



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



RESUMEN

En el presente Trabajo Final de Grado, se enseñan los pasos a seguir para realizar el diseño de la instalación eléctrica de baja tensión de una nave industrial de 2400 metros cuadrados mediante el uso de una de las herramientas del paquete informático *Siemens Planning Tools: Siemens SIMARIS Design*.

Dicho software se encarga de hacer el dimensionado de las secciones de las líneas, así como seleccionar el transformador y los dispositivos de protección de entre los que se encuentran en el catálogo de *SIEMENS*, cumpliendo en todo momento lo prescrito por el *REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión)*.

Así mismo, con el objetivo de demostrar la fiabilidad de los resultados que nos proporciona *SIMARIS* sobre el diseño de la instalación, esto es, secciones de las líneas, el transformador elegido y los dispositivos de protección, se realiza el contraste con los que se obtienen del procedimiento manual de acuerdo con la Normativa Vigente y determinar así si los resultados del diseño son iguales. En caso de que existan discrepancias, se discutirá acerca de cuáles son los motivos.

Cabe resaltar que la parte manual es, sin duda alguna, la más extensa de las dos, debido a la cantidad de horas dedicadas; Así el lector/a podrá valorar realmente la sencillez y el ahorro de tiempo que conlleva aprender a usar el software *SIMARIS Design* para poder diseñar futuras instalaciones, gracias al Manual de Usuario, donde se detallan las normas de utilización, las interfaces del programa, limitaciones, etc.

Finalmente, se realiza un estudio económico donde se comparan los dos presupuestos (manual y software).



ÍNDICE GENERAL DEL TFG

I.	Memoria descriptiva	3
II.	Pliego de condiciones	66
III.	Presupuesto	70
IV.	Planos	90



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA DESCRIPTIVA



ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

1. Introducción	5
1.1. Motivación y antecedentes	5
1.2. Objetivo	5
1.3. Estructura	6
2. Presentación del enunciado	7
2.1. Características generales	7
2.2. Características de las cargas	7
2.3. Características de las líneas y canalizaciones	8
3. Diseño manual	10
3.1. Selección del transformador	10
3.1.1. Fundamento teórico	10
3.1.2. Cálculo de las potencias absorbidas por las cargas	12
3.1.3. Cálculo de la potencia del transformador	14
3.1.4. Selección final del Transformador	14
3.2. Dimensionado de las secciones	15
3.2.1. Fundamento teórico	15
3.2.1.1. Dimensionado de los conductores de fase	15
3.2.1.2. Dimensionado de los conductores de neutro y de protección	19
3.2.2. Dimensionado de las secciones de los conductores de fase por criterio térmico	20
3.2.3. Dimensionado de las secciones de los conductores de fase por criterio de caída de tensión	23
3.2.4. Dimensionado de las secciones de los conductores de neutro y protección	26
3.2.5. Solución final	26
3.3. Protección de la instalación frente a sobrecargas y cortocircuitos	27
3.3.1. Fundamento teórico	27
3.3.2. Cálculo de las corrientes de cortocircuito	29
3.3.3. Selectividad de los dispositivos de protección	30
3.4. Protección de las personas frente a contactos indirectos	34
3.4.1. Fundamento teórico	34
3.4.2. Cálculo de la condición práctica de protección según normativa	35
3.5. Solución final	36
4. Diseño mediante el uso de <i>SIMARIS Design</i>	37
4.1. Condiciones técnicas de funcionamiento del programa	37
4.2. Introducción	37
4.3. Límites de aplicación del programa	38
4.4. Manual del procedimiento	38
4.5. Documentación del proyecto	59
4.6. Solución proporcionada por <i>SIMARIS</i>	61
4.7. Discusión de los resultados	62
4.8. Conclusiones	64
5. Referencias bibliográficas	65



1.INTRODUCCIÓN

1.1.MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES

Es bien sabido que el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales forma a aquellos/as alumnos/as en un gran número de campos de la Ingeniería, como pueden ser: ingeniería hidráulica, de materiales, eléctrica, química, energética, de automatismos y sistemas, construcción, etc.

Ante este gran abanico de opciones con las que poder desempeñar una sólida formación profesional y versátil que faculta a todo estudiante a poder dedicarse en cualquiera de éstas, lo que suele ser frecuente es que cada alumno/a escoja una de las disciplinas antes mencionadas, ya sea por vocación, o por ver un futuro profesional y laboral en formarse en la especialización elegida.

En mi caso, mi vocación despertó al cursar durante el primer cuatrimestre del último curso de grado la asignatura obligatoria *Tecnología Eléctrica*. El buen aprovechamiento de la misma otorga al estudiante la capacidad de poder diseñar cualquier instalación eléctrica, que es una de las actividades proyectuales más típicas, y no por ello menos importante, en las que se enfrenta en el ámbito laboral cualquier Ingeniero/a Industrial.

Al tener claro que deseaba que mi especialización fuese la Ingeniería Eléctrica (que está fuertemente ligada con las instalaciones eléctricas), no tardé en decidir que el tema de mi TFG fuera también sobre cualquier aspecto que tuviera que ver con ésta.

De modo que, tras contactar con el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politècnica de Valencia, el profesor Manuel Pineda Sánchez, Catedrático de la UPV, me propuso el tema del TFG presente, para poder así culminar mis estudios de Grado haciendo una tarea en la que se ponen de manifiesto conocimientos, habilidades y competencias que he adquirido a lo largo de mis estudios, en especial por la asignatura *Tecnología Eléctrica*, y además con una orientación profesional y proyectual como es el diseño de instalaciones eléctricas. Por lo tanto, este TFG reúne todos los requisitos que se esperan de un/a estudiante de Ingeniería Industrial.

1.2.OBJETIVO

El objetivo fundamental del TFG es demostrar el dominio de uso de la versión gratuita del software *SIMARIS Design*, cuyas funcionalidades son la selección del transformador, dimensionado de las secciones de las líneas por todos los criterios estipulados por la normativa, y seleccionar aquellos dispositivos del catálogo de SIEMENS que cumplen con la protección frente a sobreintensidades (sobrecargas y cortocircuitos) y contactos indirectos. Debido a que el programa diseña la instalación de forma automática y muestra directamente la solución sin justificar los cálculos, se hace también el mismo procedimiento (selección del transformador, diseño de las secciones y selectividad de los dispositivos de protección) de forma manual, donde se muestran todos los cálculos justificativos para poder así contrastar ambos resultados y aumentar la fiabilidad del software, asegurándonos en todo momento que se cumple lo prescrito por el REBT.



1.3. ESTRUCTURA

En primer lugar, se enuncian las características de la nave industrial donde se debe diseñar la instalación. Esto es:

- Datos de la red de distribución de Media Tensión, de ahora en adelante M.T.
- Esquema de distribución.
- Material de los conductores y aislantes.
- Caídas de tensión máximas permitidas.
- Condiciones de la instalación (temperatura ambiente, temperatura del terreno, resistividad del terreno...)
- Distribución de la planta.
- Características de las cargas.
- Características de las líneas y canalizaciones.

Una vez explicado esto, se pasa a la parte más representativa del TFG, que es la fase de diseño de la instalación eléctrica de Baja Tensión (de ahora en adelante B.T.).

Para esta parte, el TFG se divide en dos apartados bien diferenciados entre sí:

- a) Diseño manual. En ella se recogen las distintas etapas del diseño, donde se enseñan los cálculos hechos que llevan a la solución de diseño obtenida. Previamente, se expone de manera breve en cada una de las etapas el fundamento teórico y fórmulas matemáticas en las que se sostienen dichos cálculos, todo apoyado en unas normas que se citarán cada vez que se haga uso de ellas. Estas etapas o fases de diseño son:
 1. Selección del transformador.
 2. Dimensionado de las secciones de las líneas de la instalación.
 3. Selectividad de la Aparatación eléctrica de la instalación, cumpliendo la protección frente a sobrecargas y frente a contactos indirectos.
- b) Diseño con SIMARIS. Análogo a lo anterior, pero en este caso no habrá ningún tipo de cálculo numérico, sino directamente la propuesta de diseño obtenida, ya que *SIMARIS* se encarga de dar la solución de forma inmediata. Por otro lado, dado que lo más representativo del TFG es el uso del software, se muestra previamente a la solución un Manual de Usuario con todo lo referente a las condiciones técnicas de funcionamiento, normas de utilización y límites de aplicación del programa.

Finalmente, se hace una conclusión donde se contrastan los resultados de ambos tipos de diseño, así como una bibliografía.



2. PRESENTACIÓN DEL ENUNCIADO

Los datos necesarios de la instalación, así como de la nave, de los que poder partir para realizar el diseño han sido proporcionados por los Tutores. En el Plano 1 del *Documento nº 4: Planos* realizado por AutoCAD, se enseña un esquema de las dimensiones de la planta, las distintas partes que tiene (Nave, Oficinas y Solar), así como la localización del Centro de Transformación, la situación de todos los Cuadros, la distribución de todas las líneas y las cargas que forman parte de la instalación eléctrica.

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La instalación se alimenta desde la red de distribución de media tensión (20 kV, $S_{cc} = 350 \text{ MVA}$) a través de un transformador de relación 20.000/400 V de potencia y características a determinar.

El esquema de distribución en Baja tensión es TN.

Se utilizan cables unipolares de cobre, de sección máxima igual a 240 mm^2 , aislados con polietileno reticulado (XLPE), con tensión nominal de aislamiento 0.6/1 kV.

Las caídas de tensión totales, en bornes de las cargas deberán ser menores del 3 %; en los circuitos de alumbrado se limitarán por debajo del 2 %.

La temperatura ambiente máxima en la nave es de 40°C y en el edificio de oficinas de 25°C .

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS

En la *TABLA 1* se especifican las cargas y motores que hay en la instalación, así como sus parámetros técnicos más importantes.

Código	Nombre completo	Potencia mecánica (kW)	cosφ	Rendimiento (η)
MQ1	Motor de inducción trifásico	160	0.89	0.96
MQ2	Motor de inducción trifásico	132	0.88	0.94
Horno	Horno	250	1	1
M bomba	Motor de inducción trifásico	75	0.87	0.9
Climatizador	Climatizador	30	0.84	1

TABLA 1. Características de las cargas y motores.

Además, la nave industrial cuenta con varios circuitos de alumbrado. En la tabla siguiente (*TABLA 2*) se especifican las características técnicas (potencia y factor de potencia) en función de la situación física y el tipo de tecnología:



SITUACIÓN	TIPO	POTENCIA/LÁMPARA (W)	cos ϕ
Nave	Halogenuros metálicos	250	0.85
Edificio de oficinas	Fluorescentes	36	0.85
Perimetral del solar	Vapor de sodio HP	250	0.85

TABLA 2. Características de los tipos de alumbrado

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS Y CANALIZACIONES

A continuación, se especifican las diferentes líneas, el código que tienen, su distribución física (punto de origen y punto de destino), su longitud, la/s carga/s que alimenta/n, así como las características de la canalización de cada una de ellas.

-Línea L1 (acometida): Conecta el secundario del transformador con el Cuadro General de Baja Tensión.

Longitud: 22 m.

Canalización: Bandeja perforada en el interior de galería de servicio suficientemente ventilada.

-Línea L2: Parte del CGBT y alimenta el motor de la bomba de un pozo.

Longitud: 240 m

Canalización: Directamente enterrada en el terreno, con $\rho = 120 \text{ }^\circ\text{C cm/W}$, temperatura máxima 30°C , a 1 m de profundidad.

-Línea L3: Parte del CGBT y alimenta los cuadros secundarios CS1 Y CS2.

Longitud: 51 m

Canalización: Bandeja perforada.

-Línea L4: Parte del CGBT y alimenta el cuadro secundario CS3 (oficinas).

Longitud: 54 m

Canalización: Bandeja perforada.

-Línea L5: Parte del cuadro secundario CS3 y alimenta 8 bases de enchufe monofásicas de 16 A, distribuidas uniformemente en toda su longitud. En esta línea se considera un coeficiente de simultaneidad $K_{sim} = 0,3$

Longitud: 60 m

Canalización: Tubo metálico grapado a las paredes.



-Línea L6: Parte del cuadro secundario CS3 y alimenta la máquina de climatización.

Longitud: 34 m

Canalización: Bandeja de PVC sobre falso techo.

-Línea LM1: Parte del CS1 y alimenta a la máquina 1.

Longitud: 20 m

Canalización: Tubo metálico.

-Línea LM2: Parte del CS2 y alimenta a la máquina 2.

Longitud: 20 m

Canalización: Tubo metálico.

-Línea LH: Parte del CS2 y alimenta el Horno.

Longitud: 17 m

Canalización: Tubo metálico.

-Línea LA1: Parte del CGBT y alimenta 20 lámparas de halógenos, distribuidas uniformemente en sus últimos 40 m.

Longitud: 47 m

Canalización: Tubo metálico grapado a las paredes y techo.

-Línea LA2: Parte del CGBT y alimenta 20 lámparas de halógenos, distribuidas uniformemente en sus últimos 40 m.

Longitud: 59 m

Canalización: Tubo metálico grapado a las paredes y techo.

-Línea LA3: Parte del CGBT y alimenta 20 lámparas de halógenos, distribuidas uniformemente en sus últimos 40 m.

Longitud: 71 m

Canalización: Tubo metálico grapado a las paredes y techo.

-Línea LA4, LA5: Parte del CGBT y alimenta 18 lámparas de vapor de sodio, distribuidas uniformemente en sus últimos 146 m

Longitud: 170 m

Canalización: Enterrada en el terreno, en el interior de un tubo, con $\rho = 120 \text{ }^\circ\text{C cm/W}$, temperatura máxima 30°C, a 1 m de profundidad.



-**Línea LA6:** Parte del CS3 y alimenta 40 lámparas fluorescentes, distribuidas uniformemente en sus últimos 20 m.

Longitud: 44 m

Canalización: Tubo corrugado de PVC empotrado en paredes y sobre falso techo.

-**Línea LA7:** Parte del CS3 y alimenta 20 lámparas, fluorescentes distribuidas uniformemente en sus últimos 20 m.

Longitud: 33 m

Canalización: Tubo corrugado de PVC empotrado en paredes y sobre falso techo.

-**Línea LA8:** Parte del CS3 y alimenta 20 lámparas fluorescentes, distribuidas uniformemente en sus últimos 20 m.

Longitud: 27 m

Canalización: Tubo corrugado de PVC empotrado en paredes y sobre falso techo.

3.DISEÑO MANUAL

Se procede ahora a la fase de diseño manual, donde las soluciones obtenidas en cada una de las etapas que se detallan en cada apartado se ven apoyadas por una serie de cálculos numéricos fundamentados sobre el *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC (edición Enero 2020)*, de ahora en adelante *REBT*.

3.1.SELECCIÓN DEL TRANSFORMADOR

Como bien se plantea en el apartado 2.1 del enunciado, hay que determinar la potencia y características del transformador que se instalará dentro del Centro de Transformación.

Para ello, se deben calcular las potencias, activa y reactiva, absorbidas por cada uno de los consumos que tiene la instalación, y calcular la potencia aparente como suma vectorial de las dos. Por ello, se va a dividir el cálculo de potencias en 3 partes: motores, alumbrado y otras cargas.

3.1.1.Fundamento teórico

El primer paso referente al diseño de la instalación es la selección de aquel transformador cuya potencia aparente entrega a la misma.

A) MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA: MQ1, MQ2 y M bomba.

Teniendo en cuenta que los datos de las potencias que el enunciado proporciona se refieren a potencia útil, y no a la absorbida o eléctrica, la potencia activa absorbida se calcula como:



$$P_i = \frac{P_M}{\eta} \quad [1]$$

Donde P_i es la potencia activa absorbida en kW , P_M la potencia mecánica o útil de cada motor, en kW , y η el rendimiento de cada motor.

Por otro lado, la fórmula para la potencia reactiva se deduce del triángulo de potencias por trigonometría:

$$Q_i = P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \quad [2]$$

Donde Q_i es la potencia reactiva absorbida en $kvar$, y el ángulo φ_i se determina a partir del factor de potencia ($\cos \varphi_i$) de cada motor como:

$$\varphi_i = \operatorname{arccos}(fdp) \quad [3]$$

Donde fdp es el factor de potencia, o $\cos \varphi_i$ de cada motor.

B) ALUMBRADO: NAVE, OFICINAS Y SOLAR.

Lo que se hace aquí es, conociendo el número de lámparas que hay en cada línea (LA1, LA2....LA8) y el tipo de tecnología que corresponde, calculamos la potencia activa absorbida como:

$$P_i = n \cdot (P_u / 1000) \quad [4]$$

Donde n es la cantidad total de lámparas que hay por tipo de tecnología (ya sean halogenuros metálicos, fluorescentes o vapor de sodio a alta presión), y P_u es la potencia unitaria por lámpara en W , cuyo valor en función del tipo de lámpara se encuentra en la *TABLA 2*.

Para el cálculo de la potencia reactiva, se hace exactamente igual que en el caso A), esto es, aplicando las ecuaciones [2] y [3] con los datos del enunciado.

C) RESTO DE CARGAS: Horno, Climatizador y bases de enchufe.

C.1) Para el Horno y el Climatizador se calcularán las potencias absorbidas, activa y reactiva, con las ecuaciones [1] y [2]. Cabe destacar que para el cálculo de la potencia activa absorbida ya se nos da en el enunciado directamente el valor deseado, por lo que sólo quedará calcular la potencia reactiva absorbida de cada carga.

C.2) En el caso de las bases de enchufe la operativa es un poco más compleja. Suponiendo un $\cos \varphi = 1$, que sería el caso más desfavorable, la previsión de potencia máxima teórica se calcularía como:



$$P_{max} = n \cdot I \cdot U \quad [5]$$

Donde I es la corriente base de cada enchufe que proporciona el enunciado, y U la tensión en monofásica.

