

Índice

Índice	i
Índice de Tablas	iii
Notación	v
2 MEMORIA DE CÁLCULO	1
2.1 Línea de Media Tensión	1
2.1.1 Cálculo del Conductor de Media Tensión	1
2.1.1.1 Criterio de Intensidad Máxima Admisible	1
2.1.1.2 Criterio de Intensidad de Cortocircuito	2
2.1.1.3 Criterio de Caída de Tensión	3
2.2 Centro de Transformación	4
2.2.1 Estudio de la Potencia Necesaria	4
2.2.2 Cálculos Eléctricos	4
2.2.2.1 Intensidades Nominales	4
2.2.2.2 Intensidades de Cortocircuito	5
2.2.3 Dimensionado del Embarrado	6
2.2.3.1 Comprobación por Densidad de Corriente	6
2.2.3.2 Comprobación por Solicitud Electrodinámica	6
2.2.3.3 Comprobación por Solicitud Térmica. Sobreintensidad Térmica Admisible	7
2.2.4 Protecciones de Alta Tensión	7
2.2.5 Dimensionado de la Ventilación del Centro de Transformación	7
2.2.6 Dimensionado del Pozo Apagafuegos	7
2.2.7 Cálculo de la Instalación de Puesta a Tierra	8
2.2.7.1 Investigación de las Características del Terreno	8
2.2.7.2 Determinación de las Corrientes Máximas de Puesta a Tierra y del Tiempo Máximo de Eliminación del Defecto	8
2.2.7.3 Diseño Preliminar de la Instalación de Tierra	9
2.2.7.4 Cálculo de la Resistencia del Sistema de Tierras	9
2.2.7.5 Cálculo de las Tensiones de Paso y de Contacto en el Exterior de la Instalación	10
2.2.7.6 Cálculo de las Tensiones de Paso y de Contacto en el Interior de la Instalación	10

2.2.7.7	Cálculo de las Tensiones Aplicadas	11
2.2.7.8	Investigación de Tensiones Transferibles al Exterior	12
2.3	<i>Red de Baja Tensión</i>	14
2.3.1	Normativa	14
2.3.2	Consideraciones Generales	14
2.3.3	Círculo de Alimentación del CGD	16
2.3.4	Círculo 1	17
2.3.4.1	Línea L.1	17
2.3.4.2	Líneas C.S.1 a Consumos	18
2.3.5	Círculo 2	20
2.3.5.1	Línea L.2	20
2.3.5.2	Líneas C.S.2 a Consumos	21
2.3.6	Círculo 3	23
2.3.6.1	Línea L.3	23
2.3.6.2	Líneas C.S.3 a Consumos	24
2.3.7	Círculo 4	26
2.3.7.1	Línea L.4	26
2.3.7.2	Línea C.S.4 a Consumos	27
2.3.8	Círculo 5	28
2.3.8.1	Línea L.5	28
2.3.8.2	Línea L.5 a Consumos	29
2.3.9	Círculo 6	31
2.3.9.1	Línea L.6	31
2.3.9.2	Línea L.6 a Consumos	32
2.3.10	Círculo 7	34
2.3.10.1	Línea L.7	34
2.3.10.2	Línea L.7 a Consumos	35
2.3.11	Círculo 8	37
2.3.11.1	Línea L.8	37
2.3.12	Compensación de Potencia Reactiva	38
2.3.13	Protecciones	39
2.3.13.1	Intensidades de cortocircuito	39
2.3.13.2	Protecciones	45
2.3.13.3	Puesta a Tierra de la Nave	54

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Resumen Cálculos Líneas L.1-L.1.6

Tabla 2.2. Resumen Cálculos Líneas L.1.7-L.1.11

Tabla 2.3. Resumen Cálculos Líneas L.2-L.2.7

Tabla 2.4. Resumen Cálculos Líneas L.2.8-L.2.10

Tabla 2.5. Resumen Cálculos Líneas L.3-L.3.6

Tabla 2.6. Resumen Cálculos Líneas L.3.7-L.3.13

Tabla 2.7. Resumen Cálculos Líneas L.4-L.4.4

Tabla 2.8. Resumen Cálculos Líneas L.5-L.5.6

Tabla 2.9. Resumen Cálculos Líneas L.5.7-L.5.12

Tabla 2.10. Resumen Cálculos Líneas L.6-L.6.6

Tabla 2.11. Resumen Cálculos Líneas L.6.7-L.6.10

Tabla 2.12. Resumen Cálculos Líneas L.7-L.7.5

Tabla 2.13. Resumen Cálculos Líneas L.7.6-L.7.13

Tabla 2.14. Corrientes de Cortocircuito Circuito 1

Tabla 2.15. Corrientes de Cortocircuito Circuito 2

Tabla 2.16. Corrientes de Cortocircuito Circuito 3

Tabla 2.17. Corrientes de Cortocircuito Circuito 4

Tabla 2.18. Corrientes de Cortocircuito Circuito 5

Tabla 2.19. Corrientes de Cortocircuito Circuito 6

Tabla 2.20. Corrientes de Cortocircuito Circuito 7

Tabla 2.21. Protecciones Circuito 1

Tabla 2.22. Protecciones Circuito 2

Tabla 2.23. Protecciones Circuito 3

Tabla 2.24. Protecciones Circuito 4

Tabla 2.25. Protecciones Circuito 5

Tabla 2.26. Protecciones Circuito 6

Tabla 2.27. Protecciones Circuito 7

Notación

A	Amperio
Al	Aluminio
CGBT	Cuadro General de Baja Tensión
CGD	Cuadro General de Distribución
C.S	Cuadro Secundario
Cu	Cobre
km	kilómetro
kV	kilovoltio
kW	kilowatio
kVA	kilovoltamperio
kVar	kilovoltamperio reactivo
m	metro
min	minuto
mm	milímetros
MVA	Megavoltamperio
Ω	Ohmio
V	Voltio
s	segundo

2 MEMORIA DE CÁLCULO

2.1 Línea de Media Tensión

2.1.1 Cálculo del Conductor de Media Tensión

Para el dimensionado de la línea subterránea de media tensión se tendrán en cuenta:

- La ITC-LAT 06 del RAT.
- Normas de Sevillana Endesa.
- Catálogo del fabricante del conductor, en este caso se trata de Prysmian.

Las condiciones de la línea son las siguientes:

- Profundidad: 0,6 m.
- Resistividad térmica del terreno: 1,5 Km/W.
- Una terna de cables unipolares bajo tubo.
- Temperatura del terreno 25°C.

2.1.1.1 Criterio de Intensidad Máxima Admisible

La intensidad nominal de la línea viene dada por la expresión:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Donde:

- $S_n = 630$ kVA, potencia del transformador.
- $U_n = 20$ kV, tensión nominal de la red.

Sustituyendo valores, tendremos: $I_n = 18,19$ A.

Según los datos del fabricante (o ITC-LAT 06, tabla 12), la intensidad máxima admisible para el conductor de 240 mm² de sección es $I_{max.ad} = 320$ A.

A esta intensidad hay que aplicarle el factor de corrección por profundidad pues el resto de condiciones son las estándares para el conductor, en este caso se trata de $K_p = 1,03$.

Se ha de cumplir en todo caso que:

$$I_{\max.ad} \cdot K_p \geq I_n$$

Sustituyendo tendremos:

$$320 \cdot 1,03 \rightarrow 329,60 \geq 18,19$$

2.1.1.2 Criterio de Intensidad de Cortocircuito

La intensidad de cortocircuito vendrá dada por:

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

donde:

$S_{cc} = 500$ MVA, es la potencia de cortocircuito de la red.

$U_n = 20$ kV, es la potencia nominal de la red.

Por tanto: $I_{cc} = 14,43$ kA.

Este valor será la máxima corriente de cortocircuito que puede presentarse, ya que la línea subterránea aumenta la impedancia de la red, disminuyéndose así cualquier corriente de cortocircuito que pueda originarse en la línea subterránea. El conductor elegido deberá por tanto soportar una corriente de al menos ese valor.

Debe cumplirse en todo caso que:

$$I_{cc.adm} \geq I_{cc}$$

Siendo $I_{cc.adm}$ la máxima corriente de cortocircuito que puede soportar el cable elegido.

Del catálogo del fabricante puede obtenerse en tablas dicha corriente admisible. En este caso para la duración de 1 segundo y conductor de 240 mm^2 se tiene que el máximo valor de corriente de cortocircuito soportada por el cable es de aproximadamente 22 kA.

Mediante la ITC-LAT 06 (tabla 26), puede obtenerse el valor exacto de la intensidad máxima admisible de cortocircuito para un conductor de 240 mm^2 y duración del defecto de 1 s. En dicha tabla se facilita la densidad máxima admisible de cortocircuito. En nuestro caso corresponderá a 94 A/mm^2 . Multiplicando por la sección nos da la intensidad, concretamente $22,56 \text{ kA}$, valor aproximado al que da el fabricante.

Por tanto la sección elegida cumple el criterio por corriente de cortocircuito.

Se puede comprobar que el conductor de 150 mm^2 de sección no es suficiente para cumplir el criterio de cortocircuito pues la intensidad máxima admisible resultaría $94 \cdot 150 = 14,1 \text{ kA}$, que es insuficiente ante I_{cc} . Por esta razón elegimos el conductor de 240 mm^2 .

2.1.1.3 Criterio de Caída de Tensión

A pesar de que la caída de tensión en líneas de tensión subterráneas tiene poca importancia se realizará el cálculo de la misma.

La caída vendrá dada por la expresión:

$$\Delta U = L \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot ((R \cdot \cos \varphi) + (X \cdot \sin \varphi))$$

En nuestro caso:

$$L = 196 \text{ m}$$

$$I = 18,18 \text{ A}$$

$$R = 0,161 \Omega/\text{Km}$$

$$X = 0,114 \Omega/\text{Km}$$

$$\cos \varphi = 0,8$$

$$\sin \varphi = 0,6$$

Sustituyendo tenemos que $\Delta U = 1,21 \text{ V}$.

En porcentaje: 0,00608 %.

2.2 Centro de Transformación

2.2.1 Estudio de la Potencia Necesaria

En este apartado se indica la potencia mínima que ha de tener el centro de transformación a partir de la cual se adoptará la potencia nominal del transformador.

Una vez realizado el estudio de los consumos en baja tensión se obtienen los siguientes resultados:

- Zona de chapistería 230 kVA
- Zona de soldadura 56,25 kVA
- Instalación de Pintura 45,28 kVA
- Zona de montaje 12,5 kVA
- Iluminación 28,78 kVA
- Climatización 14 kVA
- Aire comprimido 56,25 kVA
- Ascensor 6,25 kVA
- Tomas de corriente 46,57 kVA

Por lo que resulta un consumo total de 495,88 kVA, este resultado lo multiplicamos por un factor de 1,2 ante posibles ampliaciones en el futuro, teniendo definitivamente un consumo aproximado de 595 kVA.

Por tanto es necesario un transformador de al menos 630 kVA.

