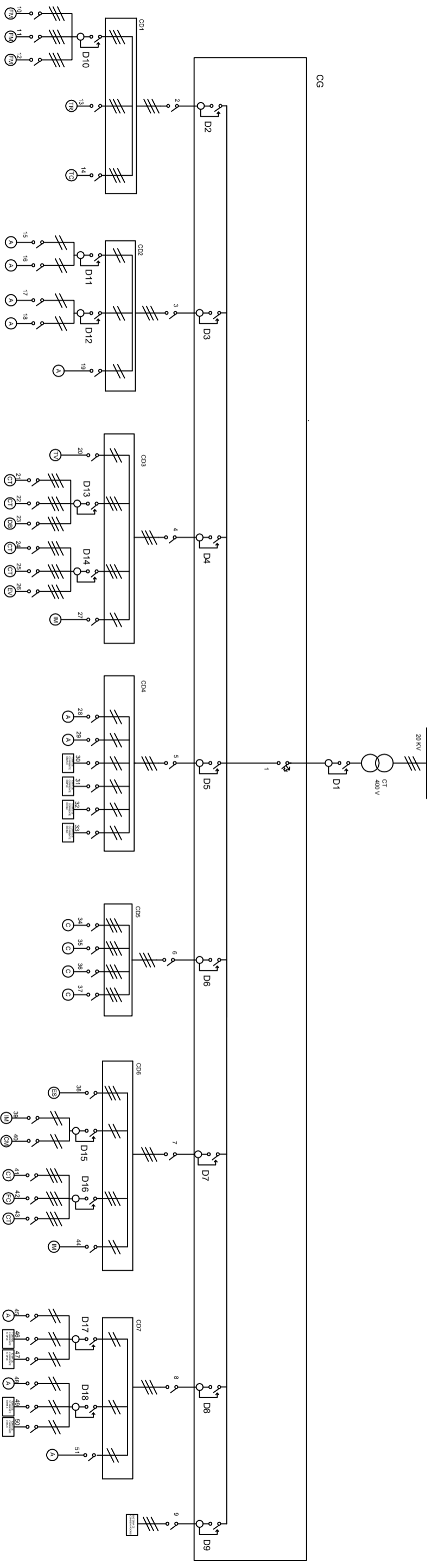


zona de trabajo









LEYENDA

	TRANSFORMADOR	⊙	impresora
	INT. DIFERENCIAL	⊙	dispensa. bandejas
	INT. AUTOMÁTICO	⊙	envolvedora
	PIA	⊙	congelador
	L. TRIFÁSICA	⊙	estuchadora
	L. MONOFÁSICA	⊙	control metales
	formadora mochis	⊙	formadora cajas
	transportador	⊙	alumbrado
	túnel congelación	⊙	toma de corriente simple
	trans. vibrante	⊙	toma de corriente doble
	cinta transport.	⊙	batería condensadores



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA
TÉCNICA
SUPERIOR
INGENIERÍA
INDUSTRIAL
VALENCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES

Proyecto: PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSION DE 150KW PARA INDUSTRIA DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE HELADOS, CHESTE

Plano: ESQUEMA UNIFILAR

Autor: Mario Santana Ramos

Fecha: Diciembre 2023

Escala:

Nº Plano:

5