No obstante, de acuerdo con la ITC-BT-10, "El promotor, propietario o usuario del edificio fijará de acuerdo con la Empresa Suministradora la potencia a prever, la cual, para nuevas construcciones, no será inferior a 5750 W a 230 V, en cada vivienda, independientemente de la potencia a contratar por cada usuario, que dependerá de la utilización que éste haga de la instalación eléctrica." Por ello, se proyecta por criterio propio una previsión de la potencia como un 30% (según el enunciado) de la máxima teórica, lo que llevará a suponer que:

$$P_i = K_{sim} \cdot P_{max} \quad [6]$$

3.1.2. Cálculo de las potencias absorbidas por las cargas

A) MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA: MQ1, MQ2 y M bomba.

Con las ecuaciones [1], [2], [3] y la TABLA 1 tenemos todos los datos y fundamento teórico necesarios para realizar los cálculos:

MQ1:
$$P_i = \frac{160}{0.96} = 166.67 \text{ kW}$$

$$Q_i = 166.67 \cdot \text{tg}(\arccos(0.89)) = 85.386 \text{ kvar}$$

MQ2:
$$P_i = \frac{132}{0.94} = 140.426 \text{ kW}$$

$$Q_i = 140.426 \cdot \text{tg}(\arccos(0.88)) = 75.8 \text{ kvar}$$

M bomba:
$$P_i = \frac{75}{0.9} = 83.33 \text{ kW}$$

$$Q_i = 83.33 \cdot \text{tg}(\arccos(0.87)) = 47.225 \text{ kvar}$$

B) ALUMBRADO: NAVE, OFICINAS Y SOLAR.

De la ecuación [4] se calculan las potencias absorbidas para el caso del alumbrado.

- Halogenuros (nave): teniendo en cuenta que lámparas de halogenuros hay en las líneas LA1, LA2 Y LA3, y que en cada línea hay 20 lámparas:

$$P_i = 60 \cdot \left(\frac{250}{1000} \right) = 15 \text{ kW}$$

$$Q_i = 15 \cdot \text{tg}(\arccos(0.85)) = 9.3 \text{ kvar}$$



- Fluorescentes (oficinas): forman parte del alumbrado de las oficinas, es decir, donde se encuentran las líneas LA6, LA7 Y LA8, y como cada línea (excepto la LA6, que tiene 40 lámparas) alimenta a 20 lámparas de este tipo de tecnología:

$$P_i = 80 \cdot \left(\frac{36}{1000}\right) = 2.88 \text{ kW}$$

$$Q_i = 2.88 \cdot \text{tg}(\text{arcos}(0.85)) = 1.785 \text{ kvar}$$

- Vapor de sodio (perimetral del solar): teniendo en cuenta que cada línea, la LA4 y LA5, alimentan a 18 lámparas de este tipo, se tendrá lo siguiente:

$$P_i = 36 \cdot \left(\frac{250}{1000}\right) = 9 \text{ kW}$$

$$Q_i = 9 \cdot \text{tg}(\text{arcos}(0.85)) = 5.578 \text{ kvar}$$

C) RESTO DE CARGAS: Horno, Climatizador y bases de enchufe.

C.1)

Horno:

$$P_i = 250 \text{ kW}$$

$$Q_i = [\cos\varphi = 1] = 0 \text{ kvar}$$

Climatizador:

$$P_i = 30 \text{ kW}$$

$$Q_i = 30 \cdot \text{tg}(\text{arcos}(0.84)) = 19.38 \text{ kvar}$$

C.2) Según los datos de la línea L5, se tienen 8 bases de enchufe monofásicas de 16 A cada una. Suponiendo un $\cos\varphi = 1$, la potencia máxima teórica se calcularía a partir de la ecuación [5] como:

$$P_{max} = 8 \cdot 16 \cdot 230 = 29440 \text{ W}$$

Y por lo tanto se consiguen calcular las potencias absorbidas siguientes, a partir de la ecuación [6]:

$$P_i = K_{sim} \cdot P_{max} = 0.3 \cdot 29440 = 8832 \text{ W} = 8.832 \text{ kW}$$

$$Q_i = [\cos\varphi = 0] = 0 \text{ kvar}$$

En la TABLA 3 de la página siguiente se enseña a modo de resumen los resultados de los cálculos previamente realizados.

Cargas	Potencia Activa(kW)	Potencia Reactiva (kvar)
MQ1	166.667	85.386
MQ2	140.426	75.794
Horno	250	0
M bomba	83.333	47.227
Climatizador	30	19.378
Halogenuros	15	9.296
Fluorescentes	2.88	1.785
Vapor de sodio	9	5.578
Bases de enchufe	8.832	0

TABLA 3. Potencias absorbidas de las cargas.

3.1.3. Cálculo de la potencia del transformador

Para calcular la potencia aparente mínima necesaria (en *kVA*) del transformador a instalar, primero hay que sumar, separadamente, la potencia total activa y la total absorbida:

$$\left. \begin{aligned} P_{T,abs} &= \sum P_i = 706.138 \text{ kW} \\ Q_{T,abs} &= \sum Q_i = 244.444 \text{ kvar} \end{aligned} \right\} S_{trafo} = \sqrt{P_{T,abs}^2 + Q_{T,abs}^2} = 747.241 \text{ kVA}$$

3.1.4. Selección final del transformador

El criterio adoptado a la hora de seleccionar un transformador de entre los que se encuentran en el catálogo consiste en elegir aquel cuya potencia aparente normalizada sea inmediatamente superior.

Aprovechando que el propio software *SIMARIS Design* tiene integrado un catálogo de transformadores cuyo fabricante es *SIEMENS*, se va a seleccionar de entre ellos el transformador idóneo. El modelo elegido es un transformador *Siemens GEA FOL* con 800 *kVA* de potencia nominal. En la *FIGURA 1* se detallan el resto de parámetros técnicos.

Parámetro	Valor
Designación	C.T.
Fabricante	SIEMENS
Producto / Tipo	GEA FOL
Grupo de vectores	Dyn5
Ventilador montado	No
Potencia Sn [kVA]	800
Tensión nominal de corto-circuito ukr [%]	6
Pérdidas del corto-circuito Pk [kW]	7
Pérdidas en vacío P0 [kW]	1.3

FIGURA 1. Datos del modelo del transformador (Fuente SIMARIS Design).

Por otro lado, cabe destacar que esta elección supone la ventaja de que, al tener una potencia normalizada mayor a la mínima, habrá una reserva de 52.76 kVA para posibles futuras ampliaciones dentro de la instalación eléctrica.

3.2.DIMENSIONADO DE LAS SECCIONES

Esta etapa de diseño es la que sin duda ha requerido un tiempo de trabajo mayor, como consecuencia del número de líneas que hay y del propio proceso de cálculo que hay que repetir en todas y cada una de ellas.

Como en el anterior apartado, se comienza con una parte introductoria de fundamento teórico de donde se basan los cálculos que se han hecho, para después pasar directamente a éstos.

3.2.1.Fundamento teórico

A la hora de dimensionar las secciones de los conductores, existen diferentes tipos de éstos, donde el cálculo en cada caso es bien distinto: conductores de fase, conductores de neutro y conductores de protección.

3.2.1.1. Dimensionado de los conductores de fase

Existen principalmente dos criterios de dimensionado para los conductores de fase, que son: criterio térmico y criterio por caída de tensión.



Es importante destacar que para que la dimensión del conductor (en mm^2) sea válida, ésta debe cumplir indistintamente ambos criterios, por lo que en el proceso de cálculo se empezará a realizar el dimensionado por el criterio térmico, para luego escoger aquella sección calculada por el criterio de caída de tensión que sea mayor o igual a la calculada por el criterio térmico. De esta manera, nos aseguramos que la sección final cumpla con ambos criterios.

A) DIMENSIONADO DE CONDUCTORES POR CRITERIO TÉRMICO

El dimensionamiento de conductores por criterio térmico obedece a la idea de que, en funcionamiento normal, el conductor no debe superar una cierta temperatura, o, dicho de otra manera, que la temperatura de los aislantes no deberá ser mayor que la temperatura admisible (Roger y otros, 2010).

Lo primero que se debe hacer para dimensionar una línea determinada es calcular su corriente base de diseño (I_B), teniendo en cuenta una serie de aspectos:

- Para tener en cuenta el efecto de los arranques o posibles sobrecargas en motores, la reglamentación vigente (en concreto la ITC-BT-47) establece que, para el dimensionado de las líneas, se debe prever un incremento de corriente igual al 25% del consumo del motor alimentado por la línea, y en el caso que haya más de un motor, aplicar el 25% sólo sobre el motor que mayor potencia, o corriente, absorba. De forma numérica:

$$I_B = 1.25 I_{n,mot.max} + \sum I_i \quad [7]$$

- Por otro lado, para el caso de lámparas de descarga, la reglamentación vigente (ITC-BT-09 e ITC-BT-44) fija una potencia aparente en VA igual a 1.8 veces la potencia de la lámpara en vatios (P_L):

$$I = \frac{1.8 P_L}{U_n} \quad [8]$$

Una vez calculadas las corrientes base de diseño de cada línea, ya se pasaría a determinar la sección mínima necesaria que cumple el criterio térmico. Para ello, se hace uso de las tablas dadas por las Norma UNE HD 60364-5-52. *Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones (aprobada en Diciembre de 2014)*.

Estas tablas tienen en cuenta el tipo de cable, el método de instalación y el material aislante. En el apartado 2.1. se ha especificado que el material de los conductores es el cobre, los cables son unipolares y el material aislante es el polietileno reticulado (XLPE).

El primer paso es seleccionar el método de instalación conociendo las condiciones de instalación de las canalizaciones. El método de instalación se seleccionará de entre las tablas A.52.3 y B.52.1 de la norma, conociendo el tipo de canalización de cada línea de la instalación.

Una vez seleccionado el método de instalación, se debe/n determinar el/los posible/s factor/es de corrección. Teniendo en cuenta lo expuesto en el enunciado, habrán factores de corrección por:



temperatura ambiente (tabla B.52.14), agrupamiento de cables unipolares (tabla B.52.21), temperatura del terreno (tabla B.52.15) y/o resistividad del terreno (tabla B.52.16).

Lo siguiente es calcular la corriente I_1 como:

$$I_1 = \frac{I_B}{K} \quad [9]$$

Donde I_B es la corriente base de diseño de cada línea y K el resultado de multiplicar entre sí todos los posibles factores de corrección que corresponden a cada línea.

Una vez hecho esto, se debe seleccionar la primera sección normalizada tal que su correspondiente intensidad, I_{TABLAS} , sea inmediatamente mayor o igual a la corriente I_1 calculada en [9]. Se entra en la tabla C.52.1 ó C.52.2 para seleccionar la columna, teniendo en cuenta el método de instalación, si estamos en monofásica o trifásica, el material aislante, y el material conductor.

Sólo queda calcular la intensidad admisible, I_Z , como:

$$I_Z = I_{TABLAS} \cdot K \quad [10]$$

Finalmente, la sección normalizada escogida cumplirá siempre que la corriente base de diseño, I_B , sea menor o igual a la intensidad admisible por el criterio térmico, I_Z .

B) DIMENSIONADO DE CONDUCTORES POR CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN

En todas las líneas de la instalación, se produce inevitablemente una caída de tensión sobre la/carga/s que alimenta, debido a una serie de pérdidas resistivas por efecto Joule y pérdidas inductivas (Roger y otros, 2010). Éstas últimas, serán despreciables o no frente a las resistencias, en función de la sección del conductor.

Así, la *Guía Técnica de Aplicación – Anexos: Cálculo de las Caídas de Tensión (2003)* del REBT establece unos valores aproximados de la reactancia inductiva en función de las secciones de los conductores que se detallan en la TABLA 4:

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \cong 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,15 \text{ R}$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,20 \text{ R}$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,25 \text{ R}$

TABLA 4. Valores aproximados de la reactancia inductiva (Fuente *Guía Técnica de Aplicación – Anexos: Cálculo de las Caídas de Tensión* del REBT).

Según la Guía Técnica mencionada antes, se calculará la caída de tensión como:

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

Donde ΔU es la caída de tensión en voltios (V), I es la propia corriente base de diseño referente a cada línea, I_B , y R, X son la resistencia y reactancia por fase de la línea, respectivamente.

Según Roger y otros (2010), para el caso de los circuitos de alumbrado (LA1, LA2,...,LA8) en la que las lámparas se encuentran uniformemente distribuidas, la caída de tensión se calcula como:

$$\Delta U = \frac{\rho}{S \cdot U_n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n L_{0i} \cdot P_i \right) \quad [12]$$

Donde ρ es la resistividad del conductor, U_n es la tensión nominal de la instalación ($400 V$), L_{0i} son cada una de las longitudes que se muestran en la FIGURA 2, y P_i es la potencia unitaria de cada lámpara de la línea.

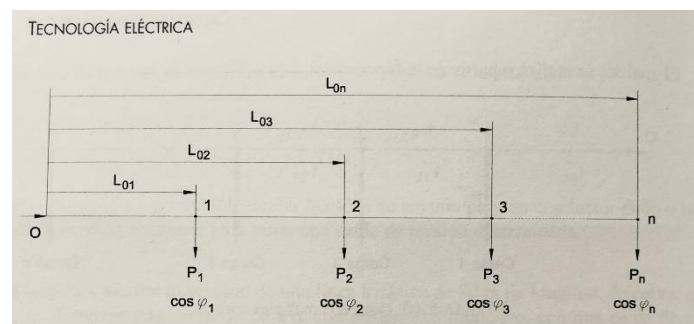


FIGURA 2. Líneas de sección uniforme con múltiples cargas (Fuente Libro Tecnología Eléctrica).

Por otro lado, se calcula la resistencia por fase como:

$$R = \rho_{90^\circ} \cdot \frac{L}{n \cdot S} \quad [13]$$

Donde ρ_{90° es la resistividad del Cobre a 90° , L la longitud de la línea, n el número de conductores que hay por fase, y S la sección por conductor de fase calculada previamente en el dimensionado por criterio térmico. Se ha escogido la resistividad a dicha temperatura para encontrarnos en el caso más desfavorable como es el de la temperatura máxima admisible del XLPE, que es de 90° de acuerdo con la norma UNE HD 60364-5-52.

Finalmente, la comprobación consiste en calcular la caída de tensión porcentual en cada línea y comprobar que ésta es menor o igual a los requerimientos de acuerdo con el enunciado, que se trata de un 2% para los circuitos de alumbrado (líneas LA1, LA2, ..., LA8), y un 3% para las cargas (resto de líneas). Esto es:

$$\Delta U(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U}{U_n} \leq \Delta U_{max}(\%) \quad [14]$$



Si se cumple la condición [14], entonces la sección normalizada que habíamos elegido para el dimensionado por criterio térmico, también cumplirá el criterio por caída de tensión. En caso de que no se cumpla, lo que se hará es aumentar la sección a la sección normalizada inmediatamente superior de entre las disponibles, comprobar de nuevo que cumple caída de tensión, y así sucesivamente hasta que cumpla. Se tendrá que recalcular también la intensidad admisible I_Z , pero se puede deducir que si la sección normalizada, que habíamos calculado por el criterio térmico, la aumentamos, cumplirá con mayor margen de seguridad que la corriente base de diseño, I_B , es menor o igual a la intensidad admisible por el criterio térmico, I_Z .

3.2.1.2. Dimensionado de los conductores neutro y de protección

En el enunciado se especifica que el esquema de distribución es TN. De acuerdo con la norma ITC-BT-08 del REBT, los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Dentro de este tipo de esquema, hay 3 tipos:

- Esquema TN-C:** el conductor neutro se utiliza indistintamente como neutro de servicio y como conductor de protección (CPN) conectado a las masas.
- Esquema TN-S:** del neutro del transformador parten dos conductores: uno se utiliza como neutro de servicio (N) y el otro como conductor de protección conectado a las masas (CP). Las funciones de neutro y protección están separadas en toda la instalación.
- Esquema TN-C-S:** las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en parte de la instalación y separadas en dos conductores en el último escalón de la distribución.

De entre las tres opciones mencionadas previamente, se decide emplear como esquema de distribución de la instalación el TN-C, ya que resulta la opción más económica posible por ahorro de cantidad de material conductor y aislante. No hay que olvidar que un esquema de distribución TN se suele dar para el caso de instalaciones de grandes dimensiones (como es el caso) y que requieren de un mantenimiento personal cualificado, por lo que supondrá una diferencia importante de coste económico el hecho de decantarse por TN-C o TN-S.

Es por ello que en este apartado se ha condensado la información conductores de neutro y protección en uno solo, ya que al ser esquema TN-C, el mismo conductor realiza las dos funciones.

En esta parte de dimensionado, se tiene la ventaja que no es necesario aplicar ningún procedimiento de cálculo, ya que la norma ITC-BT-18 del REBT establece los siguientes criterios de dimensionado que se recogen en la TABLA 5.

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 5. Relación entre las secciones de conductores de protección y de fase (Fuente ITC-BT-18).



Si la aplicación de la tabla conduce a valores no normalizados, se han de utilizar conductores que tengan la sección normalizada superior más próxima. Los valores de la TABLA 5 son válidos en este caso ya que, cumpliendo en lo prescrito en la ITC-BT-18, los conductores de protección han sido fabricados del mismo material que los conductores activos (cobre).

Finalmente, el formato de sección que tendrá cualquier línea de la instalación será la de:

$$n \times (3 \times S_{fase} + S_{CP}) \quad [15]$$

Donde n es el número de conductores por fase en paralelo que puede haber si se da el caso, S_{fase} es la sección por fase de la línea, y S_{CP} es la sección del conductor de protección que, por ser esquema TN-C, es la exactamente la misma que la del conductor de neutro.

3.2.2. Dimensionado de las secciones de los conductores de fase por criterio térmico

A continuación, se detallan en el presente apartado el procedimiento de cálculo de sólo algunas líneas a modo de ejemplo, distinguiéndose entre ellas por el tipo de carga/s que alimentan. Estos ejemplos son: línea de acometida (L1), línea que alimenta varias cargas con distintos valores de factores de potencia (L3), línea monofásica que alimenta a bases de enchufe (L5), línea que alimenta una carga cualquiera (L6), línea que alimenta un motor (LM1) y línea de alumbrado (LA1).