2.2.2 Cálculos Eléctricos

Para realizar los cálculos eléctricos es necesario conocer cuáles son los datos eléctricos más significativos del centro de transformación y de la red de suministro. Éstos son los siguientes:

- Potencia nominal del transformador 630 kVA
- Potencia de cortocircuito de la red 500 MVA
- Tensión nominal en M.T. 20 kV
- Tensión nominal en B.T. 230/400 V
- Intensidad máxima a tierra 1000 A
- Tiempo máximo de desconexión 1 s

2.2.2.1 Intensidades Nominales

Para el cálculo de estas corrientes se considera al transformador trabajando a la máxima potencia, la intensidad

de alta vendrá dada entonces por:

$$I_p = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Donde:

$$S_n = 630 \text{ kVA}$$

$$U_n = 20 \text{ kV}$$

Tendremos que la intensidad en el primario del transformador es: $I_p = 18,19 \text{ A}$.

En el lado de baja tensión tendremos:

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Con:

$$S_n = 630 \text{ kVA}$$

$$U_n = 400 \text{ V}$$

Tendremos que la intensidad del secundario será: $I_s = 909,33 \text{ A}$.

2.2.2.2 Intensidades de Cortocircuito

Para el cálculo de corrientes de cortocircuito se considera una potencia de cortocircuito de 500 MVA, dato proporcionado por la compañía suministradora.

La corriente de cortocircuito en el lado de alta vendrá dada por:

$$I_{cc_p} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Donde:

$$S_{cc} = 500 \text{ MVA}$$

$$U_n = 20 \text{ kV}$$

Tendremos por tanto: $I_{cc_p} = 14,43 \text{ kA}$.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en el lado de baja hay que introducir la influencia del transformador en la potencia de cortocircuito.

De este modo, dicha corriente vendrá dada por la expresión (despreciando la impedancia de la red):

$$I_{cc_s} = \frac{100 \cdot S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot E_{cc}}$$

Donde:

$$S_n = 630 \text{ kVA}$$

$$E_{cc} = 4\%$$

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$\text{Por tanto, } I_{cc_s} = 22,73 \text{ kA.}$$

2.2.3 Dimensionado del Embarrado

Como resultado de los ensayos que han sido realizados a las celdas por el fabricante no son necesarios los cálculos teóricos ya que con los certificados de ensayo quedan justificados los valores que se indican en esta memoria como en las placas de características de las celdas.

2.2.3.1 Comprobación por Densidad de Corriente

La comprobación por densidad de corriente tiene como objeto verificar que no se supera la máxima densidad de corriente admisible por el elemento conductor cuando por él circule un corriente igual a la corriente nominal máxima.

Para las celdas modelo RM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51168218XB realizado por VOLTA.

Para las celdas modelo SM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51249139XA realizado por VOLTA.

2.2.3.2 Comprobación por Solicitación Electrodinámica

La comprobación por solicitud electrodinámica tiene como objeto verificar que los elementos conductores de las celdas incluidas en este proyecto son capaces de soportar el esfuerzo mecánico derivado de un defecto de cortocircuito entre fase.

Para las celdas modelo RM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51168210XB realizado por VOLTA.

Para las celdas modelo SM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación

que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51249068XA realizado por VOLTA.

Los ensayos garantizan una resistencia electrodinámica de 40kA.

2.2.3.3 Comprobación por Solicitud Térmica. Sobreintensidad Térmica Admisible

La comprobación por solicitud térmica tiene como objetivo comprobar que por motivo de la aparición de un defecto o cortocircuito no se producirá un calentamiento excesivo del elemento conductor principal de las celdas que pudiera así dañarlo.

Para las celdas modelo RM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51168210XB realizado por VOLTA.

Para las celdas modelo SM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51249068XA realizado por VOLTA.

Los ensayos garantizan una resistencia térmica de 16 kA 1 segundo.

2.2.4 Protecciones de Alta Tensión

Para la protección de los transformadores su usarán fusibles cuyo poder de ruptura vendrá dado según las NPS (Capítulo IV, 2.3.3). Deberán cumplir con las normas UNE 21120 y ONSE 54.25-01, por tanto los fusibles en la lado de alta serán de 63 A.

2.2.5 Dimensionado de la Ventilación del Centro de Transformación

Las rejillas de ventilación de los edificios prefabricados están diseñadas y dispuestas sobre las paredes de manera que la circulación del aire ventile eficazmente la sala del transformador. El diseño se ha realizado cumpliendo los ensayos de calentamiento según la norma UNE-EN 61330, tomando como base de ensayos transformadores de 1000 kVA según la norma UNE 21428-1. Todas las rejillas de ventilación van provistas de una tela metálica mosquitero.

2.2.6 Dimensionado del Pozo Apagafuegos

El pozo de recogida de aceite tiene que ser capaz de alojar la totalidad de volumen de refrigerante que contiene el transformador en caso de su vaciamiento total. Según las normas de Sevillana Endesa, el depósito debe tener al menos 650 litros por cada transformador. En nuestro caso, el prefabricado dispone de una cuba de

recogida de 760 litros y dispone de una bandeja cortafuegos de acero galvanizado perforada y cubierta por grava.

2.2.7 Cálculo de la Instalación de Puesta a Tierra

2.2.7.1 Investigación de las Características del Terreno

El estudio de las características del terreno donde estará instalado el centro de transformación indica que la resistividad es de $100 \Omega \cdot m$.

2.2.7.2 Determinación de las Corrientes Máximas de Puesta a Tierra y del Tiempo Máximo de Eliminación del Defecto

Según los datos proporcionados por la compañía suministradora, el tiempo máximo de desconexión del defecto es de 1 segundo. Según la MIE-RAT 13, los valores de las constantes K y n para el cálculo de la tensión máxima de contacto aplicada son, por tanto, para ese tiempo:

$$K=78,5 \text{ y } n=0,18.$$

Por otro lado, los valores de la impedancia de puesta a tierra del neutro son $R_n = 12 \Omega$ y $X_n = 0 \Omega$. Valores también suministrados por la compañía.

La impedancia de puesta a tierra del neutro vendrá dada por:

$$|Z_n| = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$$

Con lo que $Z_n = 12 \Omega$.

La intensidad máxima de defecto se producirá en el hipotético caso en que la resistencia de puesta a tierra del centro de transformación sea nula. Dicha intensidad vendrá dada por:

$$I_d = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

Donde:

$$U_n = 20000 \text{ V}$$

$$R_t = 0 \Omega$$

$$Z_n = 12 \Omega$$

$$\text{por tanto } I_d = 962,25 \text{ A.}$$

Este valor la compañía suministradora lo redondea a 1000 A.

2.2.7.3 Diseño Preliminar de la Instalación de Tierra

2.2.7.3.1 Tierra de Protección

Para los cálculos emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las siguientes características:

Identificación: 5/32 del método de cálculo de tierras de UNESA.

Parámetros característicos:

- $K_r = 0,135 \Omega/(\Omega \cdot m)$
- $K_p = 0,0252 V/(\Omega \cdot m \cdot A)$

2.2.7.3.2 Tierra de Servicio

Para la tierra de servicio optaremos por un sistema de las siguientes características:

Identificación: 5/22 del método de cálculo de tierras de UNESA.

Parámetros característicos:

- $K_r = 0,201 \Omega/(\Omega \cdot m)$
- $K_p = 0,0392 V/(\Omega \cdot m \cdot A)$

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 Ω. Valor máximo recomendado por el método UNESA.

2.2.7.4 Cálculo de la Resistencia del Sistema de Tierras

La resistencia del sistema de tierras viene dada por:

- $R_t = k_r \cdot \rho$

Con ρ , la resistividad del terreno.

Sustituyendo, tendremos para cada tierra:

- Para la tierra de protección: $R_{tp} = 13,5 \Omega$.
- Para la tierra de servicio: $R_{ts} = 20,1 \Omega$.

Se puede observar cómo la resistencia de tierra de servicio es inferior a 37Ω .

2.2.7.5 Cálculo de las Tensiones de Paso y de Contacto en el Exterior de la Instalación

Primeramente hemos de calcular la intensidad de defecto que vendrá dada por la ecuación:

$$I_d = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_{tp})^2 + X_n^2}}$$

Sustituyendo valores tenemos que: $I_d = 452,82 \text{ A}$.

De este modo:

$$V_p = I_d \cdot k_p \cdot \rho = 1141,12 \text{ V.}$$

En cuanto a la tensión de contacto exterior se considerará prácticamente nula ya que las puertas y rejas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión. De este modo no es necesario calcular la tensión de contacto en el exterior.

2.2.7.6 Cálculo de las Tensiones de Paso y de Contacto en el Interior de la Instalación

El piso del centro estará constituido por un mallado electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm, formando una retícula no superior a $0,30 \times 0,30 \text{ m}$.

Este mallado se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta de tierra de protección del centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esté sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior.

Este mallado se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm de espesor como mínimo.

El edificio prefabricado de hormigón estará construido de forma que, una vez fabricado, su interior sea una superficie equipotencial. Todas las varillas metálicas embebidas en el hormigón que constituyan la armadura del sistema equipotencial estarán unidas entre sí mediante soldadura eléctrica.

Esta armadura equipotencial se conectará al sistema de tierras de protección (excepto las puertas y rejillas, que como se ha dicho antes no tendrán contacto con el sistema equipotencial, debiendo estar aisladas de la armadura con una resistencia igual o superior a 10000 Ω a los 28 días de la fabricación de las paredes).

En definitiva, no son necesarios los cálculos de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, ya que sus valores serán prácticamente nulos.

No obstante, sí es necesario el cálculo de la tensión de paso de acceso. En nuestro caso y debido a la existencia del mallado conectado al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, es decir:

$$V_{p(acc)} = V_d = R_{tp} \cdot I_d$$

Sustituyendo tendremos:

$$V_{p(acc)} = V_d = 13,5 \cdot 452,82 = 6113,10 \text{ V.}$$

2.2.7.7 Cálculo de las Tensiones Aplicadas

La tensión máxima de contacto aplicada que se puede aceptar viene dada por la expresión:

$$V_{ca} = \frac{K}{t^n}$$

Siendo:

$$K=78,5$$

$$n=0,18$$

$$t=1 \text{ s}$$

Tendremos por tanto $V_{ca} = 78,5 \text{ V.}$

Para el cálculo de las tensiones aplicadas de paso exterior y la de acceso al centro usaremos las fórmulas:

$$V_{p(ap)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right)$$

$$V_{p(acc,ap)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho + 3 \cdot \rho_h}{1000}\right)$$

Con:

ρ_h resistividad del hormigón y valor $3000 \Omega \cdot m$.

Sustituyendo valores tendremos que:

$$V_{p(ap)} = 1256 \text{ V.}$$

$$V_{p(acc,ap)} = 8085,5 \text{ V.}$$

Estos valores son los máximos admisibles, por lo que se ha de cumplir que:

$$V_p \leq V_{p(ap)} \rightarrow 1141,12 \leq 1256 \text{ y}$$

$$V_{p(acc)} \leq V_{p(acc,ap)} \rightarrow 6113,10 \leq 8085,56$$

Podemos ver que se cumplen ambas condiciones.