- **Línea 1 (L1):** al tratarse de la línea de acometida, la corriente base de diseño se calculará como:

$$I_{B,L1} = \frac{S_{NT}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{800 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1154.7 \text{ A}$$

Al ser una corriente demasiado elevada como para encontrar una corriente igual o mayor en la tabla C.52.1, con el objetivo de disminuir la corriente por fase, se decide en esta línea instalar 3 conductores por fase en paralelo ($I'_{B,L1} = I_{B,L1}/3 = 384.9 \text{ A}$).

Método de instalación: F (bandeja perforada, véase tablas A.52.3 y B.52.1).

Factores de corrección:

- Por temperatura ambiente (K_T); Entrando en la tabla B.52.14 ($T = 40^\circ, XLPE$): $K_T = 0.91$
- Por agrupación (K_A); Entrando en la tabla B.52.21 (número de bandejas 1, número de circuitos 3):

$$K_A = 0.87$$

$$K_{L1} = K_T K_A = 0.91 \cdot 0.87 = 0.7917; I_{1,L1} = \frac{384.9}{0.7917} = 486.169 \text{ A}$$

Entrando en la tabla C.52.1 (Columna 11), se selecciona una sección de **185 mm²** ($I_{TABLAS,L1} = 506 \text{ A}$).

Por lo tanto: $I_{Z,L1} = 506 \cdot 0.7917 = 400.6 \text{ A} \geq I'_{B,L1}$ y cumple criterio térmico.



- **Línea 3 (L3):** esta línea tiene de consumos MQ1, MQ2 y Horno; aplicaremos la ecuación [7], pero hay que tener en cuenta que la línea alimenta cargas de valores diferentes de factor de potencia, por lo que habrá que realizar la suma fasorial entre ellas:

$$|\overrightarrow{I_{MQ1}}| = \frac{160 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0.89 \cdot 0.96 \cdot 400} = 270.3 \text{ A}; \quad \overrightarrow{I_{MQ1}} = 270.3 \cdot 0.89 + 270.3 \cdot 0.46 \cdot j \text{ A}$$

$$|\overrightarrow{I_{MQ2}}| = \frac{132 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0.88 \cdot 0.94 \cdot 400} = 230.326 \text{ A}; \quad \overrightarrow{I_{MQ2}} = 230.326 \cdot 0.88 + 230.326 \cdot 0.475 \cdot j \text{ A}$$

$$|\overrightarrow{I_{Horno}}| = \frac{250 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = \overrightarrow{I_{Horno}} = 360.844 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta que: $\overrightarrow{I_{B,L3}} = 1.25 \cdot \overrightarrow{I_{MQ1}} + \overrightarrow{I_{MQ2}} + \overrightarrow{I_{Horno}} = 864.24 + 264.82735 \cdot j$

$$I_{B,L3} = |\overrightarrow{I_{B,L3}}| = \sqrt{864.24^2 + 264.82735^2} = 903.5106 \text{ A}$$

Es imposible encontrar una $I_{TABLAS,L3}$ tal que la sección no supere la máxima (240 mm^2). Por lo tanto, análogamente al caso de L1, aumentamos a 2 conductores por fase en paralelo, por lo que: $I'_{B,L3} = \frac{I_{B,L3}}{2} = 451.7553 \text{ A}$

Método de instalación: F (bandeja perforada, véase tablas A.52.3 y B.52.1).

Factores de corrección:

- Por temperatura ambiente (K_T); Entrando en la tabla B.52.14 ($T = 40^\circ$, XLPE): $K_T = 0.91$
- Por agrupación (K_A); Entrando en la tabla B.52.21 (número de bandejas 1, número de circuitos 1): $K_A = 0.91$

$$K_{L3} = K_T K_A = 0.91 \cdot 0.91 = 0.8281; \quad I_{1,L3} = \frac{451.7553}{0.8281} = 545.532 \text{ A}$$

Entrando en la tabla C.52.1 (Columna 11), se selecciona una sección de **240 mm^2** ($I_{TABLAS,L3} = 599 \text{ A}$).

Por lo tanto: $I_{Z,L3} = 599 \cdot 0.8281 = 496.0319 \text{ A} \geq I'_{B,L3}$ y cumple criterio térmico.

- **Línea 5 (L5):** esta línea alimenta a las 8 bases de enchufe. Teniendo en cuenta que las bases de enchufe son monofásicas ($U_n = 230 \text{ V}$), y el coeficiente de simultaneidad ($K_{sim} = 0.3$), se aplica la ecuación [6] y se deduce que: $I_{B,L5} = K_{sim} \cdot n_{bases} \cdot I_{base} = 0.3 \cdot 8 \cdot 16 = 38.4 \text{ A}$

Método de instalación: B1 (tubo metálico, véase tablas A.52.3 y B.52.1).

Factores de corrección:

- Por temperatura ambiente (K_T); Entrando en la tabla B.52.14 ($T = 25^\circ$, XLPE): $K_T = K_{L5} = 1.04$; $I_{1,L5} = \frac{38.4}{1.04} = 36.923 \text{ A}$

Entrando en la tabla C.52.1 (Columna 10), se selecciona una sección de **6 mm^2** ($I_{TABLAS,L5} = 54 \text{ A}$).

Por lo tanto: $I_{Z,L5} = 54 \cdot 1.04 = 56.16 \text{ A} \geq I_{B,L5}$ y cumple criterio térmico.



- **Línea 6 (L6):** esta línea tiene por único consumo el Climatizador. Teniendo en cuenta que es una carga cualquiera, en este caso no se mayor por ningún coeficiente. Por lo tanto:

$$I_{B,L6} = \frac{30 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.84} = 51.55 \text{ A}$$

Método de instalación: C (bandeja de PVC, suponemos que no está perforada, véase tablas A.52.3 y B.52.1).

Factores de corrección:

- Por temperatura ambiente (K_T); Entrando en la B.52.14 ($T = 25^\circ$, XLPE):

$$K_T = K_{L5} = 1.04; \quad I_{1,L6} = \frac{51.55}{1.04} = 49.566 \text{ A}$$

Entrando en la tabla C.52.1 (Columna 9), se selecciona una sección de **6 mm²** ($I_{TABLAS,L6} = 51 \text{ A}$).

Por lo tanto: $I_{Z,L6} = 51 \cdot 1.04 = 53.04 \text{ A} \geq I_{B,L6}$ y cumple criterio térmico.

- **Línea LM1:** alimenta al motor de la máquina 1 (MQ1). Teniendo en cuenta que es un motor, aplicamos la ecuación [7]: $I_{B,LM1} = 1.25 \cdot \frac{160 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.89 \cdot 0.96} = 337.87 \text{ A}$

Método de instalación: B1 (tubo metálico, véase tablas A.52.3 y B.52.1).

Factores de corrección:

- Por temperatura ambiente (K_T); Entrando en la tabla B.52.14 ($T = 40^\circ$, XLPE):

$$K_T = 0.91 \quad I_{1,LM1} = \frac{337.87}{0.91} = 371.284 \text{ A}$$

Entrando en la tabla C.52.1 (Columna 8), se selecciona una sección de **185 mm²** ($I_{TABLAS,LM1} = 392 \text{ A}$).

Por lo tanto: $I_{Z,LM1} = 392 \cdot 0.91 = 356.72 \text{ A} \geq I_{B,LM1}$ y cumple criterio térmico.

- **Línea LA1:** alimenta a 20 lámparas de halógenos, teniendo en cuenta la ecuación [8]:

$$I_{B,LA1} = 1.8 \cdot \frac{20 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85} = 15.2828 \text{ A}$$

Método de instalación: B1 (tubo metálico, véase tablas A.52.3 y B.52.1).

Factores de corrección:

- Por temperatura ambiente (K_T); Entrando en la tabla B.52.14 ($T = 40^\circ$, XLPE):

$$K_T = 0.91 \quad I_{1,LA1} = \frac{15.2828}{0.91} = 16.794 \text{ A}$$

Entrando en la tabla C.52.1 (Columna 8), se selecciona una sección de **1.5 mm²** ($I_{TABLAS,LA1} = 19.5 \text{ A}$).

Por lo tanto: $I_{Z,LA1} = 19.51 \cdot 0.91 = 17.745 \geq I_{B,LA1}$ y cumple criterio térmico.



En la siguiente tabla (TABLA 6) se adjunta una tabla-resumen del diseño de las secciones de los conductores de fase por el criterio térmico.

Líneas	Método Instalación	Factores de corrección	$I_B (A)$	$I_1 (A)$	$I_{TABLAS} (A)$	$I_Z (A)$	Sección Conductores Fase (mm^2)
L1	F	0.79	384.9	486.169	506	400.6	185 (3)
L2	D	1.07	172.82	161.87	178	190.04	70
L3	F	0.83	451.76	545.532	599	496.03	240 (2)
L4	F	0.91	94.95	104.34	107	97.37	16
L5	B1	1.04	38.4	36.92	54	56.16	6
L6	C	1.04	51.55	49.57	51	53.04	6
LM1	B1	0.91	337.87	371.284	392	356.72	185
LM2	B1	0.91	287.91	316.382	344	313.04	150
LH	B1	0.91	360.84	396.532	461	419.51	240
LA1	B1	0.91	15.28	16.79	19.5	17.74	1.5
LA2	B1	0.91	15.28	16.79	19.5	17.74	1.5
LA3	B1	0.91	15.28	16.79	19.5	17.74	1.5
LA4	D	1.07	13.76	12.89	22	23.49	1.5
LA5	D	1.07	13.76	12.89	22	23.49	1.5
LA6	B1	1.04	4.4	4.23	19.5	20.28	1.5
LA7	B1	1.04	2.2	4.23	19.5	20.28	1.5
LA8	B1	1.04	2.2	4.23	19.5	20.28	1.5

TABLA 6. Solución de dimensionado por criterio térmico según norma UNE HD 60364-5-52.

3.2.3. Dimensionado de las secciones de los conductores de fase por criterio de caída de tensión

En todas las líneas excepto las del alumbrado (de LA1 a LA8) se calculará la caída de tensión en cada una de ellas mediante la ecuación [11]. Para ello, calculamos la resistencia y reactancia de cada una de las líneas individualmente. La resistencia se calcula mediante la ecuación [13], y la reactancia según la TABLA 4. Para calcular los términos $\cos\varphi$ y $\sin\varphi$ de dicha ecuación, se deberán tener en cuenta a qué carga/s alimentan cada una de las líneas.

Para el caso de los alumbrados (de LA1 a LA8) y las bases de enchufe (L5), donde las cargas están separadas uniformemente a lo largo de la línea, se aplicará la ecuación [12] para el cálculo de caída de tensión.

Se detalla a modo de ejemplo el procedimiento de cálculo para la línea L2 (donde se aplican las ecuaciones [11] y [13]) y la de la línea LA3 (donde se aplica la ecuación [12]). Se han seleccionado estas



dos justamente porque son de los casos en los que el criterio no se cumple y se detalla el cálculo a realizar para determinar la sección mínima que sí que cumple dicho criterio.

$$\text{-Línea 2: } R_{L2} = 0.02198 \cdot \frac{240}{70} \cdot 1000 = 75.36 \text{ m}\Omega; \quad X_{L2} = 0 \text{ m}\Omega$$

$$P_{L2} = P_{Mbomba} = 83.33 \text{ kW}; \quad Q_{L1} = Q_{Mbomba} = 47.225 \text{ kvar}; \quad \varphi_{L2} = \arctan\left(\frac{Q_{L2}}{P_{L2}}\right) = 29.54^\circ$$

$$\Delta U_{L2} = \sqrt{3} \cdot (75.36 \cdot 172.82 \cdot \cos(29.54)) / 1000 = \mathbf{19.63 \text{ V}}$$

-**Línea LA3**: aquí la operativa resulta mucho más compleja. Sabiendo que la línea tiene una longitud de 71 m, y las 20 lámparas está distribuidas en sus últimos 40 m, la distancia que hay entre lámparas es uniforme y tendrá de valor 40/19. Por último, el término $(\sum_{i=1}^n L_{0i} \cdot P_i)$ se calcula mediante la siguiente sucesión:

$$(31 + \frac{40}{19} + 31 + 2 \cdot \frac{40}{19} + 31 + 3 \cdot \frac{40}{19} + 31 + \dots + 19 \cdot \frac{40}{19} + 31) \cdot 250$$

De manera compacta, se calcula la caída de tensión de la siguiente manera, aplicando la ecuación [12]:

$$\Delta U_{LA3} = \frac{0.02198}{1.5 \cdot 400} \cdot \left(\left(20 \cdot 31 + 190 \cdot \frac{40}{19} \right) \cdot 250 \right) = \mathbf{9.3415 \text{ V}}$$

Lo único que queda es calcular la suma de las caídas de tensión en tanto por cien desde bornes de B.T. del transformador hasta el final de cada línea, y si el valor es menor o igual a los máximos establecidos por el enunciado, la sección elegida cumplirá también este criterio de dimensionado.

NOTA: el término 0.587 que aparece en los cálculos de $\Delta U_{L2}(\%)$ y $\Delta U_{LA3}(\%)$ es el resultado de calcular la caída de tensión del final de la línea L1 (ΔU_{L1}), que se calcularía de la siguiente forma:

$$R_{L1} = 0.02198 \cdot \frac{22}{3 \cdot 185} \cdot 1000 = 0.8713 \text{ m}\Omega; \quad X_{L1} = 0.20 \cdot R_{L1} = 0.174 \text{ m}\Omega$$

$$P_{L1} = P_{T,abs} = 706.14 \text{ kW}; \quad Q_{L1} = Q_{T,abs} = 244.44 \text{ kvar}; \quad \varphi_{L1} = \arctan\left(\frac{Q_{L1}}{P_{L1}}\right) = 19.1^\circ$$

$$\Delta U_{L1} = \sqrt{3} \cdot (0.8713 \cdot 384.9 \cdot \cos(19.1) + 0.174 \cdot 384.9 \cdot \text{sen}(19.1)) / 1000 = \mathbf{0.587 \text{ V}}$$

$$\text{-Línea L2: } \Delta U_{L2}(\%) = \left(\frac{0.587 + 19.63}{400} \right) \cdot 100 = \mathbf{5.054 \%}; \quad \text{NO CUMPLE (mayor que el 3\%)}$$

La sección mínima se despejará de la siguiente ecuación:

$$\Delta U_{max}(\%) = 3 \geq 100 \cdot \left(\frac{0.587 + \sqrt{3} \cdot 0.02198 \cdot \frac{240}{S_{min}} \cdot 172.82 \cdot \cos(29.54)}{400} \right)$$

$S_{min} \geq 120.37 \text{ mm}^2$; La sección normalizada inmediatamente superior es de **150 mm²**; ahora la caída de tensión al final de la línea será (con $R_{L2} = 0.02198 \cdot \frac{240}{150} = 0.035168 \Omega$, y $X_{L2} = 0.15R = 0.0053 \Omega$):



$\Delta U_{L2}(\%) = \left(\frac{0.587 + \sqrt{3} \cdot 172.82(0.035168 \cdot \cos(29.54) + 0.0053 \cdot \sin(29.54))}{400} \right) \cdot 100 = 2.63\%$, que sí cumple el criterio.

-**Línea LA3:** $\Delta U_{LA3}(\%) = \left(\frac{0.587 + 9.3415}{400} \right) \cdot 100 = 2.48\%$; NO CUMPLE (mayor que el 2%)

$$\Delta U_{max}(\%) = 2 \geq 100 \cdot \left(\frac{0.587 + \frac{0.02198}{S_{min} \cdot 400} \cdot \left((190 \cdot \frac{40}{19} + 31 \cdot 20) \cdot 250 \right)}{400} \right)$$

Que despejando, sale $S_{min} \geq 1.89$; La sección normalizada inmediatamente superior es de **2.5 mm²**, que cumplirá por lo tanto este criterio. Se vuelve a calcular la caída de tensión porcentual:

$$\Delta U_{LA3}(\%) = \left(\frac{\frac{0.02198}{2.5 \cdot 400} \left((20 \cdot 31 + 190 \cdot \frac{40}{19}) \cdot 250 \right) + 0.587}{400} \right) \cdot 100 = 1.55\%$$
, que al ser menor que 2%, cumple

efectivamente este criterio, además del criterio térmico.

En la siguiente tabla (TABLA 7) se adjunta una tabla-resumen del diseño de las secciones de los conductores de fase por el criterio de caída de tensión.

Líneas	$\sum \Delta U$ (%)	Sección Conductores Fase (mm ²)
L1	0.146736592	185 (3)
L2	2.631192855	150
L3	0.617360718	240 (2)
L4	1.390238728	35
L5	2.938525326	16
L6	1.507019257	120
LM1	0.958496092	185
LM2	0.964939427	150
LH	0.860646745	240
LA1	1.383215472	1.5
LA2	1.932761641	1.5
LA3	1.548079323	2.5
LA4	1.645967234	4
LA5	1.645967234	4
LA6	1.838668402	1.5
LA7	1.541913471	1.5
LA8	1.502346146	1.5

TABLA 7. Solución de dimensionado por criterio de caída de tensión.

NOTA: el término $\sum \Delta U$ (%) de la columna de la TABLA 7 se refiere a la caída de tensión porcentual desde el lado secundario del transformador hasta el final de la línea correspondiente.



3.2.4. Dimensionado de las secciones de los conductores de neutro y protección

Tal y como se ha explicado en el fundamento teórico (apartado 3.2.1), al ser el esquema de distribución TN-C, se dimensionarán las secciones de los conductores de neutro y protección como si fueran uno solo, y se hará de acuerdo con la *TABLA 5* (ITC-BT-18).

NOTA: la línea de acometida (L1) no lleva conductor de protección, ya que la conexión a tierra se hace en el cuadro general de B.T.

3.2.5. Solución final

En la siguiente tabla (*TABLA 8*), se muestra a modo de resumen las dimensiones de los conductores de fase, y de neutro/protección, con el formato establecido por la ecuación [15], que cumplen tanto el criterio térmico como el de caída de tensión.

LÍNEAS	DIMENSIONES DE LA LÍNEA
L1	3 x (3 x 185 + 95)
L2	3 x 150 + 95
L3	2 x (3 x 240 + 120)
L4	3 x 35 + 16
L5	1 x 16 + 16
L6	3 x 120 + 70
LM1	3 x 185 + 95
LM2	3 x 150 + 95
LH	3 x 240 + 120
LA1	3 x 1.5 + 1.5
LA2	3 x 1.5 + 1.5
LA3	3 x 2.5 + 2.5
LA4	3 x 4 + 4
LA5	3 x 4 + 4
LA6	3 x 1.5 + 1.5
LA7	3 x 1.5 + 1.5
LA8	3 x 1.5 + 1.5

TABLA 8. Dimensiones de las líneas que cumplen criterios térmicos y de caída de tensión.



3.3. PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN FRENTE A SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS

3.3.1. Fundamento teórico

Al diseñar una instalación eléctrica se toman como punto de partida los valores de las intensidades y tensiones que sus distintos elementos deben soportar en condiciones normales de utilización.

Sin embargo, durante la explotación de cualquier instalación suelen producirse, de forma esporádica, averías u otras circunstancias que determinan que las corrientes o tensiones en la instalación, o parte de ella, sean mayores que las que se tomaron como punto de partida para el diseño. Cuando se producen estas condiciones anormales (sobrecargas y cortocircuitos), es necesario que exista algún sistema de protección que las detecte y actúe, evitando que la parte de la instalación afectada sufra daños (Roger y otros, 2010).

Cabe resaltar que el objetivo de este apartado es la protección de la instalación (fundamentalmente los conductores), y no de las personas (véase apartado 3.4).

La normativa que se utiliza en el presente apartado es la ITC-BT-22 del REBT y la norma *UNE HD 60364 (2014)*.

De acuerdo con la normativa, las sobreintensidades pueden ser debidas principalmente a:

- Sobrecargas: es una sobreintensidad que se produce en un circuito eléctricamente sano, en ausencia de un fallo eléctrico.
- Cortocircuitos: es una sobreintensidad originada por un defecto de aislamiento de impedancia despreciable entre dos puntos de la instalación que en servicio normal tienen unos potenciales definidos y distintos.

El objetivo de esta etapa del diseño es seleccionar el conjunto de dispositivos de protección que protejan la instalación frente a ambos tipos de sobreintensidades. Los dispositivos que se van a seleccionar son básicamente Interruptores Automáticos (de ahora en adelante, I.A.) y Pequeños Interruptores Automáticos (de ahora en adelante, P.I.A.).

A) PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

Las características de funcionamiento de un dispositivo que protege un cable (o conductor) contra sobrecargas deben satisfacer las dos condiciones siguientes:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad [16]$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_Z \quad [17]$$

Siendo I_B la corriente base de diseño de cada línea calculado en el apartado 3.2.2, I_n la corriente asignada del dispositivo de protección, I_Z la corriente admisible de la línea calculada por el criterio



térmico mediante la norma *UNE HD 60364-5-52* e I_2 corriente convencional de disparo del dispositivo de protección.

B) PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

El primer paso es determinar las corrientes de cortocircuito en todos los puntos de la instalación (véase puntos A, B, C,..., Q del Plano 1 del *Documento nº5: Planos*).

- Punto A: en este punto se calcula la corriente de cortocircuito en bornes del transformador; Teniendo en cuenta los siguientes datos:

$$S_k'' = 350 \text{ MVA (potencia de cortocircuito de la red).}$$

DATOS DEL TRANSFORMADOR (véase *FIGURA 1*):

$S_{nT} = 800 \text{ kVA}$ (potencia nominal del transformador); $U_n = 400 \text{ V}$; $\varepsilon_{cc} = 6 \%$; Suponemos una caída de tensión porcentual resistiva, $\varepsilon_{Rcc} = 1\%$.

En este caso el dato de S_k'' no es relevante ya que, por criterio propio, se supone una red de Media Tensión de potencia infinita, para que así los valores de corrientes de cortocircuito que se calculen sean ligeramente superiores a las mismas si se hubiese considerado la red de M.T. Ello proporcionará, por lo tanto, un margen de seguridad de cara a proteger la instalación frente a sobreintensidades.

Según Roger y otros (2010), se calcula la impedancia de cortocircuito en bornes del secundario del transformador como:

$$Z_{cc} = \frac{\varepsilon_{cc}}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} \quad [18]$$

Y la corriente de cortocircuito como:

$$I_k = \frac{U_{nT}}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}} \quad [19]$$

- Resto de puntos: para calcular las corrientes de cortocircuito del resto de puntos se deberá calcular la resistencia y reactancia de cada una de las líneas individualmente, para luego calcular la impedancia (suma vectorial de ambas) desde el origen de la instalación (punto A) hasta el final de la línea en cuestión. Para ello, se aplica la ecuación [13], pero, en este caso, se ha decidido que la resistividad es la correspondiente a 20 °C ($0.01724 \frac{\Omega m}{mm^2}$), con el objetivo de estar en el caso más desfavorable posible, ya que así los valores resistivos serán menores, y por lo tanto las corrientes de cortocircuito serán mayores que a 90 °C (caso del criterio térmico). Para calcular las reactancias se calculan según la *TABLA 4*. Finalmente, para calcular la corriente de cortocircuito de un punto determinado, se aplica la ecuación [19], siendo Z_{cc} la impedancia equivalente al recorrido que va desde el origen de la instalación hasta el punto en cuestión.



Una vez calculadas las corrientes de cortocircuito de todos los puntos de la instalación, ya sólo queda comprobar si un dispositivo en concreto protege una línea determinada contra cortocircuitos. Dado que los dispositivos de protección que se van a usar en este TFG son I.A's o P.I.A's, las condiciones de protección, de acuerdo con la ITC-BT-22, son:

$$\text{Poder de corte del dispositivo} > I_{cc, max} \quad [20]$$

$$I_{cc, min} > I_a \quad [21]$$

$$(I^2t)_{dispositivo} < (I^2t)_{admisible} = (KS_{fase})^2 \quad [22]$$

Donde $I_{cc, max}$ e $I_{cc, min}$, se corresponden con las corrientes de cortocircuito al principio y al final de la línea, respectivamente. Cabe destacar, que, como norma general, el dispositivo se coloca al principio de la línea, ya que éste solo protegerá lo que haya aguas abajo.

Para el cálculo de $I_{cc, min}$ se tendrá en cuenta que el cortocircuito mínimo es el unipolar (Roger y otros, 2010); Además, por tratarse de una instalación TN con neutro distribuido, se calculará como:

$$\begin{aligned} I_{cc, min} &= 0.33 \cdot I_k, \text{ si } S_n = S_f / 2 \\ &= 0.5 \cdot I_k, \text{ si } S_n = S_f \end{aligned} \quad [23]$$

Donde I_k es el cortocircuito tripolar (el que se calcula con [19]) cualquiera de los puntos (de A a Q) de la instalación.

Para el cálculo de $(I^2t)_{admisible}$, se selecciona el valor K de la TABLA 9:

	PVC	XLPE
COBRE	115	143
ALUMINIO	76	94

TABLA 9. Valores de K (Fuente Libro Tecnología Eléctrica).

3.3.2. Cálculo de las corrientes de cortocircuito

Se calcula a modo de ejemplo las corrientes de cortocircuito del principio (punto A) y final (punto B) de la línea L1, ya que para el resto de líneas el procedimiento de cálculo resulta prácticamente idéntico.

Al final, en la TABLA 10, se resumen los resultados de las corrientes de cortocircuito de todos los puntos de la instalación.

- Punto A: corresponde con el lado secundario del transformador ó principio de la línea de acometida

$$L1. \quad R_A = R_{CC} = \frac{\varepsilon_{RCC}}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{1}{100} \cdot \frac{400^2}{800} = 2 \text{ m}\Omega; \quad \varepsilon_{XCC} = \sqrt{\varepsilon_{CC}^2 - \varepsilon_{RCC}^2} = \sqrt{6^2 - 1^2} = 5.916 \%;$$

$$X_A = X_{CC} = \frac{\varepsilon_{XCC}}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{5.916}{100} \cdot \frac{400^2}{800} = 11.832 \text{ m}\Omega; \quad Z_{CC} = \sqrt{2^2 + 11.832^2} = 12 \text{ m}\Omega;$$

$$I_{kA} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 12} = \mathbf{19.245 \text{ kA}}$$

- Punto B: se corresponde con el final de la línea L1; $R_B = 0.01724 \cdot \frac{22}{3 \cdot 185} \cdot 1000 = 0.683 \text{ m}\Omega$; $X_B = 0.20 R_B = 0.14 \text{ m}\Omega$; $\sum Z_{k,B} = \sqrt{(2 + 0.683)^2 + (11.832 + 0.14)^2} = 12.27 \text{ m}\Omega$;

$$I_{kB} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 12.27} = \mathbf{18.823 \text{ kA}}$$

Puntos	$R_i \text{ (m}\Omega\text{)}$	$X_i \text{ (m}\Omega\text{)}$	$\sum Z_{k,i} \text{ (m}\Omega\text{)}$	$I_{k,i} \text{ (kA)}$
A	2.000	11.832	12.000	19.245
B	0.683	0.140	12.270	18.823
C	1.830	0.460	13.220	17.470
D	1.860	0.372	14.300	16.150
E	2.300	0.345	14.480	15.950
F	1.220	0.305	13.960	16.540
G	27.584	4.140	34.290	6.735
H	26.600	0	31.636	7.300
I	4.880	0	36.200	6.380
J	540.200	0	543.015	0.425
K	678.100	0	680.890	0.340
L	489.600	0	492.430	0.469
M	732.700	0	735.480	0.314
N	732.700	0	735.480	0.314
Ñ	64.650	0	94.700	2.440
O	505.700	0	535.120	0.432
P	379.300	0	408.760	0.565
Q	310.320	0	339.810	0.680

TABLA 10. Corrientes de cortocircuito de la instalación.

3.3.3. Selectividad de los dispositivos de protección

La idea se trata de seleccionar un dispositivo de protección por línea, el cual se colocará al principio de ésta para que la protección sea efectiva. Los dispositivos se seleccionan del catálogo de *SIEMENS*, ya que la solución que proporciona *SIMARIS* en cuanto a la selectividad de dispositivos también proviene de dicho catálogo, de tal manera que así ambas soluciones provengan del mismo tipo de fabricante.



Para seleccionar un dispositivo del catálogo, dentro del paquete informático de *SIEMENS* (entre los que se encuentra *SIMARIS Design*), se ha hecho uso de la aplicación *SIMARIS Curves*, la cual proporciona información muy útil en cuanto a las características de los dispositivos que se deseen buscar en su catálogo (corriente asignada, poder de corte, número y tipos de disparadores, márgenes de disparo, curvas I/t e I^2t ...).

A modo de ejemplo, se enseña el procedimiento a seguir para seleccionar un I.A. (L1), y un P.I.A. (LA1), ya que en el resto de líneas, el procedimiento es prácticamente idéntico, ya se trate de un I.A. o un P.I.A. Así mismo, en la *TABLA 11* se muestra el listado de dispositivos que protegen las líneas frente a sobrecargas y cortocircuitos, con todos los parámetros que se han tenido que comprobar.

LÍNEA 1

a) Protección frente a sobrecargas

Antes de todo, hay que tener en cuenta que la línea tiene 3 conductores por fase en paralelo, por lo que la corriente base de diseño, $I_{B,L1}$, en este caso se tendrá que multiplicar por 3, así como su corriente admisible $I_{Z,L1}$.

$$I_{B,L1} = 3 \cdot 384.9 = 1154.7 \text{ A}; I_{Z,L1} = 3 \cdot 400.6 = 1201 \text{ A}$$

Al no encontrar en el catálogo ningún dispositivo que tenga una I_n entre ambos valores, se decide aumentar la sección de fase de 185 a 240 mm^2 , para aumentar $I'_{Z,L1} = 3 \cdot 0.7917 \cdot 599 = 1422.7 \text{ A}$

Por tratarse de la línea de acometida, al variar la sección de ésta, variarán ligeramente los valores de todas las corrientes de cortocircuito. Por ahorro de páginas, en esta parte se enseñará los valores ya cambiados, sabiendo que se tendría que volver a repetir todos los cálculos hechos en el apartado 3.3.2.

Del catálogo que proporciona *SIMARIS Curves*, se selecciona el I.A. **3VT57163AA300AA0 + 3VT95126AC00**, cuya intensidad nominal/asignada (I_n) es de 1250 A, por lo que cumple la condición [16].

La corriente convencional de disparo, I_2 , se puede regular entre 500 y 1250 A, por lo que cumple también la condición [17]. Por lo tanto, este dispositivo protege la línea frente a sobrecargas.

b) Protección frente a cortocircuitos

$$P_{c,IA} = 55 \text{ kA} > I_{cc,max} = I_{kA} = 19.245 \text{ kA}; \text{ Cumple la condición [20].}$$

$I_{cc,min} = 0.33 \cdot I_{kB} = 0.33 \cdot 18.926 = 6.25 \text{ kA} > I_a$. La intensidad del disparador electromagnético se puede ajustar entre 1.5 y 18 kA, por lo que se cumple también la condición [21].

Entrando en la curva I^2t del dispositivo con $I = I_{cc,max} = I_{kA} = 19.245 \text{ kA}$, se determina que:

$$(I^2t)_{dispositivo} \approx 9 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{s} < (I^2t)_{admisible} = (143 \cdot 240)^2 \approx 1.2 \cdot 10^9$$

Cumpliendo así la condición [22], y por lo tanto la protección frente a cortocircuitos. Se concluye que el dispositivo **3VT57163AA300AA0 + 3VT95126AC00** protege correctamente la línea L1 frente a sobreintensidades.

LÍNEA LA1

a) Protección frente a sobrecargas

$$I_{B,LA1} = 15.28 \text{ A} \quad I_{Z,A1} = 17.745 \text{ A}$$

Seleccionamos del catálogo el P.I.A. **5SY86167** cuya intensidad nominal/asignada (I_n) es de 16 A, por lo que cumple la condición [16].

Al tratarse de un P.I.A., la corriente convencional de disparo, I_2 , será igual a $1.45 \cdot I_n = 23.2 \text{ A}$ por lo que cumple también la condición [17]. Por lo tanto, este dispositivo protege la línea frente a sobrecargas.

b) Protección frente a cortocircuitos

$P_{c,IA} = 30 \text{ kA} > I_{cc,max} = I_{kB} = 18.926 \text{ kA}$; Cumple la condición [20].

$I_{cc,min} = 0.5 \cdot I_{kJ} = 0.5 \cdot 0.425 = 0.2125 \text{ kA} > I_a$. Al tener una característica de disparo tipo C, el margen de regulación para I_a será entre $5 \cdot 16 = 80 \text{ A}$ y $10 \cdot 16 = 160 \text{ A}$ Por lo tanto, se cumple también la condición [21].

Entrando en la curva I^2t del dispositivo con $I = I_{cc,max} = I_{kB} = 18.926 \text{ kA}$, se determina que:

$$(I^2t)_{dispositivo} \approx 4.2 \cdot 10^4 \text{ A}^2\text{s} < (I^2t)_{admisible} = (143 \cdot 1.5)^2 \approx 4.6 \cdot 10^4 \text{ A}^2\text{s}$$

Cumpliendo así la condición [22], y por lo tanto la protección frente a cortocircuitos. Se concluye que el dispositivo **5SY86167** protege correctamente la línea LA1 frente a sobreintensidades.

Líneas	Nº Referencia Dispositivo	P_c (kA)	I_n (A)	I_2 (A)	I_a (kA)	$I_{k,max}$ (kA)	$I_{k,min}$ (kA)	I_B (A)	I_Z (A)
L1	3VT57163AA300AA0+ 3VT95126AC00	55.0	1250.0	500-1250	1.5-18	19.2	6.3	1154.7	1422.7
L2	3VA12204EF320AA0	36.0	200.0	140-200	1.0-2.0	18.9	2.2	172.8	289.3
L3	3VL77101SB360AA0	55.0	1000.0	400-1000	1.25-11	18.9	5.8	903.5	1095.9
L4	3VA11103EF360AA0	25.0	100.0	70-100	0.5-1	18.9	2.4	95.0	153.8
L5	5SY45406	15.0	40.0	58.0	0.12-0.20	7.3	1.2	38.4	104.0
L6	5SY46637CC	10.0	63.0	91.4	0.315- 0.63	7.3	2.1	51.6	334.9
LM1	3VA23405HL320AA0	55.0	400.0	160-400	0.6-4	17.5	5.4	337.9	419.5
LM2	3VA23405HL320AA0	55.0	400.0	160-400	0.6-4	17.5	5.3	287.9	419.5
LH	3VA23405HL320AA0	55.0	400.0	160-400	0.6-4	17.5	5.5	360.8	419.5
LA1	5SY86167	30.0	16.0	23.2	0.08-0.16	18.9	0.2	15.3	17.7

LA2	5SY86167	30.0	16.0	23.2	0.08-0.16	18.9	0.2	15.3	17.7
LA3	5SY86167	30.0	16.0	23.2	0.08-0.16	18.9	0.2	15.3	24.6
LA4	5SY86167	30.0	16.0	23.2	0.08-0.16	18.9	0.2	13.8	39.5
LA5	5SY86167	30.0	16.0	23.2	0.08-0.16	18.9	0.2	13.8	39.5
LA6	5SY46067CC	10.0	6.0	8.7	0.03-0.06	7.3	0.2	4.4	20.3
LA7	5SY46037CC	10.0	3.0	4.4	0.015-0.03	7.3	0.3	2.2	20.3
LA8	5SY46037CC	10.0	3.0	4.4	0.015-0.03	7.3	0.3	2.2	20.3

TABLA 11. Selectividad de dispositivos de protección frente a sobrecargas y cortocircuitos.