Otra condición que se ha de cumplir para asegurar la protección del material de baja tensión del centro de transformación ante la aparición de un defecto de aislamiento en la parte de media tensión del centro es que el nivel de aislamiento de los equipos del lado de baja sea mayor que la tensión provocada por un defecto. Es decir, se ha de cumplir que:

$$V_{BT} \geq V_d$$

Según las normas de sevillana (Cap. IV, apartado 2.3.1.2), esta tensión es de 10 kV, por tanto se cumple la condición:

$$10000 \geq 6113,10.$$

2.2.7.8 Investigación de Tensiones Transferibles al Exterior

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia mínima de separación entre los electrodos del sistema de protección y el de servicio. Esta distancia mínima viene dada por la ecuación:

$$D_{min} = \frac{\rho \cdot I_d}{2000 \cdot \pi}$$

Sustituyendo valores:

$$D_{\min} = 7,21 \text{ m}$$

Esta distancia mínima asegura que ambas tierras estén separadas.

2.3 Red de Baja Tensión

2.3.1 Normativa

Para el dimensionado de la red de baja tensión de la fábrica se ha seguido la siguiente normativa:

- El Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT).
- Normas de Sevillana Endesa.
- Normas UNE aplicables.

2.3.2 Consideraciones Generales

Al tratarse de una instalación industrial que se alimenta desde centro de transformación propio, las secciones de los conductores se dimensionarán para que cumplan el criterio de caída de tensión máxima que dicta la ITC-BT-19, punto 2.2.2. Estas caídas de tensión son de 4,5% para alumbrado y 6,5% para demás usos.

En este proyecto se ha considerado la siguiente distribución para la caída de tensión:

- Salida del CT hasta el CGD: 0,5%
- CGD hasta cuadros secundarios: 1,5 %
- Cuadros secundarios hasta cargas de iluminación: 2,5%
- Cuadros secundarios hasta cargas demás usos: 4,5%.

Predominará la caída de tensión total, quiero esto decir que no tienen porque cumplirse obligatoriamente las caídas de tensión parciales siempre y cuando se cumpla la caída de tensión total para cada uno de los circuitos.

Dicho criterio implica que ha de cumplirse:

$$\Delta U_{\max} \geq \Delta U$$

Siendo:

- ΔU_{\max} : caída máxima de tensión, impuesta por ITC-BT-19. Expresada en %.
- ΔU : caída de tensión real en la instalación. Expresada en %.

El cálculo de la caída de tensión vendrá dado por la expresión:

- Para sistemas trifásicos:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot \frac{\cos \varphi}{K \cdot S} + \frac{x \cdot \sin \varphi}{1000}$$

- Para sistemas monofásicos:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot L \cdot \left(\frac{\cos \varphi}{K \cdot S} + \frac{x \cdot \sin \varphi}{1000} \right)$$

Siendo:

- ΔU : caída de tensión en V.
- I : intensidad en A.
- L : longitud de la línea en km.
- K : conductividad del conductor a 90°C en km/($\Omega \cdot \text{mm}^2$).
- S : sección del conductor en mm^2 .
- x : reactancia del conductor por fase en Ω/km .
- $\cos \varphi$: factor de potencia.

La reactancia del conductor se determinará mediante las tablas proporcionadas por el fabricante. En nuestro caso se ha elegido el catálogo de cables de baja tensión de Prysmian. En concreto se ha elegido el cable Afumex Easy.

El factor de potencia considerado es de 0,8 para todas las cargas, salvo para las luminarias que se considera de 0,9.

Además del criterio de caída de tensión máxima deberá cumplirse el criterio de intensidad máxima admisible. Dicho criterio implica que se debe cumplir lo siguiente:

$$I_{\max,c.e} \cdot k_c \geq I_{\max,c.i}$$

siendo:

$I_{\max,c.e}$: intensidad máxima en condiciones estándar.

$I_{\max,c.i}$: intensidad máxima en condiciones de la instalación.

k_c : factor de corrección.

La temperatura ambiente considerada será de 40° C.

Debido a posibles ampliaciones se dimensionarán las líneas que llegan a cada cuadro secundario con un 20% por encima de su intensidad de utilización. Esto será sólo aplicable a los cuadros C.S.2, C.S.4 y C.S.5, que son cuadros que alimentan zonas de producción.

A continuación se realiza el cálculo de los distintos circuitos. Para cada uno de ellos se realizará el cálculo de la línea que va desde el CGD al cuadro secundario en cuestión más una de las líneas que parte hacia los

consumos. El resto de líneas de la instalación se calculan de forma similar mostrándose solo los resultados de forma resumida en forma de tablas.

2.3.3 Circuito de Alimentación del CGD

Se trata de la línea que llega al CGD procedente del CT, dicha línea transcurre bajo tubo a una profundidad de 0,7 metros. Para su dimensionamiento se tendrá en cuenta la corriente nominal del centro de transformación, calculada anteriormente, y que corresponde a 909,33 A. Se seguirá lo dispuesto en la norma UNE 211435, norma que anula a la UNE 20435 indicada en el REBT.

Para el cálculo se supondrá una resistividad térmica del terreno de 1,5 K·m/W y una temperatura del mismo de 25°C.

Se ha decidido instalar cuatro conductores por fase de modo que la corriente a considerar para el cálculo por cada conductor será de 227,33 A. La separación de circuitos es de 0,6 metros.

Las demás condiciones, resistividad del terreno, temperatura y profundidad resultan un factor de 1.

Para una terna de cables unipolares de aluminio de 240 mm² se tiene una corriente máxima admisible de 305 A, aplicándole a esta corriente todos los factores tendremos:

$$I_{\max, \text{admisible}} = 305 \cdot 0,88 = 268,4 \text{ A.}$$

Como podemos ver la corriente que circula por los conductores es menor que la corriente máxima admisible para esta disposición.

Comprobaremos además el criterio de máxima caída de tensión:

$$\Delta U = L \cdot I \cdot \varepsilon_{0,8} \leq 400 \cdot 0,005 \rightarrow \Delta U = 0,020 \cdot 227,33 \cdot 0,3 \leq 2 \text{ V} \rightarrow 1,36 \leq 2$$

$$\Delta U = 0,34\%.$$

Vemos que se cumple el criterio y por tanto se tomará la disposición descrita para este circuito.

A continuación se realiza el cálculo de cada uno de los circuitos de baja tensión ubicados en el interior de la nave.

2.3.4 Circuito 1

2.3.4.1 Línea L.1

Es la línea que va desde el CGD al C.S.1. Para el cálculo de la sección comprobaremos los criterios de intensidad máxima admisible y caída de tensión antes mencionados.

Tomaremos como corriente de diseño de la línea la de la fase más cargada. Para este circuito es la fase R.

2.3.4.1.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo de la línea vendrá dada por la suma de las corrientes que circulan por la fase R. En este caso vendrá dada por 35,45 A.

Elegimos una sección de 6 mm². Según la norma UNE-HD 60364-5-52, tabla C-52.1 bis, la corriente admisible para dicha sección es de 49 A. Aplicando un factor de corrección de 0,88 por agrupación de conductores (esta línea comparte bandeja con la línea de alimentación a las oficinas, estando ambos cables contiguos) se ha de cumplir:

$$49 \cdot 0,88 \geq 35,45 \rightarrow 43,12 \geq 35,45$$

Cumpliéndose por tanto el criterio de intensidad máxima admisible.

2.3.4.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión vendrá dada por la expresión:

$$\Delta U = \varepsilon_{f,p} \cdot I \cdot L$$

Se ha de cumplir además que:

$$\Delta U_{\max} > \Delta U$$

Sustituyendo los valores aportados por las tablas del fabricante para un cable de 6 mm² tendremos que:

$$\Delta U_{\max} > \varepsilon_{0,85} \cdot I \cdot L \rightarrow 400 \cdot 0,015 > 5,83 \cdot 35,40 \cdot 0,03.$$

En tanto por ciento: 1,55 %.

A pesar de que no se cumple el criterio de caída de tensión para este tramo, mantendremos esta sección pues

veremos más adelante que se cumple ampliamente el criterio de caída de tensión global en el circuito.

2.3.4.2 Líneas C.S.1 a Consumos

Se muestra el desarrollo del cálculo para la línea L.1.1. Los resultados del resto de líneas se detallan de forma resumida en la tabla 2.1.

2.3.4.2.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo vendrá dada por:

$$I_c = \frac{P_c}{U \cdot \cos \varphi}$$

Sustituyendo valores tendremos:

$$I_c = \frac{4450}{230 \cdot 0,8} = 24,18 \text{ A}$$

Según la norma UNE-HD 60364-5-52, elegimos una sección de $2,5 \text{ mm}^2$. Para dicha sección la corriente máxima admisible es de 28 A.

2.3.4.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

Para el cálculo de la caída de tensión emplearemos la expresión:

$$\Delta U = 1,15 \cdot \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 1,15 \cdot 12,88 \cdot 24,18 \cdot 0,010 = 3,58 \text{ V.}$$

Por tanto la caída en dicha línea será de 1,55 %.

Para el resto de líneas del circuito 1 los cálculos se realizan de la misma forma.

A continuación se muestran los resultados del cálculo de forma resumida en la siguiente tabla:

	L.1	L.1.1	L.1.2	L.1.3	L.1.4
P_e (W)	19638,38	4450	518	1380	699
U (V)	400	230	230	230	230
I_c (A)	35,40	24,18	2,81	7,5	3,38
cos φ	0,85	0,8	0,8	0,8	0,9
I_{max}(A)(*)	49	28	24	24	17,5
k_c	0,88	1	1	1	1
I_{max,c.e.} · k_c	43,12	28	24	24	17,5
S (mm²)	6	2,5	2,5	2,5	1,5
L (m)	30	25	30	40	51
L_e(m)(**)	-	10,35	22	18,43	27,16
ΔU (V)	6,20	3,58	0,92	2,04	2,53
ΔU (%)	1,55	1,55	0,39	0,89	1,10
ΔU_{total} (%)	1,89	3,44	2,28	3,13	2,99

Tabla 2.1.Resumen cálculos líneas L.1-L.1.4

(*) viene dada por la tabla C-52.1 bis de la norma UNE-HD 60364-5-52.

(**) Es la longitud equivalente y viene dada por la expresión: $L_e = \frac{\sum L_i \cdot I_i}{\sum I_i}$. Se define como la distancia a la que habría que colocar una única carga, suma de todas las cargas, para que la caída de tensión sea la misma.