NOTA: en algunos casos se ha tenido que aumentar la sección para aumentar la corriente admisible, $I_{z,i}$ y así poder cumplir la condición [16]. Es el caso de las líneas L1 (de 185 a 240 mm²), L3 (de 2 conductores por fase en paralelo de 240 mm² a 3 de 150 mm²), LM1 (de 185 a 240 mm²) y LM2 (de 150 a 240 mm²). En la TABLA 11 se actualizan dichos valores de $I_{z,i}$.

Así mismo, y por falta de espacio en la TABLA 11, se presenta otra tabla-resumen (TABLA 12) donde se sintetizan los valores I^2t de los dispositivos (entrando con $I_{k,max}$), así como I^2t_{adm} , para demostrar que se cumple la condición [22].

Líneas	Nº Referencia Dispositivo	I^2t_{disp}	I^2t_{adm}
L1	3VT57163AA300AA0+ 3VT95126AC00	$9 \cdot 10^6$	$1.2 \cdot 10^9$
L2	3VA12204EF320AA0	$1 \cdot 10^6$	$4.6 \cdot 10^8$
L3	3VL77101SB360AA0	$1.55 \cdot 10^7$	$4.6 \cdot 10^8$
L4	3VA11103EF360AA0	$3.5 \cdot 10^5$	$2.5 \cdot 10^7$
L5	5SY45406	$4.5 \cdot 10^4$	$5.2 \cdot 10^6$
L6	5SY46637CC	$6.5 \cdot 10^4$	$2.94 \cdot 10^8$
LM1	3VA23405HL320AA0	$1.3 \cdot 10^6$	$1.2 \cdot 10^9$
LM2	3VA23405HL320AA0	$1.3 \cdot 10^6$	$1.2 \cdot 10^9$
LH	3VA23405HL320AA0	$1.3 \cdot 10^6$	$1.2 \cdot 10^9$
LA1	5SY86167	$4.2 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$
LA2	5SY86167	$4.2 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$
LA3	5SY86167	$4.2 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$
LA4	5SY86167	$4.2 \cdot 10^4$	$3.27 \cdot 10^5$
LA5	5SY86167	$4.2 \cdot 10^4$	$3.27 \cdot 10^5$
LA6	5SY46067CC	$1.2 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$
LA7	5SY46037CC	$1.4 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$
LA8	5SY46037CC	$1.4 \cdot 10^4$	$4.6 \cdot 10^4$

TABLA 12. Valores I^2t de los dispositivos de protección.

3.4. PROTECCIÓN DE LAS PERSONAS FRENTE A CONTACTOS INDIRECTOS

3.4.1. Fundamento teórico

Según Roger y otros (2010), en las instalaciones con esquema TN, al producirse un fallo de aislamiento aparece una tensión de contacto en las masas U_c y circula una corriente de defecto I_d ; el bucle de defecto en este caso está formado por la fase averiada, el conductor neutro (que al ser TN-C hace la función de conductor de protección) y una fase averiada del secundario del transformador (véase FIGURA 3).

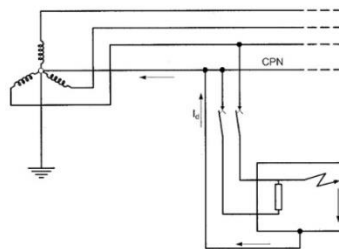


FIGURA 3. Bucle de defecto en una instalación con esquema TN-C (Fuente ITC-BT-24).

El defecto fase-masa equivale a un cortocircuito fase-neutro, y como la corriente de defecto está limitada únicamente por impedancias de cables (del orden de decenas de miliohmios), tiene valores muy elevados (Roger y otros, 2010). Por ello, a diferencia del esquema tipo TT, aquí no se instalarán interruptores diferenciales, ya que al ser la corriente de defecto del orden de kA , provocará la actuación de los dispositivos de protección que se han seleccionado en el apartado 3.3.3.

El criterio práctico de protección es, según el REBT (ITC-BT-24), que la instalación es segura si, en caso de producirse un defecto franco, el dispositivo de protección desconecta la parte averiada en un tiempo t_i menor que el tiempo admisible t_a . Esta condición se cumple siempre que verifique la siguiente relación:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0 \quad [24]$$

Donde Z_s es la impedancia del bucle de defecto; I_a es la corriente que asegura la actuación del dispositivo de protección (I.A o P.I.A.) en un tiempo igual al tiempo admisible t_a , y U_0 es el valor nominal de la tensión fase-tierra.

El tiempo admisible t_a se deduce de la TABLA 13; Sabiendo que la tensión fase-tierra es de 230 V, el tiempo admisible t_a será de 0.4 segundos.

U_0 (V)	t_a (s)
230	0.4
400	0.2
> 400	0.1

TABLA 13. Tiempos de interrupción admisibles en función de la tensión nominal de la instalación según la norma (Fuente ITC-BT-24).

De acuerdo con Roger y otros (2010), el cálculo de Z_s consiste en calcular en serie las impedancias de fase desde el neutro del transformador (Punto A) hasta el punto de defecto (que serán los puntos finales de aquellas líneas que alimenten cargas), y luego las impedancias de los conductores de protección, desde el punto de defecto hasta al punto A. Dicho de otra manera:

$$\vec{Z}_{s,i} = \vec{Z}_{trafo} + \vec{Z}_{fases} + \vec{Z}_{cp} \quad [25]$$

Donde $Z_{s,i}$ es la impedancia del bucle de defecto, considerándose que el punto de defecto es cualquiera de las cargas de la instalación; \vec{Z}_{fases} es la impedancia de fase de la línea que va desde el transformador hasta el defecto, y \vec{Z}_{cp} es la impedancia de los conductores de protección que van igualmente desde el transformador hasta dicho punto. Ésta se calculará de manera similar a las impedancias de fase (véase ecuación [26]), teniendo en cuenta que las inductancias, de acuerdo con la TABLA 4, son depreciables, ya que todas las secciones de los conductores de protección no superan los 120 mm^2 .

$$\vec{Z}_{cp} = R_{cp} = \rho_{20^\circ} \cdot \frac{L}{n \cdot S_{cp,i}} \quad [26]$$

La corriente I_a se determinará entrando en las curvas It de cada dispositivo de protección con el tiempo $t_a = 0.4 \text{ s}$.

3.4.2. Cálculo de la condición práctica de protección según normativa

Se calcularán solamente las impedancias Z_s respecto aquellos puntos donde se sitúen las cargas finales de cada una de las líneas (puntos D, E, F, G, I, J, K, L, M, N, Ñ, O, P y Q).

Como los cálculos son bastante repetitivos y similares a los hechos en el apartado 3.2.3., se ha obviado hacer esta parte, por lo que en la siguiente tabla (TABLA 14) se muestran ya directamente los valores obtenidos de las impedancias de defecto de los puntos mencionados antes, así como los valores de I_a que se obtienen de las curvas It de cada dispositivo. Así mismo, también se muestran los resultados de hacer el producto $Z_s \cdot I_a$.

Cabe mencionar que sólo se han comprobado aquellos dispositivos que se encuentran al principio de aquellas líneas en cuyo extremo se encuentran las cargas, rechazándose los que protegen las líneas L1, L3 y L4, ya que éstas sólo van a parar a Cuadros (CGBT, CS1, CS2 y CS3).

PUNTO	CARGA	Z_s (mΩ)	Dispositivos	I_a (A)	$I_a Z_s$ (V)
D	MQ1	18.13	3VA23405HL320AA0	605	10.97
E	MQ2	18.08	3VA23405HL320AA0	605	10.94
F	Horno	17.69	3VA23405HL320AA0	605	10.70
G	M bomba	76.43	3VA12204EF320AA0	1025	78.34
I	Climatizador	172.70	5SY46637CC	605	104.48
J	Final LA1	1084.11	5SY86167	170	184.30
K	Final LA2	817.46	5SY86167	170	138.97
L	Final LA3	982.96	5SY86167	170	167.10
M	Final LA4	1469.15	5SY86167	170	249.75
N	Final LA5	1469.15	5SY86167	170	249.75
Ñ	Última base enchufe	444.00	5SY45406	200	88.80
O	Final LA6	1110.57	5SY46067CC	60	66.63
P	Final LA7	857.72	5SY46037CC	30	25.73
Q	Final LA8	719.80	5SY46037CC	30	21.59

TABLA 14. Resultados del cálculo para la protección contra contactos indirectos.

Se observa que sólo el dispositivo 5SY86167 (que se instala uno en la línea LA4 y el otro en la LA5), no cumple la condición de protección [24], por lo que se opta a aumentar la sección de los conductores de fase y de protección de las líneas LA4 y LA5, de 4 a 6 mm², bajando así el valor de la impedancia Z_s :

$$Z_{s,LA4,LA5} = \sqrt{(2 \cdot 0.01724 \cdot \frac{170}{6} + 2 + 0.5268 + 1.0536)^2 + (11.832 + 11.94)^2} = 980.8 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{s,LA4,LA5} \cdot \frac{170}{1000} = 166.74 \text{ V} < 230 \text{ V}, \text{ que por lo tanto cumple la condición [24].}$$

3.5. SOLUCIÓN FINAL

A continuación, se muestra una tabla-resumen (TABLA 15), donde aparecen las dimensiones de cada una de las líneas, así como los dispositivos que se encuentran al principio de cada línea y que protege la instalación frente a sobrecargas y cortocircuitos y los usuarios frente a contactos indirectos.

LÍNEAS	DIMENSIONES DE LA LÍNEA	DISPOSITIVOS (Nº REFERENCIA)	TIPO DISPOSITIVO
L1	3 x (3 x 240 + 120)	3VT57163AA300AA0+3VT95126AC00	I.A
L2	3 x 150 + 95	3VA12204EF320AA0	I.A
L3	3 x (3 x 150 + 95)	3VL77101SB360AA0	I.A
L4	3 x 35 + 16	3VA11103EF360AA0	I.A



L5	1 x 16 + 16	5SY45406	P.I.A.
L6	3 x 120 + 70	5SY46637CC	P.I.A.
LM1	3 x 240 + 120	3VA23405HL320AA0	I.A
LM2	3 x 240 + 120	3VA23405HL320AA0	I.A
LH	3 x 240 + 120	3VA23405HL320AA0	I.A
LA1	3 x 1.5 + 1.5	5SY86167	P.I.A.
LA2	3 x 1.5 + 1.5	5SY86167	P.I.A.
LA3	3 x 2.5 + 2.5	5SY86167	P.I.A.
LA4	3 x 6 + 6	5SY86167	P.I.A.
LA5	3 x 6 + 6	5SY86167	P.I.A.
LA6	3 x 1.5 + 1.5	5SY46067CC	P.I.A.
LA7	3 x 1.5 + 1.5	5SY46037CC	P.I.A.
LA8	3 x 1.5 + 1.5	5SY46037CC	P.I.A.

TABLA 15. Solución manual de diseño de la instalación.

4. DISEÑO MEDIANTE USO DE SIMARIS DESIGN

4.1.CONDICIONES TÉCNICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

Estos son los requisitos mínimos de hardware y software para ejecutar el programa *SIMARIS Design*:

- Procesador: Intel Core i3/AMD Phenom II X4
- RAM Instalada: 4 GB
- Espacio Libre en el disco duro: 400 MB
- Resolución de pantalla: 1280x1024 (formato 4:3), 1366x768 (formato 16:9)
- Sistemas operativos compatibles: Windows 10
- Versiones compatibles de MS-Office: Office 365

4.2.INTRODUCCIÓN

SIMARIS Design es un software que pertenece al paquete informático *SIMARIS Planning Tools*, donde se encuentran otras aplicaciones como *SIMARIS Project* o *SIMARIS Curves*, todas ellas pertenecientes a la compañía *SIEMENS*. Presenta dos versiones: una totalmente gratuita y otra de pago donde se añaden otras funcionalidades más sofisticadas. Para el caso presente, se ha utilizado la versión gratuita que permite esencialmente realizar las mismas funciones.

El objetivo fundamental de este software es calcular y dimensionar las secciones de las líneas de la instalación, así como la selección del transformador y los dispositivos de protección de entre los que se encuentran en el catálogo de *SIEMENS*. Una de las ventajas fundamentales y a la vez uno de los principales motivos por los que este programa resulta tan útil, es que todos los cálculos y procedimientos de diseño (corrientes de cortocircuito, caídas de tensión, criterio térmico, selectividad de dispositivos de protección...) los lleva a cabo el programa sin que el/la usuario se encargue de ello,



proporcionando así resultados igualmente fiables en un tiempo considerablemente menor que si los cálculos se hiciesen de manera manual.

De esta manera, y de acuerdo con la información obtenida de *SIMARIS Design Tutorial (2015)* y *SIMARIS Design Technical Manual (2015)*, se detallan en los sucesivos apartados, paso por paso, el procedimiento a seguir para el cálculo y diseño de la instalación en concreto (véase apartado 2, donde figura toda la información relativa a dicha instalación).

4.3. LÍMITES DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA

Antes de empezar con el tutorial propiamente dicho, cabe resaltar algunas debilidades o defectos que presenta este software, y que deberán tenerse en cuenta para luego “camuflar” dichas desventajas.

La principal limitación que presenta este programa es que, aunque se instale en el computador la versión española, la normativa vigente que se aplica para todos los cálculos utilizados en el diseño es la perteneciente al IEC (*International Electrotechnical Commission*), y no al reglamento español (*REBT*).

Esto provoca como consecuencia ciertos cálculos que, aunque el *REBT* los aplica, el *IEC* no los contempla. Esto es:

- Para el cálculo de la corriente base de diseño en el caso de motores, el programa no multiplica ésta por 1.25, tal y como está estipulado según ITC-BT-47.
- Para el cálculo de la corriente base de diseño en el caso de lámparas de descarga, el programa no multiplica por 1.8 la potencia activa, tal y como está estipulado según ITC-BT-09 y ITC-BT-44.

Otra de las limitaciones que tiene, es que, en esta versión, no es posible distribuir las cargas uniformemente a lo largo de la línea (véase *FIGURA 2*), sino que se implementa el equivalente de una carga única cuyos valores se multiplican por la cantidad designada. Esta peculiaridad va a influenciar enormemente el caso de las líneas de alumbrado.

Por último, como cualquier otro software que hay en el mercado, no existe ninguno que sea cien por cien perfecto. Cuando se calcula el circuito, como se verá más adelante, el programa no es capaz de dimensionar totalmente la instalación cumpliendo todos los requisitos, de forma que el usuario deberá introducir de forma manual ciertos parámetros en ciertas partes de la instalación, tal y como se explicará posteriormente.

En definitiva, todos estas limitaciones expuestas anteriormente se pueden paliar mediante los siguientes procedimientos que se detallan en el siguiente apartado.

4.4. MANUAL DEL PROCEDIMIENTO

1. COMIENZO Y FAMILIARIZACIÓN CON EL SOFTWARE: hacemos doble *clik* al icono correspondiente al programa una vez esté instalado en el equipo. Se puede mostrar como acceso directo en el escritorio (*FIGURA 4*) o bien anclándolo a la barra de tareas. Por defecto, se instala la última versión del programa.



FIGURA 4

Una vez se hace doble *clic*, se espera unos segundos a que el programa se ejecute, hasta que sale una ventana emergente (FIGURA 5). Al ser, probablemente, el primer diseño que se hace, mantenemos la opción que aparece por defecto (“*Crear un proyecto nuevo*”) y hacemos *clic* en *Siguiente*.

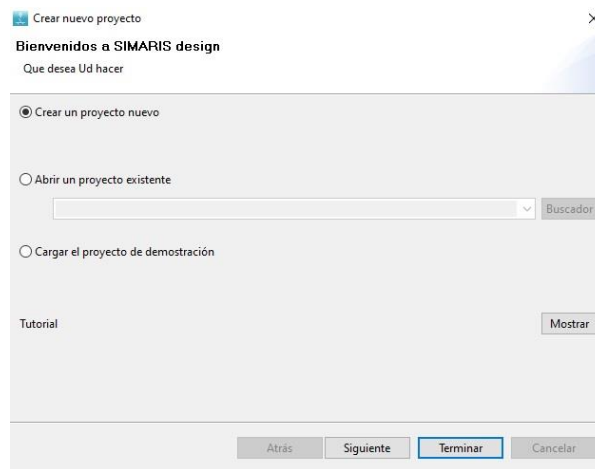


FIGURA 5

Lo siguiente que aparece es una especie de formulario (FIGURA 6), cuyos campos a rellenar son opcionales (como *Localidad*, *Cliente* y *Oficina Técnica*). Por defecto, aparece rellenado *Nombre del Proyecto*, *Descripción del Proyecto* y *Proyectista*. Una vez rellenado, le damos a *Siguiente*.

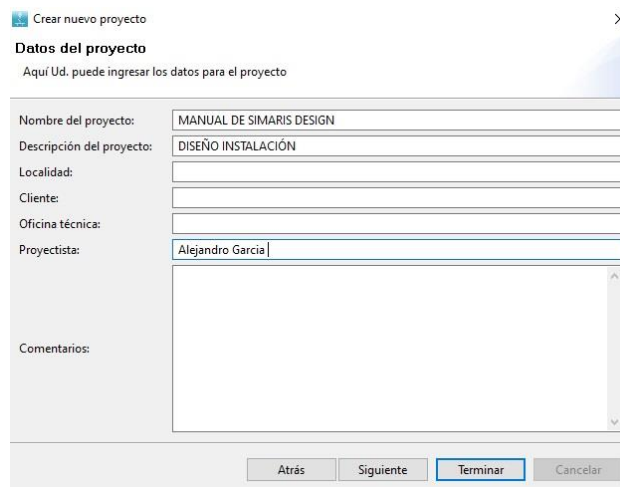


FIGURA 6

Ahora aparecen 2 ventanas conforme se vaya haciendo *clic* en *Siguiente*: la primera una hoja de ajustes técnicos para Media Tensión (*FIGURA 7*), y la siguiente para Baja Tensión (*FIGURA 8*). Dado que la instalación es totalmente de B.T, se omite la ventana de Media Tensión y se hace *clic* en *Siguiente* para fijarse en la de Baja Tensión.

Crear nuevo proyecto

Media tensión
Aquí Ud. puede ingresar ajustes técnicos para MT

Tensión nominal Un [kV]:	20
Máx. potencia de cortocircuito [MVA]:	350
Mín. potencia de cortocircuito [MVA]:	100
Máx. sección del conductor [mm ²]:	240
Mín. sección del conductor [mm ²]:	25

Atrás Siguiente Terminar Cancelar

FIGURA 7

Crear nuevo proyecto

Baja tensión
Aquí Ud. puede ingresar ajustes técnicos para BT

Tensión nominal [V]:	400
Frecuencia [Hz]:	50
Tensión de contacto permitida [V]:	50
Temperatura ambiente del dispositivo [°C]:	40
Número de polos:	3-polos preferentemente, 4-polos cuando se requiera
Detección de defecto a tierra:	Prevea la detección de defecto a tierra si es necesario
Punto de referencia para calculo de caída de tensión:	Terminales del secundario del transformador
Referencia a la tensión de uso [%]:	100
Máxima caída de tensión permitida en la red [%]:	3
Máx. sección del conductor [mm ²]:	240
Mín. sección del conductor [mm ²]:	1.5
Permitir reducción de sección de conductor PEN:	<input checked="" type="checkbox"/>

Atrás Siguiente Terminar Cancelar

FIGURA 8

En los ajustes técnicos para Baja Tensión, que es la última ventana para la configuración del proyecto, se ajustan los datos conforme se desee. En el caso de esta instalación, los datos de ajuste son los que se presentan en la *FIGURA 8*.

Cuando se hace *clic* en *Terminar*, la ventana emergente se cierra y se muestra una interfaz bastante intuitiva y fácil de gestionar.

Dicha interfaz de trabajo se divide en 3 grupos claramente diferenciados (FIGURA 9):

1. Definición del Proyecto
2. Diseño de Red
3. Documentación del proyecto

Haciendo *click* sobre cada uno de los 3 iconos, se puede elegir la pestaña sobre la que se quiere trabajar.

En *Definición del Proyecto* (FIGURA 9), básicamente aparece un resumen de toda la configuración que se ha hecho previamente, esto es, datos principales del proyecto, datos del cliente (si los hubiera), etc. Esto se puede configurar totalmente a gusto del usuario. Tal y como se ha explicado en el apartado 4.3, en *Ajustes Regionales*, pese a seleccionar el país como *España*, la norma utilizada es la *IEC*, sin poder cambiar al *REBT*. De la misma manera, en la parte derecha aparecen todos los ajustes técnicos, tanto en Media Tensión como en Baja Tensión que se han configurado previamente.

La única función relevante y que afecta a la solución del diseño de la red que tiene *Definición del Proyecto*, es la de poder reconfigurar cuando se desee los parámetros de Baja Tensión. No obstante, en un principio, lo que se haya configurado antes de hacer *click* en *Diseño de red* se mantendrá invariable en todo momento.

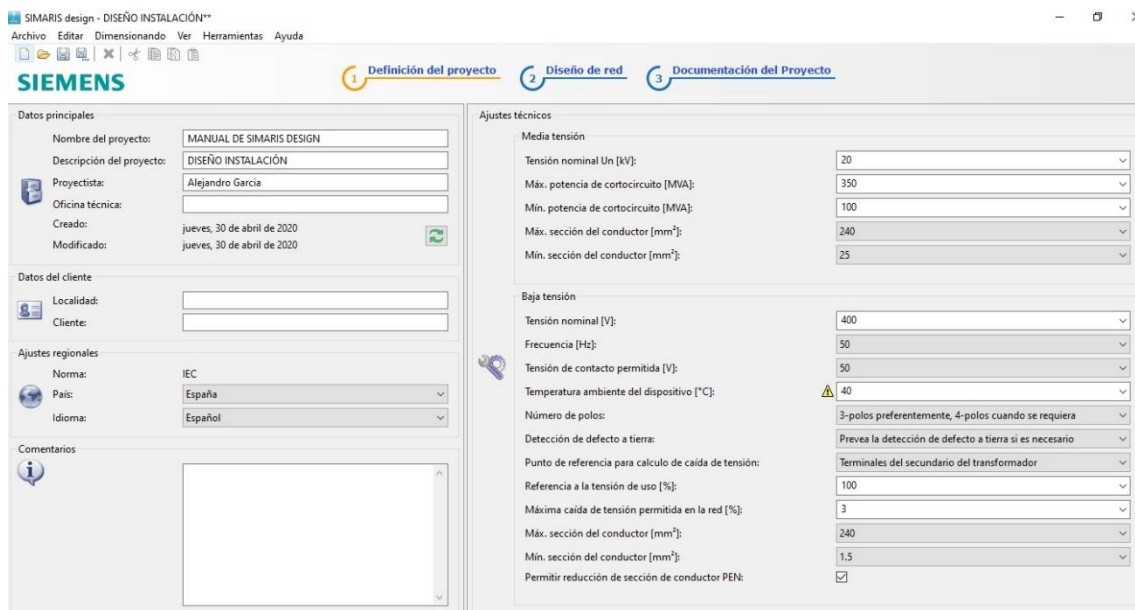


FIGURA 9

Haciendo *click* en *Diseño de red*, se muestra la siguiente interfaz:

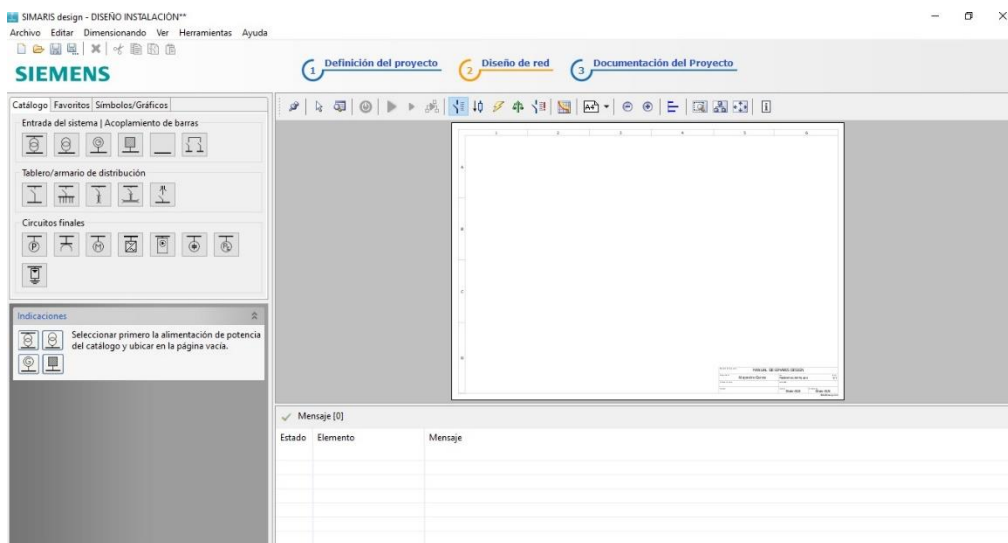


FIGURA 10

Este es el entorno más importante del programa, ya que prácticamente se dedica todo el tiempo que dura el diseño en él, por lo que resulta de vital importancia familiarizarse con él. En cuanto a la forma de ir guardando todo el trabajo, es bastante similar e intuitivo a cómo se hace en otras aplicaciones tan populares como *Microsoft Word*, por ejemplo; Se puede, o bien, hacer *clic* en *Archivo-Guardar*, o directamente hacer *clic* en el icono marcado de la FIGURA 11.



FIGURA 11

En la parte izquierda aparece un panel de iconos (FIGURA 12) que simboliza cada uno de los elementos típicos de cualquier red eléctrica. La simbología utilizada es la del esquema unifilar. Poniendo el ratón sobre cada uno de esos iconos (sin hacer *clic*) aparece la información relativa de éstos, por lo que en caso de que se desconozcan qué significa cada símbolo, se puede hacer uso del ratón. A modo de ejemplo, se ha mostrado en la FIGURA 12 lo que pasa cuando pones el ratón sobre el icono correspondiente al Transformador.

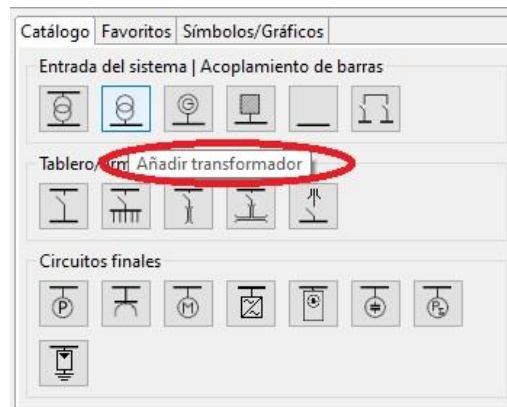


FIGURA 12

Justo debajo, en la pestaña *Indicaciones*, va apareciendo una especie de tutorial del programa donde informa al usuario de cada uno de los pasos a seguir, facilitando así el uso de este software, que ya de por sí resulta muy cómodo de gestionar.

La parte central la ocupa una hoja en blanco, lugar donde se irá mostrando el esquema unifilar de la instalación, y cuyo tamaño se puede ir modificando (desde A4 a A0) en función del tamaño que ocupe el esquema unifilar, haciendo clic sobre . Por otro lado, se puede hacer/quitar *zoom* moviendo el *scroll* (rueda) del ratón.

2. DISEÑO DE LA RED

Para empezar el diseño, como la mayoría de las instalaciones en Baja Tensión, éstas empiezan por una alimentación de potencia que proviene del transformador. Para ello, se hace un sólo *clic* sin mantenerlo pulsado sobre el icono “*Añadir Transformador*”, y desplazamos con el ratón el transformador hasta la hoja en blanco. Para depositarlo, se vuelve a hacer *clic* en el lugar donde se quiera dejar, apareciendo al instante una ventana emergente como la mostrada en la *FIGURA 13*, donde aparece un panel de configuración de las características de la línea de acometida, que irá del transformador al cuadro general de baja tensión (C.G.B.T.).

En ella, se especifica el tipo de esquema de distribución, la posición y el tipo de dispositivo de protección y la longitud de la línea. Se puede instalar un dispositivo al principio y/o al final de la línea o en ninguno de ellos.

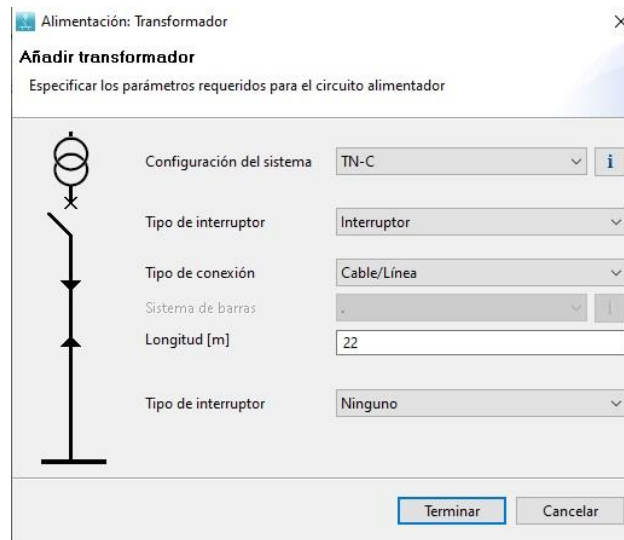


FIGURA 13

Una vez se hace *clic* en *Terminar*, se muestra en la hoja de trabajo una estructura similar a la de la FIGURA 14, donde se muestra el transformador, el dispositivo que protege la línea aguas abajo de ésta, y el recorrido de la línea hasta el cuadro.

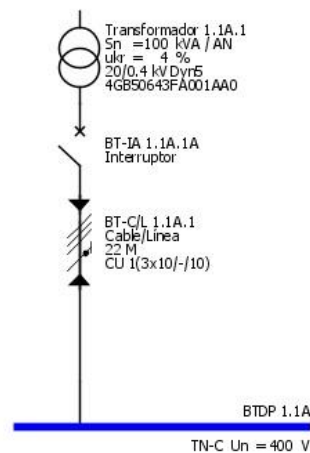


FIGURA 14

A modo opcional, pero a la vez muy recomendable, se puede hacer *clic* sobre la línea cuyo código de designación por defecto es *BT-C/L 1.1A.1*, y desde la esquina inferior izquierda cambiar a mano la designación y escribir *L1* (véase FIGURA 15).

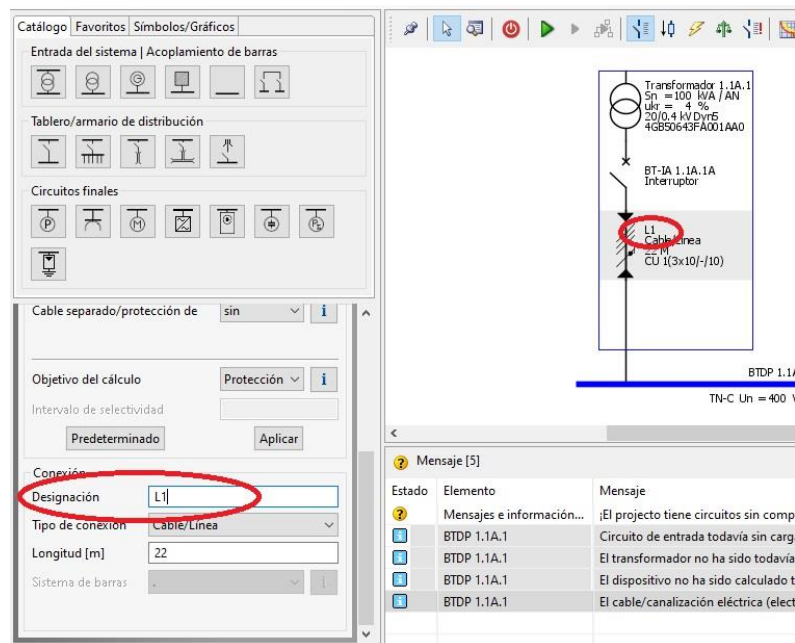


FIGURA 15

Esto resulta de mayor importancia en el caso de que la instalación tenga un gran número de líneas, facilitando así el proyectista la tarea de diseño. Observando como se hace gracias a la FIGURA 15, se trabaja exactamente de igual de modo para el resto de líneas que se vayan implementando. Utilizando el mismo método antes descrito, se le puede cambiar la designación a interruptores y cuadros.

Es muy común que conforme se vaya ampliando el esquema de la instalación vayan apareciendo mensajes de aviso en la parte inferior de la pantalla; Es algo normal y carece de relevancia salvo en la parte final de cálculo del circuito, que se comentará más adelante.

Lo siguiente a explicar es cómo añadir una línea que parta de un cuadro y se dirija a otro cuadro; Es el caso de las líneas L3 y L4. Para ello, de una manera similar a cómo se hacía para el caso del transformador, se hace *click* en el icono *Añadir cuadro secundario* del panel mostrado en la FIGURA 17 y se arrastra el ratón hasta la hoja en blanco; Una vez allí, se desliza el puntero del ratón a lo largo del C.G.B.T hasta encontrar cualquier punto marcado por un recuadro en amarillo (véase FIGURA 18). Una vez se encuentra dicho recuadro, se mantiene el *click* del ratón a la vez que se arrastra hacia abajo o hacia cualquier dirección que se desee.

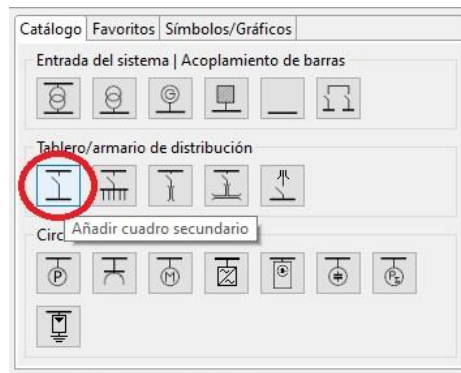


FIGURA 17

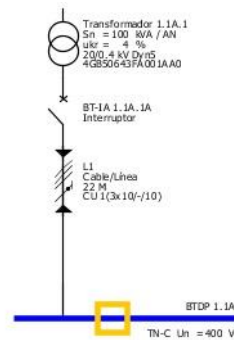


FIGURA 18

Al soltar el *clic* del ratón, aparecerá una ventana emergente parecida a la de la FIGURA 13, donde se deben especificar las características de la línea (véase FIGURA 19). A modo de ejemplo, se muestran las características que habría que poner para la línea L4.

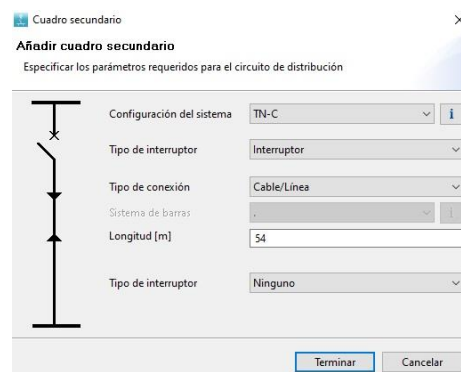






FIGURA 19

Para el caso de líneas que parten de cuadros y alimentan cargas, el modo sigue siendo bastante similar; Dependiendo de si se quiere que la carga la cual alimenta la línea sea un motor (), lámparas de descarga o cargas estacionarias en general (), o bases de enchufe (), haremos *click* sobre el icono correspondiente, y ,de nuevo, haremos *click* sobre el recuadro amarillo que aparezca en el cuadro del cual se quiera que parta la línea. A modo de ejemplo, se enseñan las ventanas emergentes que aparecen para el caso de motor, lámpara, y bases de enchufe, que son básicamente las cargas que alimentan la instalación presente.