	L.1.5	L.1.6	L.1.7	L.1.8	L.1.9
P_c (W)	1024	188	6250	36	1260
U (V)	230	230	400	230	230
I_c (A)	4,95	0,91	11,27	0,17	6,08
cos φ	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9
I_{max(A)}(*)	17,5	17,5	30	20	38
k_c	1	1	1	1	1
I_{max,c.e.} k_c	17,5	17,5	30	20	38
S (mm²)	1,5	1,5	2,5	1,5	4
L (m)	77	28	15	32	248
L_{e(m)}(**)	41,12	20,5	-	-	47,5
ΔU (V)	5,61	0,51	2,17	0,15	3,31
ΔU (%)	2,44	0,22	0,54	0,06	1,44
ΔU_{total} (%)	4,33	2,11	2,43	1,95	3,33

Tabla 2.2. Resumen cálculos líneas L.1.5-L.1.9

2.3.5 Circuito 2

2.3.5.1 Línea L.2

Es el circuito que suministra corriente a la zona de chapistería. Va desde el CGD al C.S.2.

2.3.5.1.1 Intensidad Máxima Admisible

Como la principal carga de cada máquina es un motor la potencia de cálculo vendrá dada por la suma del consumo de todas las máquinas más el de máximo consumo multiplicado por 1,25, según ITC-BT-47, apartado 3.2.

Es decir:

$$P_c = 4,8 + 43,2 + 44 \cdot 1,25 + 23,2 + 15,2 \cdot 2 + 9,12 \cdot 3 + 1,731 \cdot 2 + 0,865 = 188,2875 \text{ kW.}$$

La intensidad de la línea viene dada por la expresión:

$$I_c = \frac{1,2 \cdot 188287,5}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8}$$

Sustituyendo valores, tendremos: $I_c = 407,65 \text{ A.}$

Se dispondrán dos conductores por fase, por tanto en este caso $I_c = 407,65/2 = 203,83 \text{ A.}$

Según la norma UNE-HD 60364-5-52, tabla C-52.1 bis, escogemos la sección de 95 mm^2 . Dicha tabla indica una corriente de 298 A de corriente admisible. Aplicando un factor de corrección de 0,87 por agrupación de conductores se ha de cumplir:

$$298 \cdot 0,87 \geq 203,83 \rightarrow 259,26 \geq 203,83$$

Cumpliéndose el criterio.

2.3.5.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 0,43 \cdot 203,83 \cdot 0,023 = 2,01 \text{ V.}$$

En porcentaje: 0,50 %.

2.3.5.2 Líneas C.S.2 a Consumos

Se desarrolla el cálculo de la línea L.2.1, el resto de líneas se realiza de forma similar. Los resultados se muestran en la tabla 3.2 y 3.3 para cada línea.

2.3.5.2.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo vendrá dada por:

$$I_c = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8}$$

Por lo que $I_c = 10,82 \text{ A.}$

Para las líneas de fuerza escogeremos como mínimo una sección de 2,5 mm². Para dicha sección la corriente máxima admisible del conductor es de 28 A.

En este caso se trata de un cable tetrapolar en bandeja perforada contiguo a otros tres circuitos, por tanto habrá que aplicar un factor de corrección de 0,82. Se ha de cumplir entonces:

$$28 \cdot 0,82 \geq 10,82 \rightarrow 22,96 \geq 10,82$$

Cumpliéndose el criterio.

2.3.5.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 13,1 \cdot 10,82 \cdot 0,019 = 2,69 \text{ V}$$

Por tanto la caída será del 0,67 %.

Para el resto de líneas de la zona de chapistería que alimentan a cada máquina:

	L.2	L.2.1	L.2.2	L.2.3	L.2.4	L.2.5	L.2.6	L.2.7
P _c (W)	188287,5	6000	121400	19000	19000	11400	11400	11400
U (V)	400	400	400	400	400	400	400	400
I _c (A)	203,83	10,82	109,5	34,28	34,28	20,57	20,57	20,57
cos φ	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
I _{max(A)(*)}	298	28	174	68	68	38	38	38
k _c	0,87	0,82	0,91	0,82	0,82	0,80	0,80	0,80
I _{max,c.e} k _c	259,26	22,96	158,31	55,76	55,76	30,4	30,4	30,4
S (mm ²)	95	2,5	50	10	10	4	4	4
L (m)	23	19	40	39	45	36	54	62
L _e (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
ΔU (V)	2,01	2,69	3,37	4,46	5,15	6,09	9,14	10,5
ΔU (%)	0,50	0,67	0,84	1,12	1,29	1,52	2,28	2,62
ΔU _{total} (%)	0,84	1,51	1,68	1,96	2,13	2,36	3,12	3,46

Tabla 2.3. Resumen cálculos líneas L.2-L.2.7

Para el resto de líneas del circuito 2, en concreto la alimentación de las tomas de corriente, tendremos:

	L.2.8	L.2.9	L.2.10
P_c (W)	1731	865,5	1731
U (V)	400	400	400
I_c (A)	3,12	1,56	3,12
$\cos \varphi$	0,8	0,8	0,8
I_{max} (A)(*)	24	24	24
k_c	1	1	1
$I_{max,c.e} \cdot k_c$	24	24	24
S (mm^2)	2,5	2,5	2,5
L (m)	24	30	46
L_e (m)	14	-	23
ΔU (V)	0,56	0,60	1,85
ΔU (%)	0,14	0,15	0,46
ΔU_{total} (%)	0,98	0,99	1,30

Tabla 2.4.Resumen cálculos líneas L.2.8-L.2.10

2.3.6 Circuito 3

2.3.6.1 Línea L.3

Este circuito es el encargado de alimentar a la iluminación de las zonas de chapistería y montaje y los almacenes de entrada y salida. La línea va desde el CGD al C.S.3.

2.3.6.1.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo de la línea vendrá dada por la intensidad de la fase más cargada, en este caso es la fase S, para ella la corriente es de 12,56 A:

$$I_c = \frac{2600}{230 \cdot 0,9}$$

Por tanto $I_c = 12,56$ A.

Según la norma UNE 60364-5-52, tabla C-52.1 bis, tendremos como sección válida la de $1,5 \text{ mm}^2$. Para dicha sección la corriente máxima admisible es de 20 A. El factor de corrección por agrupamiento para dicho circuito será de 0,88 por ir acompañado por otro circuito en la bandeja.

Por tanto se ha de cumplir que:

$$20 \cdot 0,88 \geq 12,56 \rightarrow 17,60 \geq 12,56$$

Por tanto podemos tomar como sección $1,5 \text{ mm}^2$, a falta de comprobar el criterio de máxima caída de tensión.

2.3.6.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,9} \cdot I \cdot L = 23,96 \cdot 12,56 \cdot 0,05 = 15,04 \text{ V.}$$

En porcentaje tendremos una caída del 3,76 %.

Subimos la sección del cable por superar ampliamente el 1,5 % impuesto.

Para una sección de 4 mm^2 :

$$\Delta U = \varepsilon_{0,9} \cdot I \cdot L = 9,21 \cdot 12,56 \cdot 0,05 = 5,78 \text{ V.}$$

En porcentaje tendremos una caída del 1,45 %.

EL criterio de máxima corriente se cumplirá pues se cumplía para una sección de conductor menor.

2.3.6.2 Líneas C.S.3 a Consumos

Se desarrolla el cálculo de la línea L.3.1, el resto se realiza de forma similar. Los resultados se muestran en la tabla 3.4 para cada línea.

2.3.6.2.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo vendrá dada por:

$$I_c = \frac{174}{230 \cdot 0,9}$$

Por lo que $I_c = 0,84$ A.

Elegiremos la sección de $1,5 \text{ mm}^2$, para dicha sección la corriente admisible es de 21 A.

El factor de corrección por agrupamiento para dicha canalización es de 0,82.

Por tanto se ha de cumplir:

$$23 \cdot 0,82 \geq 0,84 \rightarrow 18,86 \geq 0,84.$$

2.3.6.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = 1,15 \cdot \varepsilon_{0,9} \cdot I \cdot L = 1,15 \cdot 23,96 \cdot 0,84 \cdot 0,02 = 0,46 \text{ V.}$$

En porcentaje tendremos 0,20 %

Para el resto de líneas del circuito:

	L.3	L.3.1	L.3.2	L.3.3	L.3.4	L.3.5	L.3.6
P_c (W)	7731,64	174	174	174	1068	1068	1126
U (V)	400	230	230	230	230	230	230
I_c (A)	12,56	0,84	0,84	0,84	5,16	5,16	5,44
cos φ	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
I_{max}(A)(*)	38	23	23	23	32	32	32
k_c	0,88	0,82	0,82	0,82	0,73	0,73	0,73
I_{max,c.e.}·k_c	33,44	18,86	18,86	18,86	23,36	23,36	23,36
S (mm²)	4	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
L (m)	50	27	32	37	29	39	49
L_e (m)(**) (m)	-	20	25	30	21,5	31,5	41,5
ΔU (V)	5,78	0,62	0,58	0,69	1,84	2,70	3,75
ΔU (%)	1,45	0,20	0,25	0,30	0,80	1,17	1,63
ΔU_{total} (%)	1,79	1,99	2,04	2,09	2,59	2,96	3,42

Tabla 2.5. Resumen cálculos líneas L.3-L.3.6

	L.3.7	L.3.8	L.3.9	L.3.10	L.3.11	L.3.12	L.3.13
P _c (W)	1068	1068	1068	232	232	232	44
U (V)	230	230	230	230	230	230	230
I _c (A)	5,16	5,16	5,16	1,12	1,12	1,12	0,21
cos φ	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
I _{max(A)(*)}	32	32	32	23	23	23	20
k _c	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	1
I _{max,c.e·k_c}	23,36	23,36	23,36	16,79	16,79	16,79	20
S (mm ²)	2,5	2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5
L (m)	57	66	76	84	90	96	166
L _e (m)(**)	49,5	58,5	68,5	76,5	82,5	88,5	-
ΔU (V)	4,23	5	5,86	2,36	2,55	2,73	0,96
ΔU (%)	1,33	2,18	2,50	1,02	1,11	1,19	0,42
ΔU _{total} (%)	3,12	3,97	4,34	2,81	2,90	3	2,21

Tabla 2.6. Resumen cálculos líneas L.3.7-L.3.13

2.3.7 Circuito 4

2.3.7.1 Línea L.4

Es la línea encargada de alimentar a la zona de montaje. Dicha línea va desde el CGD al C.S.4.

2.3.7.1.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo de la línea viene dada por:

$$I_c = \frac{1,2 \cdot 71443}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8}$$

$$I_c = 154,68 \text{ A.}$$

Según la norma UNE 60346-5-52, tabla C-52.1 bis, tendremos una posible sección válida, la de 95 m². Para

dicha sección la corriente máxima admisible es de 298 A. El factor de corrección por agrupamiento es de 0,87 de modo que ha de cumplirse que:

$$298 \cdot 0,87 \geq 154,68 \rightarrow 259,26 \geq 154,68.$$

2.3.7.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 0,43 \cdot 154,68 \cdot 0,058 = 3,86 \text{ V.}$$

en porcentaje tendremos 0,96 %.