- **MOTORES:** se toma como ejemplo la línea L2 que parte del C.G.B.T. y alimenta al motor M bomba. Se hace *click* sobre el icono  y se vuelve a hacer *click* sobre cualquier punto marcado por el característico recuadro amarillo del cuadro C.G.B.T. Manteniendo el clic, se arrastra hacia abajo y se suelta el *click* del ratón. Aparece así una ventana emergente (FIGURA 20) donde solamente hay que especificar la longitud de la línea. Hacemos *click* en *Siguiente* y otra vez *Click* en *Terminar*. Se cambia la designación de la Línea y el Motor si se desea tal y como se ha explicado antes; Se hace *doble click* sobre el icono del motor que hay al final de la línea (FIGURA 21) para que se abra la ventana emergente (FIGURA 22) donde se especifican todas las características del motor. Algunas de ellas no son relevantes para el caso que nos ocupa. Por ello, habrá que introducir solamente la potencia mecánica, el $\cos\phi$, y la eficiencia η . Habrá que tener muy en cuenta que, para que la corriente base de diseño sea la correcta conforme lo prescrito en el REBT, se pondrá el valor ya multiplicado por 1.25. Por ejemplo, este motor en concreto tiene una potencia mecánica de 75 kW , por lo que el valor que se pondrá será de 93.75 kW . La corriente nominal, que coincide con la corriente base de diseño, se calcula automáticamente.

Parámetro	Valor
Tipo de motor	Combinación de arranque para motor
Configuración del sistema	TN-C
Tipo de interruptor	Combinación de arranque para motor
Tipo de conexión	Cable/Línea
Sistema de barras	.
Longitud [m]	240
Tipo de interruptor	Ninguno
Potencia mecánica [kW]	15
Cantidad	1

FIGURA 20

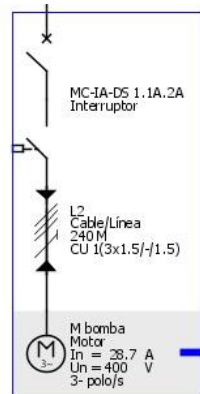



FIGURA 21

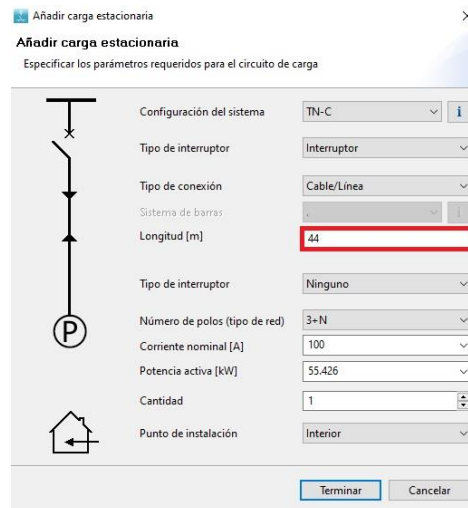
Motor			
Designación	M bomba		
Tipo de motor	Combinación de arranque para motor		
Tipo de montaje	Sin fusible		
modo de arranque	Arranque directo		
Tipo de coordinación	Tipo 2		<i>i</i>
Relé de sobrecarga	Ninguno		
Potencia mecánica [kW]	93.75	Tensión nominal [V]	400
Corriente nominal [A]	172.818		
cos(φ)	0.87	Eficiencia η	0.9
Iarr/In	5	Relación R/X	0.42
Clase de arranque	Clase 10		<i>i</i>
Factor de utilización	1		
Factor de recuperación de energía del sistema	1		
Predeterminado		OK	Cancelar

FIGURA 22

- **LÁMPARAS DE DESCARGA:** como bien se sabe, la instalación cuenta con varios circuitos de alumbrado, donde se alimentan a lámparas de descarga uniformemente separadas a lo largo de la línea. Tal y como se ha explicado en el apartado 4.3, esta realidad no se puede plasmar con total veracidad en *SIMARIS*, pero lo que sí se puede hacer es implementar una única carga equivalente cuya corriente nominal coincida con la corriente base de diseño proporcionado por la formula:

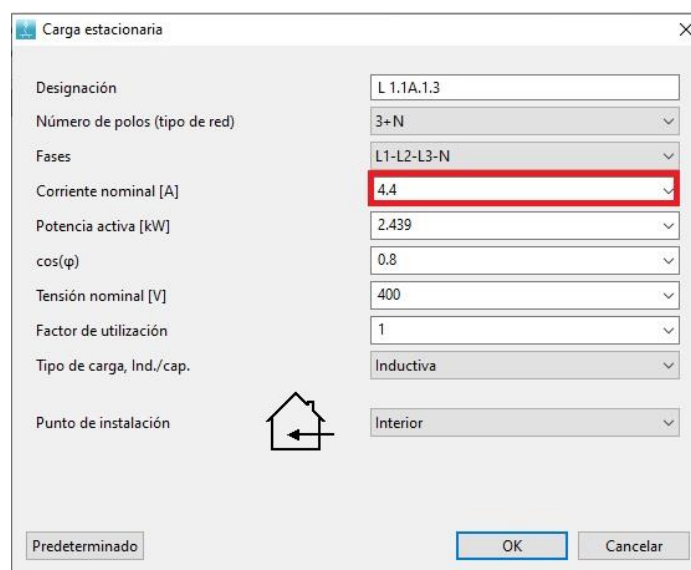
$$I = \frac{1.8 \cdot n \cdot P_u}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

Se toma a modo de ejemplo la línea LA6, que parte del cuadro secundario CS3 y alimenta a 40 lámparas fluorescentes. Se hace *clic* en , y se vuelve a hacer *clic* sobre cualquier punto marcado por el característico recuadro amarillo del cuadro CS3. Manteniendo el clic, se arrastra hacia abajo y se suelta el clic del ratón. Aparece una ventana emergente (FIGURA 23) donde solamente hay que especificar la longitud de la línea. Se hace *clic* en *Terminar*, y luego *doble clic* sobre el icono de la carga. Aparece así otra ventana emergente (FIGURA 24) donde se especifica el $\cos\varphi$ y, el resultado proporcionado por la fórmula anterior. En este caso, la lámpara fluorescente tiene una potencia unitaria de 36 W, tensión de línea 400 V, $\cos\varphi = 0.85$, y el número de lámparas es de 40, por lo que el resultado (en A) a poner en la ventana será de 4.4 A.



Parámetro	Valor
Configuración del sistema	TN-C
Tipo de interruptor	Interruptor
Tipo de conexión	Cable/Línea
Sistema de barras	
Longitud [m]	44
Tipo de interruptor	Ninguno
Número de polos (tipo de red)	3+N
Corriente nominal [A]	100
Potencia activa [kW]	55.426
Cantidad	1
Punto de instalación	Interior

FIGURA 23



Parámetro	Valor
Designación	L 1.1A.1.3
Número de polos (tipo de red)	3+N
Fases	L1-L2-L3-N
Corriente nominal [A]	4.4
Potencia activa [kW]	2.439
cos(φ)	0.8
Tensión nominal [V]	400
Factor de utilización	1
Tipo de carga, Ind./cap.	Inductiva
Punto de instalación	Interior

FIGURA 24

- **BASES DE ENCHUFE:** la instalación cuenta con una línea (L5) que alimenta 8 bases de enchufe monofásicas de 16 A con coeficiente de simultaneidad de 0.3. Para representar este tipo de consumo en *SIMARIS*, lo que se hace es representar una carga “artificial” cuya potencia activa, suponiendo un $\cos\phi = 1$, es la equivalente a:

$$P = K_{sim} \cdot U \cdot I \cdot n = 0.3 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 230 = 8832 \text{ W}$$


Por lo tanto, procediendo de manera similar a los anteriores casos, con la diferencia en que el tipo de carga en este caso es la correspondiente a , se llega a la siguiente ventana emergente (*FIGURA 25*), donde se especifica la longitud y la cantidad.

FIGURA 25

Se hace *clic* en *Terminar*, y después del *doble clic* en el icono correspondiente al final de la línea, en la ventana emergente (*FIGURA 26*) se pone el resultado de la ecuación anterior en *kW*, así como el $\cos\phi$ y la tensión en monofásica.

FIGURA 26

Con todo lo explicado sobre los distintos tipos de carga y cómo implementarlos con *SIMARIS*, se completa de manera similar el esquema unifilar de la instalación a partir de la información proporcionada por el apartado 2.

Llegados a este punto, se ha completado dicho esquema unifilar, además de que se han especificado la posición de los interruptores, la longitud de las líneas, así como el número y características de todas las cargas de la instalación.

Lo último que queda como paso previo al cálculo de la red es establecer las condiciones de la instalación, esto es, establecer el tipo de material aislante (*XLPE*), el material conductor (*Cu*), y el método de referencia de la instalación. Por desgracia, para esta versión gratuita, no existe un camino fácil de establecer dichas condiciones al instante, por lo que se deberá ir haciendo *doble clic* línea tras línea (*FIGURA 27*), y especificar las condiciones de acuerdo a la información relativa de cada línea. Como ejemplo se ha enseñado las especificaciones que habría que poner para el caso de la línea L2 (*FIGURA 28*).

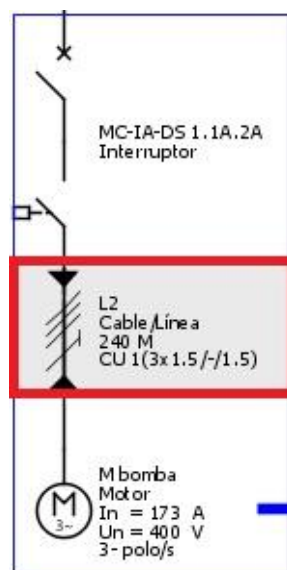



FIGURA 27

Al hacer *doble clic* se abre la siguiente ventana emergente (*FIGURA 28*), donde aparece como ejemplo la línea L2. Los valores que están enmarcados son los que hay que asignar.

Designación	L2
Resistencia funcional	Ninguno
Tipo de cable	Cable unifilar
Material del conductor	CU
Material aislante	XLPE
Configuración de cables	ejemplo. N2XY, N2X2Y
Tipo de instalación	D2
Factor de reducción f tot	1
Caída de tensión permitida / sección [%]	3
Temperaturas [°C]	ΔU: 55; Ik mín: 80
Cantidad	1
Longitud [m]	240
Área de fuego mayor [m²]	0
Sección del conductor de fase [mm²]	4
Sección del conductor PE [mm²]	4

FIGURA 28

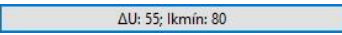
Al pulsar sobre el icono  marcado en rojo (FIGURA 28), se abre otra ventana emergente (FIGURA 29) donde establecer las condiciones de diseño que afectan al factor de reducción de la corriente máxima admisible para el criterio térmico de dimensionado de conductores de fase.

Valores	
Tipo de instalación	D2
Material aislante	XLPE
Material del conductor	CU
Tipo de cable	Cable unifilar
Factor ftot	1.097
Para ser definido por el usuario	
Temperatura tierra [°C]	30
Resistencia térmica de la tierra [K m/W]	1
Número de sistemas	1
Arreglo	Cables unipolares contiguos
Tipo de instalación	Libre a tierra
Distancia entre sistemas	0 m

Imagen: Diagrama de cables unipolares contiguos con distancia 's' entre sistemas.

Descripción: Número de sistemas: 1
Arreglo: Cables unipolares contiguos
Tipo de instalación: Libre a tierra
Distancia entre sistemas: 0 m

FIGURA 29

Se hace *clik* sobre *OK* de la FIGURA 29 y se hace *clik* sobre el icono  para abrir otra ventana emergente (FIGURA 30) donde variar la temperatura para el dimensionado de conductores por criterio de caída de tensión.

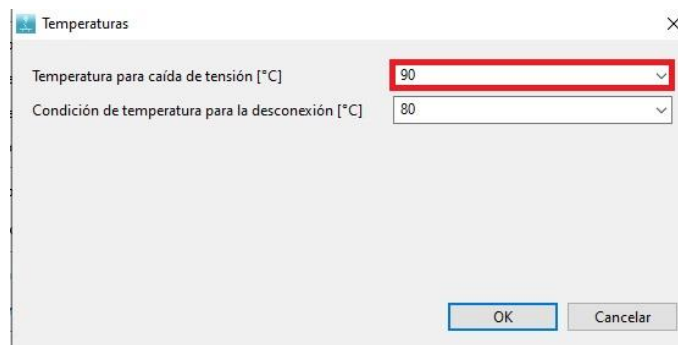


FIGURA 30

Se hace *clik* en *OK* de la FIGURA 30 y se vuelve a hacer *clik* en *OK* de la FIGURA 28, finalizando así las especificaciones de la línea.

Este procedimiento se repite en todas y cada una de las líneas de la instalación de forma separada, teniendo en cuenta que cada línea tiene sus propias especificaciones de diseño.

3. CÁLCULO DE LA RED

Una vez terminado el esquema unifilar, así como establecidas las condiciones de instalación en todas las líneas, se procede al paso final, que es el cálculo de la red. Antes de ello, se debe controlar que todos y cada uno de los elementos de la instalación tengan activo el *tick* de *Dimensionamiento automático* (véase FIGURA 28). No obstante, en un principio esta opción ya viene por defecto a menos que la desactive el usuario de forma manual, por lo que no debería suponer preocupación alguna.


En primer lugar, se hace *clik* en el icono  “*Calcular todo el circuito*”, situado en la barra de tareas justo por encima de la hoja en blanco (véase FIGURA 31).



FIGURA 31

Si se calcula por primera vez todo el circuito, aparecerá una ventana emergente (FIGURA 32) justo después de hacer *clik* sobre dicho icono.

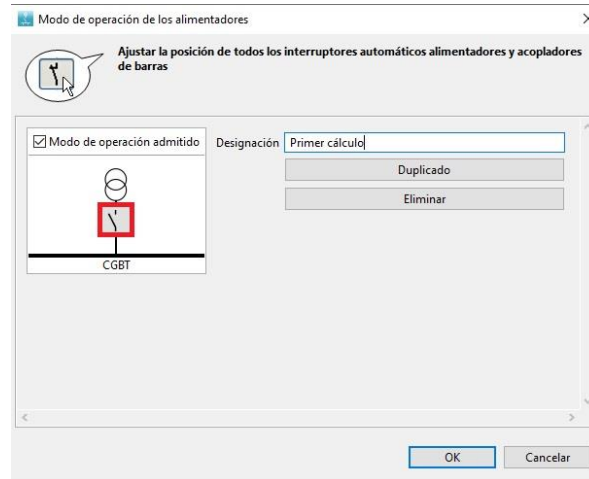


FIGURA 32

Seguidamente, se hace *clic* sobre el símbolo del interruptor marcado por el recuadro rojo (FIGURA 32). La designación se puede, o no, escribir, eso va según la necesidad del usuario. Al darle *clic*, el interruptor de la alimentación pasará a estar en posición cerrada (FIGURA 33), y se pulsa a *OK* de dicha ventana.

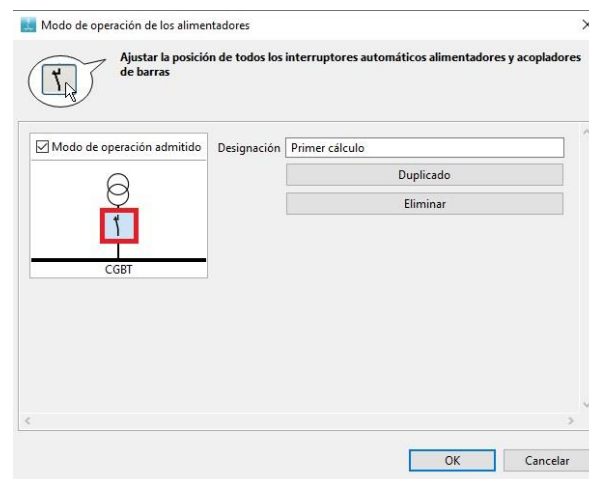


FIGURA 33

Al pulsar a *OK* de dicha ventana, ésta se cierra y comienza el proceso de cálculo que dura sólo unos segundos. Se espera a que termine y el programa muestra una propuesta de diseño. En ella, el programa automáticamente ha calculado todas las secciones de los conductores (fase, neutro y protección), cumpliendo el criterio térmico prescrito por la norma. Además, el programa selecciona de una base de datos los dispositivos de protección que protegen las líneas frente a sobrecarga y cortocircuitos y el transformador que suministra la potencia a la instalación. Toda esta Aparamenta

eléctrica se selecciona del catálogo comercial de *SIEMENS*, por lo que la solución que se recoge es aplicable perfectamente a la realidad.

No obstante, es muy frecuente que el programa no dimensione bien de forma correcta las secciones de los conductores por criterio de caída de tensión, de forma que se debe manualmente acceder a la/s línea/s que no cumple/n y aumentar la sección a un valor superior.

Una forma muy útil de conseguir esto, es fijándose en la parte inferior de *Mensajes* (FIGURA 34), donde se especifican aquellas incidencias que después del cálculo deben ser atendidas.

Estado	Elemento	Mensaje
⚠	L 1.1A.1.2	Max. Caída de tensión de la red no conseguida. $\Sigma\Delta u(\text{actual}) = 3.698\% > \Sigma\Delta u(\text{objetivo}) = 3\%$
⚠	M bomba	Max. Caída de tensión de la red no conseguida. $\Sigma\Delta u(\text{actual}) = 3.057\% > \Sigma\Delta u(\text{objetivo}) = 3\%$
⚠	M bomba	Max. Caída de tensión para la red no conseguida. $\Sigma\Delta u(\text{dyn.}) = 17.687\% > \Sigma\Delta u(\text{target}) = 3\%$


FIGURA 34


Haciendo *clic* sobre cualquier mensaje, el programa automáticamente posiciona en la hoja en blanco el lugar donde ha ocurrido dicha incidencia. Para el siguiente ejemplo, haciendo *doble clic* sobre la línea como cuando se establecían las condiciones de la instalación (véase FIGURA 28), se aumenta de forma manual la sección a la superior, que en este caso no queda otra que aumentar al límite superior, que es 240 mm^2 (véase FIGURA 35).