2.3.7.2 Línea C.S.4 a Consumos

Se detalla el cálculo de la línea L.4.1, que es la que alimenta al compresor, para el resto de líneas del circuito el cálculo se realiza de manera similar.

2.3.7.2.1 Intensidad Máxima Admisible

La corriente de cálculo viene dada por la expresión:

$$I_c = \frac{56250}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8}$$

Por tanto $I_c = 101,48$ A. Para esta corriente podemos elegir una sección de 35 mm^2 cuya corriente admisible es de 153 A. Hemos de aplicar el factor de corrección por agrupamiento por lo que se debe cumplir:

$$153 \cdot 0,98 \geq 101,48 \rightarrow 149,94 \geq 101,48.$$

2.3.7.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 1,01 \cdot 101,48 \cdot 0,015 = 1,54 \text{ V.}$$

en porcentaje tendremos 0,38 %.

A continuación se muestran de forma resumida los cálculos relativos al circuito 4:

	L.4	L.4.1	L.4.2	L.4.3	L.4.4
P_c (W)	85731,6	56250	12500	3462	1731
U (V)	400	400	400	400	400
I_c (A)	154,68	101,48	22,55	6,25	3,12
Cos φ	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
I_{max}(A)	298	153	38	32	32
k_c	0,87	0,98	0,82	1	1
I_{max,c.e}·k_c	259,26	149,94	31,16	32	32
S (mm²)	95	35	4	2,5	2,5
L (m)	58	15	30	64	63
L_e (m)	-	-	-	35,63	45
ΔU (V)	3,86	1,54	5,56	2,92	1,84
ΔU (%)	0,96	0,38	1,39	0,73	0,46
ΔU_{total} (%)	1,30	1,68	2,69	2,03	1,76

Tabla 2.7. Resumen cálculos líneas L.4-L.4.4

2.3.8 Circuito 5

2.3.8.1 Línea L.5

Esta es la línea encargada de alimentar a las zonas de tratamiento superficial y soldadura. Va desde el CGD hasta el C.S.5.

2.3.8.1.1 Intensidad Máxima Admisible

Para comprobar dicho criterio usaremos la expresión:

$$I_c = \frac{1,2 \cdot 91961,5}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8}$$

Por tanto, $I_c = 199,10$ A.

Según la norma UNE 60364-5-52, tabla C-52.1 bis, podemos considerar una sección de 95 mm^2 . Para dicha sección la corriente máxima admisible es de 298 A por lo que se ha de cumplir que:

$$298 \cdot 0,98 \geq 99,55 \rightarrow 292,04 \geq 199,10.$$

En este caso el factor de agrupamiento es de 0,98 por ir solo en la bandeja.

2.3.8.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

Para la caída de tensión tendremos que:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 0,43 \cdot 199,10 \cdot 0,072 = 6,16 \text{ V}$$

Correspondiendo al 1,54 %.

2.3.8.2 Línea L.5 a Consumos

Se muestra el desarrollo del cálculo para la línea L.5.1. El resto de líneas se calculan de forma similar. Los resultados de todas las líneas se detallan en tablas.

2.3.8.2.1 Intensidad Máxima Admisible

Consideramos la expresión:

$$I_c = \frac{7375}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8}$$

Por tanto $I_c = 13,31$ A.

Para dicha corriente podemos elegir la sección de 4 mm^2 cuya corriente máxima admisible es de 30 A.

Teniendo en cuenta que se trata de una zona con riesgo de explosión se considerará el factor de 0,85. Además hay que tener en cuenta el factor por agrupamiento que es de 0,65.

Por tanto para cumplir el criterio de máxima intensidad se ha de cumplir que:

$$30 \cdot 0,85 \cdot 0,65 \geq 13,31 \rightarrow 16,58 \geq 13,31.$$

2.3.8.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

Para la caída de tensión tendremos que:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 8,23 \cdot 13,31 \cdot 0,026 = 4,71 \text{ V}$$

Correspondiendo al 1,18 %.

A continuación se muestran de forma resumida los cálculos relativos al circuito 5:

	L.5	L.5.1	L.5.2	L.5.3	L.5.4	L.5.5	L.5.6
P_c (W)	110353,8	7375	6300	19037,5	8800	1731	1731
U (V)	400	400	400	400	400	400	400
I_c (A)	199,10	13,31	11,36	34,35	15,87	3,12	3,12
I_{max}(A)	298	30	30	91	30	24	24
k_c	0,98	0,553	0,553	0,553	0,553	0,85	0,85
I_{max,c.e}·k_c	292,04	16,59	16,59	50,32	16,59	20,40	20,40
S (mm²)	95	4	4	25	4	2,5	2,5
L (m)	72	43	61	66	48	47	70
L_e (m)	-	-	-	-	-	27	50
ΔU (V)	6,16	4,71	5,70	3,11	6,27	1,08	2
ΔU (%)	1,54	1,18	1,43	0,78	1,57	0,27	0,50
ΔU_{total} (%)	1,88	3,06	3,31	2,66	3,45	2,15	2,38

Tabla 2.8. Resumen cálculos líneas L.5-L.5.6

	L.5.7	L.5.8	L.5.9	L.5.10	L.5.11	L.5.12
P _c (W)	9375	9375	3462	12500	12500	12500
U (V)	400	400	400	400	400	400
I _c (A)	16,91	16,91	6,25	22,55	22,55	22,55
I _{max} (A)	28	28	24	38	38	38
k _c	0,88	0,88	1	0,82	0,82	0,82
I _{max,c.e} ·k _c	24,64	24,64	24	31,16	31,16	31,16
S (mm ²)	2,5	2,5	2,5	4	4	4
L (m)	34	40	62	35	39	43
L _e (m)	-	-	49,5	-	-	-
ΔU (V)	7,53	8,86	7,24	6,50	7,24	7,98
ΔU (%)	1,88	2,22	1,81	1,62	1,81	2
ΔU _{total} (%)	3,76	4,10	3,69	3,50	3,69	3,88

Tabla 2.9. Resumen cálculos líneas L.5.7-L.5.12

2.3.9 Circuito 6

2.3.9.1 Línea L.6

El circuito 6 es el encargado de alimentar a la iluminación de la zona de soldadura y tratamiento superficial. La línea L.6 va por tanto desde el CGD al C.S.6. La fase S es la más cargada. Suponiendo el mismo consumo por las tres fases y con el consumo de la fase S, la potencia de cálculo sería el triple del consumo de la fase S.

2.3.9.1.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo de la línea viene dada por la expresión:

$$I_c = \frac{13236}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9}$$

$$I_c = 21,22 \text{ A.}$$

Según la norma UNE 60364-5-52, tabla C-52.1 bis, tendremos una posible sección válida, la de 10 mm^2 . Para dicha sección la corriente máxima admisible es de 68 A. El factor de corrección por agrupamiento es de 0,88 por lo que debe cumplirse:

$$68 \cdot 0,88 \geq 21,22 \rightarrow 59,84 \geq 21,22.$$

2.3.9.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,9} \cdot I \cdot L = 4,05 \cdot 21,22 \cdot 0,073 = 6,28 \text{ V.}$$

en porcentaje tendremos 1,56 %.

2.3.9.2 Línea L.6 a Consumos

Se detalla el cálculo de la línea L.6.1, para el resto de líneas del circuito el cálculo se realiza de manera similar.

2.3.9.2.1 Intensidad Máxima Admisible

La corriente de cálculo viene dada por la expresión:

$$I_c = \frac{1869}{230 \cdot 0,9}$$

Por tanto $I_c = 9,03 \text{ A.}$ Para esta corriente podemos elegir una sección de $2,5 \text{ mm}^2$ cuya corriente admisible es de 24 A. Hemos de aplicar el factor de corrección de 0,85 por ser una instalación con riesgo de incendio o explosión, por lo que se debe cumplir:

$$24 \cdot 0,85 \geq 9,03 \rightarrow 20,40 \geq 9,03.$$

2.3.9.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = 1,15 \cdot \varepsilon_{0,9} \cdot I \cdot L = 1,15 \cdot 14,43 \cdot 9,03 \cdot 0,032 = 4,79 \text{ V}$$

en porcentaje tendremos 2,08 %.

A continuación se muestran de forma resumida los cálculos relativos al circuito 6:

	L.6	L.6.1	L.6.2	L.6.3	L.6.4	L.6.5	L.6.6
P_c (W)	13236	1869	1869	1869	1869	1869	1869
U (V)	400	230	230	230	230	230	230
I_c (A)	21,22	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03
I_{max}(A)(*)	68	24	24	32	32	32	32
k_c	0,88	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
I_{max,c.c.}·k_c	59,84	20,40	20,40	27,20	27,20	27,20	27,20
S (mm²)	10	2,5	2,5	4	4	4	4
L (m)	73	53	57	61	65	69	73
L_e (m)	-	32	36	40	44	48	52
ΔU (V)	6,28	4,79	5,39	3,76	4,14	4,52	4,89
ΔU (%)	1,56	2,08	2,34	1,63	1,80	1,96	2,13
ΔU_{total} (%)	1,89	3,97	4,23	3,53	3,69	3,85	4,02

Tabla 2.10. Resumen cálculos líneas L.6-L.6.6

	L.6.7	L.6.8	L.6.9	L.6.10
P_c (W)	618	618	618	56
U (V)	230	230	230	230
I_c (A)	2,98	2,98	2,98	0,27
I_{max(A)(*)}	23	23	23	20
k_c	0,82	0,82	0,82	0,85
I_{max,c.e·k_c}	18,86	18,86	18,86	17
S (mm²)	1,5	1,5	1,5	1,5
L (m)	27	34	41	180
L_e (m)	20	27	34	-
ΔU (V)	1,64	2,22	2,80	1,34
ΔU (%)	0,71	0,96	1,21	0,58
ΔU_{total} (%)	2,60	2,85	3,10	2,47

Tabla 2.11. Resumen cálculos líneas L.6.7-L.6.10

2.3.10 Circuito 7

2.3.10.1 Línea L.7

Este circuito es el encargado de alimentar a las oficinas de la nave. La línea va desde el CGD al C.S.7.

Se comprobarán los criterios de máxima corriente y caída de tensión de igual modo que el resto de circuitos.

2.3.10.1.1 Intensidad Máxima Admisible

La intensidad de cálculo vendrá dada por la fase más cargada, en este caso es la fase T, con 61,15 A.

Para una sección de 16 mm² se tendrá una corriente máxima admisible de 91 A. El factor de corrección por

agrupamiento de conductores es de 0,88 por lo que deberá cumplirse:

$$91 \cdot 0,88 \geq 61,15 \rightarrow 80,08 \geq 61,15.$$

2.3.10.1.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

Para la caída de tensión tendremos que:

$$\Delta U = \varepsilon_{0,85} \cdot I \cdot L = 2,24 \cdot 61,15 \cdot 0,035 = 4,79 \text{ V.}$$

Correspondiendo al 1,19 %.

2.3.10.2 Línea L.7 a Consumos

Se desarrolla el cálculo de la línea L.7.1, para el resto de líneas el cálculo se realiza de forma similar.

2.3.10.2.1 Intensidad Máxima Admisible

La corriente de cálculo viene dada por la expresión:

$$I_c = \frac{2070}{230 \cdot 0,8}$$

Por tanto $I_c = 11,25 \text{ A}$. Para esta corriente podemos elegir una sección de $2,5 \text{ mm}^2$ cuya corriente admisible es de 28 A. El factor de corrección es la unidad, por lo que se debe cumplir:

$$28 \geq 11,25.$$

2.3.10.2.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión para esta línea vendrá dada por:

$$\Delta U = 1,15 \cdot \varepsilon_{0,8} \cdot I \cdot L = 1,15 \cdot 12,88 \cdot 11,25 \cdot 0,016 = 2,67 \text{ V.}$$

en porcentaje tendremos 1,16 %.

A continuación se muestran de forma resumida los cálculos relativos al circuito 7:

	L.7	L.7.1	L.7.2	L.7.3	L.7.4	L.7.5
P_c (W)	33892,77	2070	1898	2933	2415	5153
U (V)	400	230	230	230	230	230
I_c (A)	61,15	11,25	10,31	15,94	13,13	28
Cos φ	0,85	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
I_{max}(A)(*)	91	28	28	28	28	49
k_c	0,88	1	1	1	1	1
I_{max,c.e}·k_c	80,08	28	28	28	28	49
S (mm²)	16	2,5	2,5	2,5	2,5	6
L (m)	35	25	44	23	48	49
L_e (m)	-	16	30,72	8,68	32,96	33,92
ΔU (V)	4,79	2,67	4,69	2,05	6,41	5,76
ΔU (%)	1,19	1,16	2,04	0,89	2,79	2,5
ΔU_{total} (%)	1,53	2,69	3,57	2,42	4,32	4,03

Tabla 2.12. Resumen cálculos líneas L.7-L.7.5

	L.7.6	L.7.7	L.7.8	L.7.9	L.7.10	L.7.11	L.7.12	L.7.13
P_c (W)	280	454	335	420	329	525	14000	64
U (V)	230	230	230	230	230	230	400	230
I_c (A)	1,35	2,19	1,62	2,03	1,59	2,54	25,26	0,31
Cos φ	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9
I_{max}(A)(*)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	39	20
k_c	1	1	1	1	1	1	1	1
I_{max,c,e}·k_c	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	39	20
S (mm²)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	6	1,5
L (m)	30	37	32	36	50	50	15	70
L_e (m)	17,79	23,12	21,05	19,43	39,56	23	-	-
ΔU (V)	0,59	1,24	0,84	0,97	1,55	1,61	2,12	0,60
ΔU (%)	0,26	0,54	0,36	0,42	0,67	0,70	0,53	0,26
ΔU_{total} (%)	1,79	2,07	1,89	1,95	2,20	2,23	2,06	1,79

Tabla 2.13. Resumen cálculos líneas L.7.6-L.7.13

2.3.11 Circuito 8

2.3.11.1 Línea L.8

Se trata de la línea que alimenta a la batería de condensadores para la compensación de la potencia reactiva.

2.3.11.1 Intensidad Máxima Admisible

La corriente de cálculo viene dada por la expresión:

$$I_c = \frac{200000}{\sqrt{3} \cdot 400}$$

Siendo la I_c = 288,67 A.

Aplicaremos un factor de 1,5 recomendado por el fabricante para el cálculo de la sección del conductor. Dicho factor viene impuesto por la norma UNE 60831, en donde se establece que los condensadores deben soportar

una carga de 1,3 veces la nominal.

Tendremos por tanto una intensidad de 433 A.

Para esta corriente tomaremos una sección de 185 mm² siendo la intensidad máxima admisible de 450,8 A, resultante de aplicar el factor de 0,98 a 460 A.

2.3.11.2 Criterio de Máxima Caída de Tensión

La caída de tensión vendrá dada por:

$$\Delta U = \varepsilon_1 \cdot I \cdot L = 0,22 \cdot 288,67 \cdot 0,003 = 0,19 \text{ V.}$$

La caída de tensión sería del 0,047 %, la total 0,38 %.

2.3.12 Compensación de Potencia Reactiva

Para el cálculo de la potencia reactiva a compensar se hará uso de la siguiente expresión:

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_c)$$

Siendo:

- Q_c , potencia reactiva a compensar
- P , potencia activa de la instalación
- φ , ángulo de desfase de la instalación sin compensación
- φ_c , ángulo de desfase de la instalación con compensación.

Se estima un factor de potencia de la instalación sin compensar de 0,8 de modo que la potencia activa de la instalación viene dada por:

$$P = S \cdot \cos \varphi$$

Sustituyendo valores tendremos que: $P = 495,88 \cdot 0,8 = 396,70 \text{ kW.}$

Si queremos conseguir un factor de potencia aproximado de 0,95 tendremos que $\varphi_c = 18,19^\circ$. Siendo además $\varphi = 36,87^\circ$ podemos calcular la potencia reactiva necesaria a aportar por la batería de condensadores:

$$Q_c = 396,70 \cdot (\tan 36,87 - \tan 18,19) = 167,17 \text{ kVar.}$$

2.3.13 Protecciones

Para la elección de los dispositivos de protección se hace imprescindible el cálculo de las corrientes máximas y mínimas de cortocircuito que pueden presentarse en la instalación.

2.3.13.1 Intensidades de cortocircuito

Para el cálculo de las protecciones se determinarán previamente las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas en diferentes puntos de la instalación según la norma UNE-EN 60909-0.

El cálculo de la corriente de cortocircuito máxima viene dado por la expresión:

$$I_{cc_{max}} = \frac{C_{max} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_{eq}}$$

Siendo:

$I_{cc_{max}}$: corriente de cortocircuito máxima.

C_{max} : coeficiente de tensión, de valor 1,05.

U : tensión trifásica

Z_{eq} : impedancia total equivalente aguas arriba del punto donde se calcula el cortocircuito.

La corriente de cortocircuito mínima en una línea se alcanzará al final de la misma y ocurrirá para un cortocircuito fase-neutro. Se necesita conocer este valor pues debe ser mayor o igual que la intensidad del disparador electromagnético.

Dicha corriente vendrá dada por la expresión:

$$I_{cc_{min}} = \frac{C_{min} \cdot U_F}{2 \cdot Z_{eq}}$$

Siendo:

$I_{cc_{min}}$: corriente de cortocircuito mínima.

C_{min} : coeficiente de tensión, de valor 0,95.

U : tensión monofásica.

Z_{eq} : impedancia total equivalente aguas arriba del punto donde se calcula el cortocircuito, incluye la impedancia de la línea.

El cálculo de las corrientes de cortocircuito se resume por tanto en calcular las impedancias equivalentes en cada punto de la instalación. En dicho cálculo se tendrán en cuenta solamente las impedancias equivalentes del transformador y de las líneas, despreciando por tanto las de la red, embarrados, etc... De esta forma introduciremos un pequeño margen de seguridad en el cálculo.

El cálculo de las corrientes de cortocircuito se ha realizado con el programa DMELECT. A continuación se muestran de forma resumida los resultados del cálculo.

Círcuito 1:

Línea	$Z_{eq} (\Omega) (Inicio)$	$I_{cc,max} (kA)$	$Z_{eq} (\Omega) (Final)$	$I_{cc,min} (A)$
L.1	0,011	22,17	0,138	789
L.1.1	0,14	1,76	0,240	455
L.1.2	0,14	1,76	0,245	445
L.1.3	0,14	1,76	0,245	445
L.1.4	0,14	1,76	0,460	238
L.1.5	0,14	1,76	0,566	193
L.1.6	0,14	1,76	1,040	105
L.1.7	0,14	1,76	1,496	73
L.1.8	0,14	1,76	0,638	171
L.1.9	0,14	1,76	0,223	488
L.1.10	0,14	1,76	0,710	154
L.1.11	0,14	1,76	1,583	69

Tabla 2.14. Corrientes de cortocircuito circuito 1

Círculo 2:

Línea	$Z_{eq} (\Omega) (\text{Inicio})$	$I_{cc,max} (\text{kA})$	$Z_{eq} (\Omega) (\text{Final})$	$I_{cc,min} (\text{A})$
L.2	0,011	22,17	0,013	8286
L.2.1	0,013	18,39	0,211	518
L.2.2	0,013	18,39	0,022	4994
L.2.3	0,013	18,39	0,112	972
L.2.4	0,013	18,39	0,128	851
L.2.5	0,013	18,39	0,248	440
L.2.6	0,013	18,39	0,369	296
L.2.7	0,013	18,39	0,421	259
L.2.8	0,013	18,39	0,264	413
L.2.9	0,013	18,39	0,328	333
L.2.10	0,013	18,39	0,498	219

Tabla 2.15. Corrientes de cortocircuito circuito 2

Circuito 3:

Línea	$Z_{eq}(\Omega)$ (Inicio)	$I_{cc,max}$ (kA)	$Z_{eq}(\Omega)$ (Final)	$I_{cc,min}$ (A)
L.3	0,011	22,17	0,339	322
L.3.1	0,336	0,72	0,821	133
L.3.2	0,336	0,72	0,910	120
L.3.3	0,336	0,72	1,002	109
L.3.4	0,336	0,72	0,650	168
L.3.5	0,336	0,72	0,758	145
L.3.6	0,336	0,72	0,918	119
L.3.7	0,336	0,72	0,950	115
L.3.8	0,336	0,72	1,040	105
L.3.9	0,336	0,72	1,150	95
L.3.10	0,336	0,72	1,821	60
L.3.11	0,336	0,72	1,920	57
L.3.12	0,336	0,72	2,023	54
L.3.13	0,336	0,72	3,213	34

Tabla 2.16. Corrientes de cortocircuito circuito 3

Circuito 4:

Línea	$Z_{eq}(\Omega)$ (Inicio)	$I_{cc,max}$ (kA)	$Z_{eq}(\Omega)$ (Final)	$I_{cc,min}$ (A)
L.4	0,011	22,17	0,025	4371
L.4.1	0,025	9,70	0,035	3086
L.4.2	0,025	9,70	0,222	493
L.4.3	0,025	9,70	0,705	155
L.4.4	0,025	9,70	0,691	158

Tabla 2.17. Corrientes de cortocircuito circuito 4

Circuito 5:

Línea	$Z_{eq} (\Omega)$ (Inicio)	$I_{cc,max}$ (kA)	$Z_{eq} (\Omega)$ (Final)	$I_{cc,min}$ (A)
L.5	0,011	22,17	0,029	3732
L.5.1	0,029	8,28	0,312	350
L.5.2	0,029	8,28	0,432	253
L.5.3	0,029	8,28	0,097	1122
L.5.4	0,029	8,28	0,345	316
L.5.5	0,029	8,28	0,528	207
L.5.6	0,029	8,28	0,770	142
L.5.7	0,029	8,28	0,388	281
L.5.8	0,029	8,28	0,451	242
L.5.9	0,029	8,28	0,687	159
L.5.10	0,029	8,28	0,259	422
L.5.11	0,029	8,28	0,285	383
L.5.12	0,029	8,28	0,312	350

Tabla 2.18. Corrientes de cortocircuito circuito 5

Circuito 6:

Línea	$Z_{eq} (\Omega)$ (Inicio)	$I_{cc,max}$ (kA)	$Z_{eq} (\Omega)$ (Final)	$I_{cc,min}$ (A)
L.6	0,011	22,17	0,20	546
L.6.1	0,019	1,22	0,764	143
L.6.2	0,019	1,22	0,809	135
L.6.3	0,019	1,22	0,607	180
L.6.4	0,019	1,22	0,632	173
L.6.5	0,019	1,22	0,658	166
L.6.6	0,019	1,22	0,687	159
L.6.7	0,019	1,22	0,678	161
L.6.8	0,019	1,22	0,803	136
L.6.9	0,019	1,22	0,926	118
L.6.10	0,019	1,22	3,414	32

Tabla 2.19. Corrientes de cortocircuito circuito 6

Círculo 7:

Línea	$Z_{eq} (\Omega)$ (Inicio)	$I_{cc,max}$ (kA)	$Z_{eq} (\Omega)$ (Final)	$I_{cc,min}$ (A)
L.7	0,011	22,17	0,064	1711
L.7.1	0,060	3,85	0,325	336
L.7.2	0,060	3,85	0,527	207
L.7.3	0,060	3,85	0,308	354
L.7.4	0,060	3,85	0,575	190
L.7.5	0,060	3,85	0,282	387
L.7.6	0,060	3,85	0,587	186
L.7.7	0,060	3,85	0,714	153
L.7.8	0,060	3,85	0,624	175
L.7.9	0,060	3,85	0,704	155
L.7.10	0,060	3,85	0,950	115
L.7.11	0,060	3,85	0,714	153
L.7.12	0,060	3,85	0,130	839
L.7.13	0,060	3,85	1,300	84

Tabla 2.20. Corrientes de cortocircuito circuito 7

2.3.13.2 Protecciones

Para que los interruptores automáticos protejan efectivamente ante corrientes de sobrecarga y cortocircuitos se han de cumplir las siguientes condiciones:

A. Para sobrecargas:

$$1. \quad I_d \leq I_n \leq I_z$$

Con:

I_d , intensidad de diseño de la línea.

I_n , intensidad nominal del dispositivo de protección (o intensidad de regulación seleccionada para

interruptores ajustables).

I_z , intensidad admisible del cable.

B. Para cortocircuitos:

1. Poder de corte del interruptor $> I_{cc,max}$.
2. $I_m < I_{cc,min}$.
3. $I_{cc,max} < I_b$.

Con:

$I_{cc,max}$, intensidad de cortocircuito máxima.

I_m , intensidad del disparador electromagnético.

$I_{cc,min}$, intensidad de cortocircuito mínima.

I_b , intensidad que corresponde al I^2t_{adm} del cable determinada sobre la característica de I^2t del dispositivo de protección.

La condición B.2 significa que todos los posibles cortocircuitos en la línea protegida por el dispositivo de protección deben provocar la actuación del disparador electromagnético.

La condición B.3 garantiza que para la máxima corriente de cortocircuito posible, la temperatura del cable no alcanzará el valor máximo admisible; cualquier otro cortocircuito en la línea originará un calentamiento menor.

Se mostrará la elección detallada de las protecciones para la línea L.3 y L.3.4. Para el resto de líneas de la instalación se muestran los resultados de forma resumida.

Círculo 3:

Para la línea L.3, tenemos una corriente de diseño de 12,32 A y una corriente máxima admisible de 33,44 A por tanto se debe cumplir:

$$A.1: \quad 12,32 \leq I_n \leq 33,44 ; \text{ así que elegimos un interruptor con } I_n = 25 \text{ A.}$$

Elegimos el interruptor magnetotérmico iC60L de Schneider Electric o similar. Se deben cumplir además los criterios de cortocircuito:

El interruptor tiene las siguientes características:

- Poder de corte: 25 kA.

- $I_m: 8I_n = 200 \text{ A}$

Para comprobar la condición B.3, se necesita comprobar que:

$$(I^2t)_{\text{dispositivo}} \leq (I^2t)_{\text{admisible}} = (K \cdot S)^2$$

Siendo:

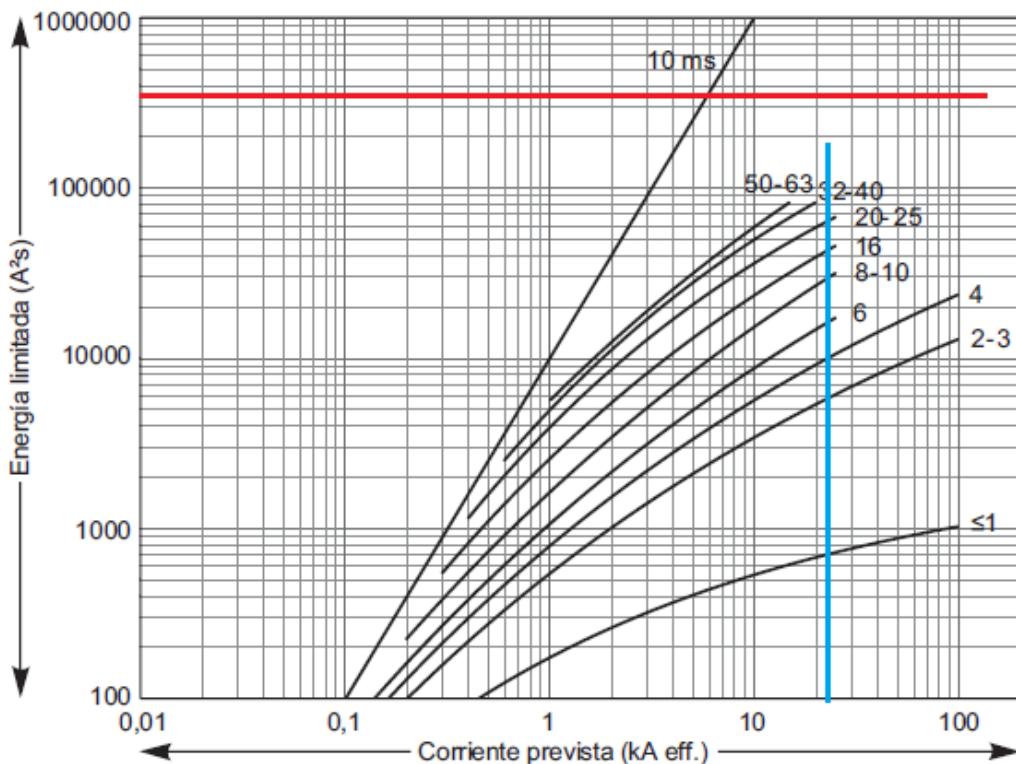
K, factor que tiene en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y la capacidad calorífica del material conductor. Su valor viene dado en la tabla 43A de la norma UNE 60364-4-43.

S, sección del conductor en mm^2 .

Para conductores de cobre con aislamiento de XLPE, el valor de K según la citada norma es de 143. Por tanto, sustituyendo:

$$(I^2t)_{\text{admisible}} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 4)^2 = 327184$$

Entrando con este valor en la característica (I^2t) del dispositivo (línea roja):



Vemos que para la corriente de cortocircuito máxima (línea azul) no corta al valor I^2t admisible para el conductor para una corriente nominal del dispositivo de 25 A.

Por tanto:

$$\text{B.1: } 25 \geq 22,17$$

$$\text{B.2: } 200 < 322 \text{ A.}$$

$$\text{B.3: } 22,17 < I_b.$$

Para la línea L.3.4 tenemos una corriente de diseño de 5,16 A y una corriente máxima admisible de 23,36 A.

Se ha de cumplir:

$$\text{A.1: } 5,16 \leq I_n \leq 23,26 \text{ elegimos un interruptor de } I_n = 16 \text{ A}$$

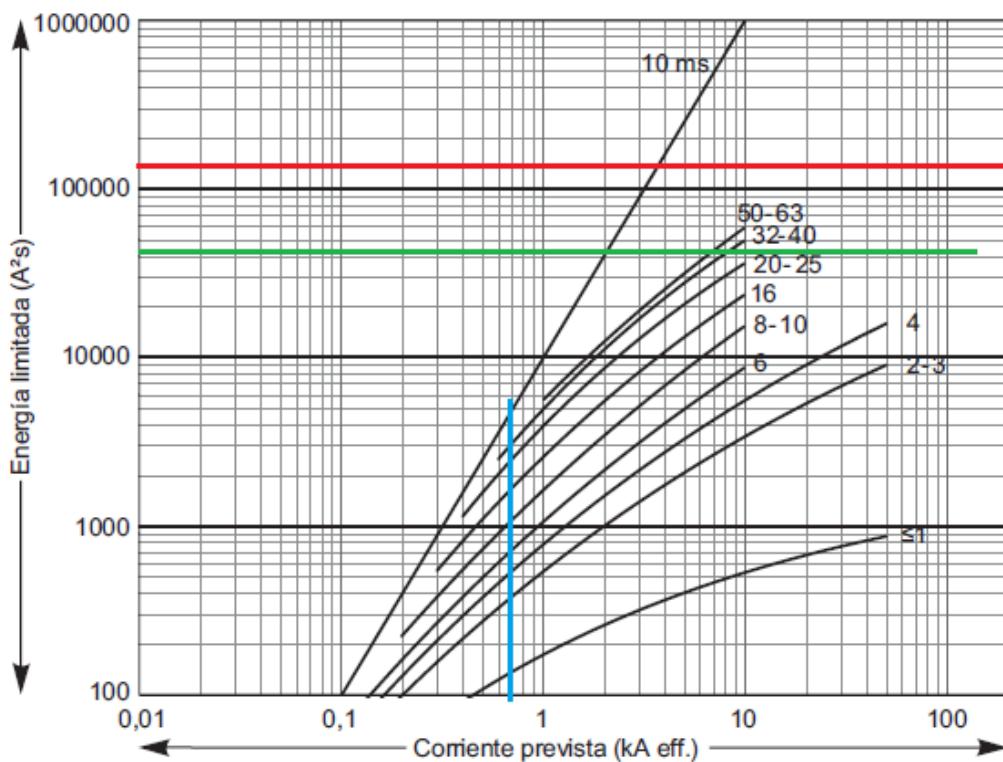
Elegimos el interruptor iC60N de Schneider Electric o similar. Hay que demostrar además el resto de condiciones:

El interruptor tiene las siguientes características:

- Poder de corte: 20 kA.
- $I_m: 4I_n = 64 \text{ A.}$

Para comprobar la condición B.3, se necesita comprobar que:

$$(I^2t)_{\text{dispositivo}} \leq (I^2t)_{\text{admissible}} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 2,5)^2 = 127806,25 \text{ (línea roja)}$$



Por tanto:

$$\text{B.1: } 20 \geq 0,72 \text{ kA}$$

$$\text{B.2: } 64 < 168 \text{ A.}$$

$$\text{B.3: } 0,72 < I_b \text{ kA}$$

La condición B.3 se cumplirá para el resto de líneas del circuito 3, pues la mínima sección es de $1,5 \text{ mm}^2$, por lo que:

$$(I^2t)_{\text{dispositivo}} \leq (I^2t)_{\text{admissible}} = (K \cdot S)^2 = (143 \cdot 1,5)^2 = 46010,25 \text{ (línea verde).}$$

La corriente I_b , estará por encima de la $I_{cc,\text{max}}$ para todas las líneas del circuito 3.

De forma resumida para el resto de líneas de toda la instalación:

Circuito 1:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_p/I_r (A)	I_z (A)	P.d.C (kA)	I_m (A)	$I_{cc,\text{max}}$ (kA)	$I_{cc,\text{min}}$ (A)	Límite Selectividad (A)
L.1	NSX100B (4P)	35,40	40	43,12	25	432	22,17	789	Total
L.1.1	iC60N (2P)	24,18	25	28	10	200	1,76	455	500
L.1.2	iC60N(2P)	2,81	16	24	20	128	1,76	238	500
L.1.3	iC60N(2P)	7,5	16	24	20	128	1,76	193	500
L.1.4	iC60N(2P)	3,38	10	17,5	20	80	1,76	105	900
L.1.5	iC60N(2P)	4,95	10	17,5	20	40	1,76	73	900
L.1.6	iC60N(2P)	0,91	10	17,5	20	80	1,76	171	900
L.1.7	iC60N(2P)	11,27	16	30	10	128	1,76	488	500
L.1.8	iC60N(2P)	0,17	10	20	20	80	1,76	154	900
L.1.9	iC60N(2P)	6,08	10	38	20	40	1,76	69	900

Tabla 2.21. Protecciones Circuito 1

Círcuito 2:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_n/I_r (A)	I_z (A)	P.d.C (kA)	I_m (A)	$I_{cc,max}$ (kA)	$I_{cc,min}$ (A)	Límite Selectividad (A)
L.2	NSX630F (4P) +Micrologic 2.2	407	414	519	36	4140	22,17	8286	Total
L.2.1	iC60L (4P)	10,82	16	22,96	25	128	18,39	518	Total
L.2.2	NSX250B (4P)	219	220	316,62	25	2205	18,39	4994	Total
L.2.3	iC60L (4P)	34,28	40	55,76	20	320	18,39	972	Total
L.2.4	iC60L (4P)	34,28	40	55,76	20	320	18,39	851	Total
L.2.5	iC60L (4P)	20,57	25	30,4	25	200	18,39	440	Total
L.2.6	iC60L (4P)	20,57	25	30,4	25	200	18,39	296	Total
L.2.7	iC60L (4P)	20,57	25	30,4	25	200	18,39	259	Total
L.2.8	iC60N (4P)	3,12	16	24	25	128	18,39	413	Total
L.2.9	iC60L (4P)	1,56	16	24	25	128	18,39	333	Total
L.2.10	iC60L (4P)	3,12	16	24	25	128	18,39	219	Total

Tabla 2.22. Protecciones Circuito 2

Círcito 3:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_n (A)	I_z (A)	P.d.C (kA)	I_m (A)	I_{cc,max} (kA)	I_{cc,min} (A)	Límite Selectividad (A)
L.3	iC60L (4P)	12,32	25	33,44	25	200	22,17	322	Total
L.3.1	iC60N (2P)	0,84	10	18,86	20	80	0,72	133	200
L.3.2	iC60N (2P)	0,84	10	18,86	20	80	0,72	120	200
L.3.3	iC60N (2P)	0,84	10	18,86	20	80	0,72	109	200
L.3.4	iC60N (2P)	5,16	16	23,36	20	64	0,72	168	200
L.3.5	iC60N (2P)	5,16	16	23,36	20	64	0,72	145	200
L.3.6	iC60N (2P)	5,44	16	23,36	20	64	0,72	119	200
L.3.7	iC60N (2P)	5,16	16	23,36	20	64	0,72	115	200
L.3.8	iC60N (2P)	5,16	16	23,36	20	64	0,72	105	200
L.3.9	iC60N (2P)	5,16	16	23,36	20	64	0,72	95	200
L.3.10	iC60N (2P)	1,12	10	16,79	20	40	0,72	60	200
L.3.11	iC60N (2P)	1,12	10	16,79	20	40	0,72	57	200
L.3.12	iC60N (2P)	1,12	10	16,79	20	40	0,72	54	200
L.3.13	iC60N (2P)	0,21	10	20	20	40	0,72	45	200

Tabla 2.23. Protecciones Circuito 3

Circuito 4:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_n (A)	I_z (A)	P.d.C (kA)	I_m (A)	$I_{cc,max}$ (kA)	$I_{cc,min}$ (A)	Límite Selectividad (A)
L.4	NSX250F (4P) + Micrologic 2.2	154,68	250	259,26	25	2500	22,17	4371	Total
L.4.1	C120H (4P)	101,48	125	149,94	15	1062	9,70	3086	Total
L.4.2	iC60H (4P)	22,55	25	31,16	15	200	9,70	493	Total
L.4.3	iC60H (4P)	6,25	16	32	15	128	9,70	155	Total
L.4.4	iC60N (4P)	3,12	16	32	15	128	9,70	158	Total

Tabla 2.24. Protecciones Circuito 4

Circuito 5:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_n (A)	I_z (A)	P.d.C (kA)	I_m (A)	$I_{cc,max}$ (kA)	$I_{cc,min}$ (A)	Límite Selectividad (A)
L.5	NSX250F (4P) + Micrologic 2.2	199,10	250	292,04	25	2000	22,17	3732	Total
L.5.1	iC60H (4P)	13,31	16	16,59	15	128	8,28	350	Total
L.5.2	iC60H (4P)	11,36	16	16,59	15	128	8,28	253	Total
L.5.3	iC60H (4P)	34,35	40	50,32	15	320	8,28	1122	Total
L.5.4	iC60H (4P)	15,87	16	16,59	15	128	8,28	316	Total
L.5.5	iC60N (4P)	3,12	16	20,40	15	128	8,28	207	Total
L.5.6	iC60N (4P)	3,12	16	20,40	15	128	8,28	142	Total
L.5.7	iC60H (4P)	16,91	20	24,64	15	160	8,28	281	Total
L.5.8	iC60H (4P)	16,91	20	24,64	15	160	8,28	242	Total
L.5.9	iC60H (4P)	6,25	16	24	15	128	8,28	159	Total
L.5.10	iC60H (4P)	22,55	25	31,16	15	200	8,28	422	Total
L.5.11	iC60H (4P)	22,55	25	31,16	15	200	8,28	383	Total
L.5.12	iC60H (4P)	22,55	25	31,16	15	200	8,28	350	Total

Tabla 2.25. Protecciones Circuito 5

Circuito 6:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_n (A)	I_z (A)	P.d.C (kA)	I_m (A)	I_{cc,max} (kA)	I_{cc,min} (A)	Límite Selectividad (A)
L.6	iC60L (4P)	21,22	25	59,84	25	200	22,17	546	Total
L.6.1	iC60N (2P)	9,03	16	20,40	20	64	1,22	143	200
L.6.2	iC60N (2P)	9,03	16	20,40	20	128	1,22	135	200
L.6.3	iC60N (2P)	9,03	20	27,20	20	160	1,22	180	200
L.6.4	iC60N (2P)	9,03	20	27,20	20	160	1,22	173	200
L.6.5	iC60N (2P)	9,03	20	27,20	20	160	1,22	166	200
L.6.6	iC60N (2P)	9,03	20	27,20	20	80	1,22	159	200
L.6.7	iC60N (2P)	2,98	10	18,86	20	80	1,22	161	200
L.6.8	iC60N (2P)	2,98	10	18,86	20	80	1,22	136	200
L.6.9	iC60N (2P)	2,98	10	18,86	20	80	1,22	118	200
L.6.10	iC60N (2P)	0,27	10	17	20	40	1,22	48	200

Tabla 2.26. Protecciones Circuito 6

Círculo 7:

CIRCUITO	Interruptor	I_d (A)	I_n/I_r (A)	I_z (A)	P.d.C(kA)	I_m (A)	$I_{cc,max}$ (kA)	$I_{cc,min}$ (A)	Límite Selectividad(A)
L.7	NSX100B (4P)	61,15	62	80,08	25	592	22,17	1711	Total
L.7.1	iC60N (2P)	11,25	16	28	20	128	3,85	336	Total
L.7.2	iC60N (2P)	10,31	16	28	20	128	3,85	207	Total
L.7.3	iC60N (2P)	15,94	16	28	20	128	3,85	354	Total
L.7.4	iC60N (2P)	13,13	16	28	20	128	3,85	190	Total
L.7.5	iC60N (2P)	28	32	49	20	256	3,85	387	Total
L.7.6	iC60N (2P)	1,35	10	17,5	25	80	3,85	186	Total
L.7.7	iC60N (2P)	2,19	10	17,5	20	80	3,85	153	Total
L.7.8	iC60N (2P)	1,62	10	17,5	20	80	3,85	175	Total
L.7.9	iC60N (2P)	2,03	10	17,5	20	80	3,85	155	Total
L.7.10	iC60N (2P)	1,59	10	17,5	20	80	3,85	115	Total
L.7.11	iC60N (2P)	2,54	10	17,5	20	80	3,85	153	Total
L.7.12	iC60N (4P)	25,26	32	39	10	256	3,85	839	Total
L.7.13	iC60N (2P)	0,31	10	20	20	80	3,85	84	Total

Tabla 2.27. Protecciones Circuito 7

2.3.13.3 Puesta a Tierra de la Nave

Se analiza aquí si es necesaria la instalación de picas y el número de ellas en caso de que fuesen necesarias.

Los análisis realizados sobre la naturaleza del terreno indican que se trata de un suelo formado por arcillas y margas con una resistividad de $100 \Omega \cdot m$.

Teniendo en cuenta que se trata de un suelo de poca resistividad se hará un primer cálculo de la resistencia de la puesta a tierra sin el uso de picas. Para ello, la resistencia de puesta a tierra para un conductor enterrado horizontalmente se puede calcular según el REBT mediante la expresión siguiente:

$$R_t = \frac{2 \cdot \rho}{L} = \frac{2 \cdot 100}{(91 \cdot 3 + 2 \cdot 40)} = 0,56 \Omega$$

Teniendo en cuenta que el REBT limita la tensión de contacto a 50 V para este tipo de local, tendremos que para la máxima corriente de defecto permitida por los diferenciales, 1000 mA en el caso más desfavorable:

$$0,56 \cdot 1 \leq 50 \rightarrow 0,56 V \leq 50 V$$

Por tanto, con dicha disposición de tierra no es necesario instalar ninguna pica. La instalación de picas disminuiría la resistencia de la puesta a tierra.