Hay que andar con cuidado en esta parte de aumentar la sección, ya que el programa no ajusta la sección del conductor de protección automáticamente, sino que lo tiene que hacer el usuario de forma manual, de acuerdo con la norma ITC-BT-18 en lo que respecta a la relación entre las secciones de los conductores de fase y las de los conductores de protección (véase TABLA 5).

Cables/hilos	
<input type="checkbox"/> Dimensionamiento automático	
Designación	L2
Resistencia funcional	Ninguno
Tipo de cable	Cable unifilar
Material del conductor	CU
Material aislante	XLPE
Configuración de cables	ejemplo. N2XY, N2X2Y
Tipo de instalación	D2
Factor de reducción f tot	1.097
Caída de tensión permitida / sección [%]	3
Temperaturas [°C]	ΔU: 90; Ikmin: 80
Cantidad	1
Longitud [m]	240
Área de fuego mayor [m]	0
Sección del conductor de fase [mm ²]	240
Sección del conductor PE [mm ²]	120
Predeterminado	
OK Cancelar	

FIGURA 35

Al variar la sección, automáticamente se desactiva la opción de *Dimensionamiento automático*, apareciendo un icono parecido al de un candado. Esto simboliza que la dimensión la cual el usuario ha establecido manualmente, se mantendrá invariable en el caso que se vuelva a calcular todo el circuito (). En todo momento se puede volver a activar la opción de *Dimensionamiento automático* de cualquier línea, transformador o dispositivo de protección, pero a sabiendas de que el programa descartará los valores que hayamos introducido nosotros manualmente y asignando lo que ésta calcule de forma automática.

De esta manera, el procedimiento de diseño consiste, como en cualquier proceso complejo de dimensionado, en ir haciendo iteraciones (haciendo *clic* en ) y cambiando las secciones a un valor inmediatamente superior siempre que en el apartado de *Mensajes* el programa informe de incidencias (lo más típico será que una determinada línea no cumpla el criterio de caída de tensión).

¿En qué momento hay que dejar de iterar y considerar la solución de diseño como válida? Esto se consigue en el momento en el que en el apartado de *Mensajes* se informe solamente de lo siguiente (FIGURA 36):

✓ Mensaje [3]		
Estado	Elemento	Mensaje
⚠	M bomba	Max. Caída de tensión para la red no conseguida. $\Sigma\Delta u(\text{dyn.}) = 14.657\% > \Sigma\Delta u(\text{target}) = 3\%$
⚠	MQ1	Max. Caída de tensión para la red no conseguida. $\Sigma\Delta u(\text{dyn.}) = 13.094\% > \Sigma\Delta u(\text{target}) = 3\%$
⚠	MQ2	Max. Caída de tensión para la red no conseguida. $\Sigma\Delta u(\text{dyn.}) = 11.607\% > \Sigma\Delta u(\text{target}) = 3\%$

FIGURA 36

$\Sigma\Delta U_{dyn}$ es la caída de tensión porcentual en bornes del motor en el momento de su arranque. Dado que entra fuera del alcance de ejercicio considerar arranques de motores de inducción, se omitirá este tipo de incidencia.

Si aparece un mensaje respecto a una incidencia de que hay un dispositivo de protección que no protege correctamente la línea, ya sea frente a sobrecargas o frente a cortocircuitos, al igual que se itera aumentando la sección de los conductores, se puede cambiar también de forma manual los dispositivos por otros que sean más adecuados para proteger su línea correspondiente.

Para hacer eso, se hace *doble clic* sobre el interruptor que se desea sustituir (FIGURA 37), y en la ventana emergente que aparece (FIGURA 38), hacer *clic* en *Catálogo*.

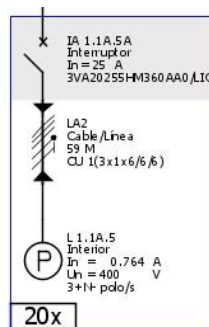


FIGURA 37

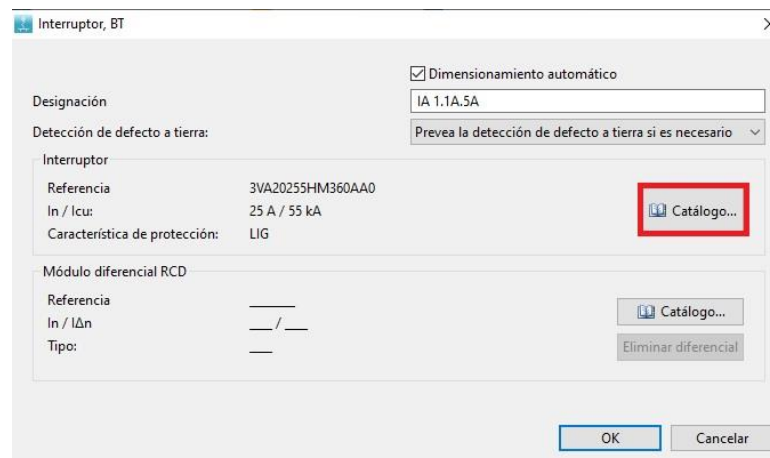


FIGURA 38

En la ventana emergente que representa el catálogo (*FIGURA 39*), aparece un sinfín de dispositivos de varias configuraciones, en los que el usuario tiene el poder de configurar los parámetros (tensión, poder de corte...) conforme a sus necesidades.

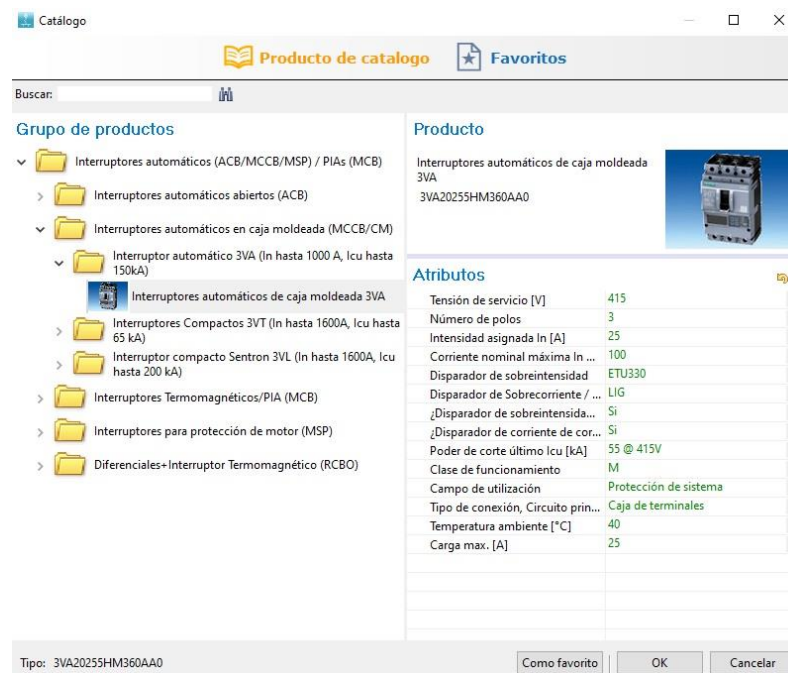





FIGURA 39

Una vez se haya configurado el dispositivo que se desea, se hace *click* en *OK* y de nuevo *OK* en la ventana de la *FIGURA 38*. Al igual que sucedía con las líneas, aparecerá junto al símbolo del dispositivo dentro del esquema unifilar, el característico icono del candado, indicando que la selección del dispositivo se ha hecho de forma manual, y por lo tanto si se vuelve a calcular el circuito (), el programa lo detecta y no selecciona otro dispositivo, manteniendo aquel que el usuario ya ha escogido previamente.

Esta manera de operar también se puede aplicar en el caso del transformador, seleccionando uno de entre el catálogo que incorpora *SIMARIS*, y bloqueándose su sustitución al realizar una siguiente iteración de dimensionamiento de la instalación ().

SIMARIS también ofrece la opción de comprobar gráficamente que un dispositivo determinado protege correctamente la línea que corre aguas abajo de éste. Para ello, se hace *click* sobre cualquiera de los interruptores que se sitúan en el esquema unifilar, y seguidamente se hace *click* otra vez en el icono  (véase *FIGURA 31*). Desafortunadamente, esta versión gratuita no recoge la opción de poder ver cómo la curva I-t del conductor que protege queda justo arriba a la derecha de la curva I-t del dispositivo de protección. Sólo se puede ver la curva I-t del dispositivo en cuestión y la curva envolvente de los dispositivos aguas arriba (véase *FIGURA 40* como ejemplo), por lo que realmente no resulta muy práctico y útil utilizar esta opción.

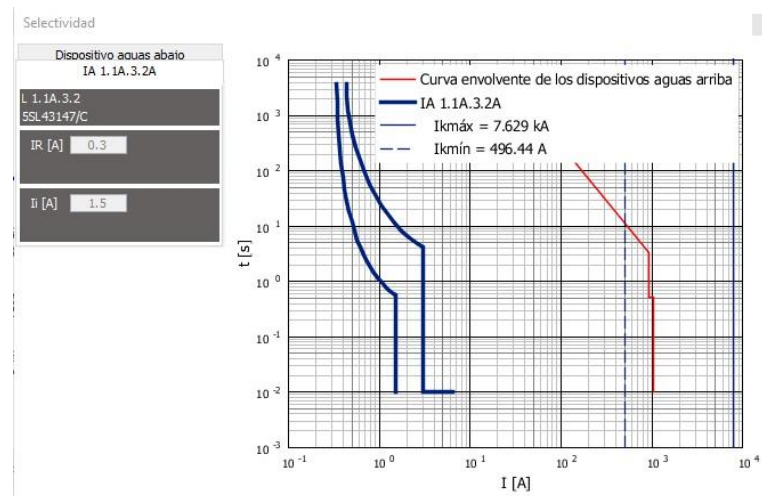





FIGURA 40

En conclusión, en el momento en el que en el apartado de *Mensajes* lo único que aparezca sea lo expuesto en la FIGURA 36, se sabrá que ya habrá terminado el diseño, siendo la solución totalmente válida.

Si se hace el matiz de hallar una solución que resulte económicamente mejor que otra, eso ya queda fuera del alcance del objetivo de este manual, que no es sino explicar los pasos a seguir por el usuario hasta obtener un diseño válido de la instalación.

4.5.DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

Ya hemos obtenido una posible solución de diseño, pero, ¿cómo documentar esta información?

Para ello, se hace *clic* en la tercera de las interfaces que presenta el programa, en *Documentación del Proyecto*, y se podrá ver una estructura parecida a la de la FIGURA 41. En la parte izquierda se puede escoger conforme se desee la lista de documentos que se quiere obtener; Por otro lado, en la hoja donde se muestra el esquema unifilar de la instalación, se puede variar el tamaño y la orientación de la hoja con el icono , así como centrar y mover todo el esquema, o partes de él, como si se moviese una carpeta en un escritorio local de Windows. En este caso, se ha decidido usar un tamaño de hoja A2 con orientación horizontal (véase FIGURA 41). También se puede aumentar/disminuir la escala del diagrama con los iconos  .

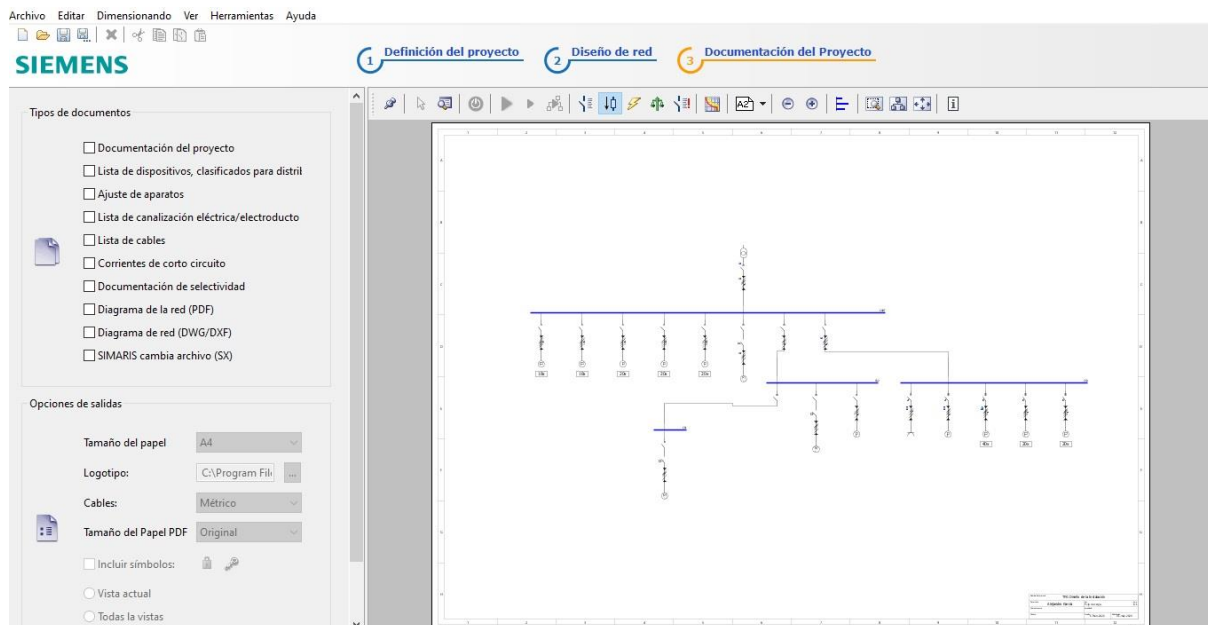


FIGURA 41

Se hace *click* en aquellos documentos que se quieran obtener y que figuran en la parte izquierda de la pantalla, habilitándose así la parte que se encuentra en la esquina inferior izquierda, donde el usuario puede configurar las características que tendrá el PDF que se creará.

Una vez hecho, hacemos *click* en *Generar Documentación* en la esquina inferior izquierda. Aparecerá así una ventana emergente (FIGURA 42) donde se apela a la responsabilidad del proyectista a la hora de llevar la solución obtenida para un proyecto real, teniendo la obligación de cumplir con la normativa propia de su país.

Así mismo, el programa detecta que aún quedan incidencias (*Mensajes*) que no han sido debidamente resueltas, y recuerda al usuario que el proyecto aún no está correctamente dimensionado.

No obstante, ya se ha comentado antes que a estos mensajes que quedan pendientes no se les hará caso, ya que para este ejemplo en cuestión no se va a tener en cuenta los efectos producidos por el arranque de los motores.

Se hace *click* a OK y se generarán así todos los documentos que el usuario ha solicitado, finalizando así el diseño completo mediante esta herramienta informática.

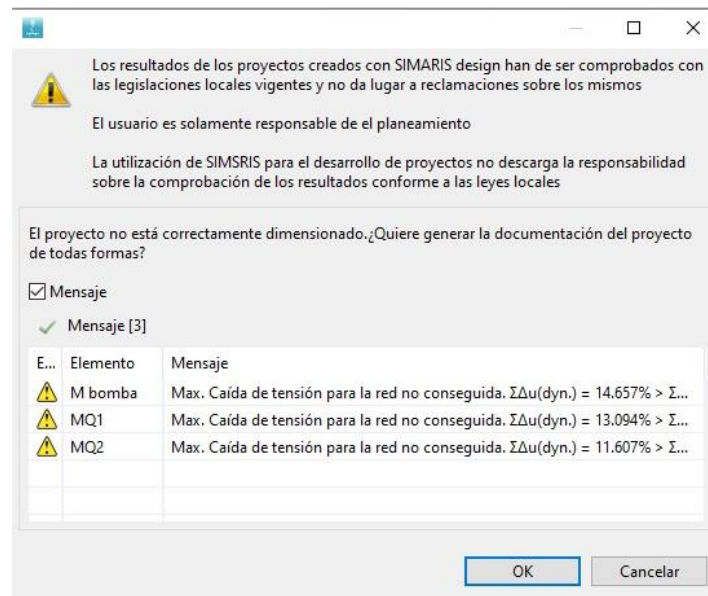


FIGURA 42

4.6.SOLUCIÓN PROPORCIONADA POR SIMARIS

A continuación, se muestra una tabla (TABLA 16), donde se ha sintetizado toda la documentación que genera el programa al obtener la solución. En ella, aparece las secciones de cada línea, así como sus dispositivos de protección que, al igual que la parte manual, se tratan de I.A. o P.I.A. Además, en el Plano 2 del Documento nº4: Planos se encuentra el esquema unifilar de la instalación eléctrica, donde a través de AutoCAD se ha importado el PDF de dicho esquema que se realiza en SIMARIS.

LÍNEAS	DIMENSIONES DE LA LÍNEA	DISPOSITIVOS (Nº REFERENCIA)	TIPO DISPOSITIVO
L1	3 x (3 x 240 + 120)	3VT57163AA300AA0+3VT95166AC00	I.A
L2	3 x 240 + 120	3VA22205MN320AA0	I.A
L3	2 x (3 x 240 +120)	3WL11102FB311AA2	I.A
L4	3 x 50 + 25	3VA20105JP360AA0	I.A
L5	1 x 50 + 25	5SL61507	P.I.A.
L6	3 x 35 + 16	5SL43637	P.I.A.
LM1	3 x 185 + 95	3VA24405MN320AA0	I.A
LM2	3 x 150 + 120	3VA24405MN320AA0	I.A
LH	3 x 240 + 120	3VA23405HL320AA0	I.A
LA1	3 x 6 + 6	3VA11964EE360AA0	I.A
LA2	3 x 6 + 6	3VA20255HM360AA0	I.A
LA3	3 x 10 + 10	3VA11964EE360AA0	I.A



LA4	3 x 16 + 16	3VA11964EE360AA0	I.A
LA5	3 x 16 + 16	3VA11964EE360AA0	I.A
LA6	3 x 6 + 6	5SL43067	P.I.A.
LA7	3 x 4 + 4	5SL43037	P.I.A.
LA8	3 x 4 + 4	5SL43037	P.I.A.

TABLA 16. Solución de diseño proporcionado por SIMARIS Design.

4.7.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación, se adjunta una tabla comparativa (TABLA 17), en la que se contrastan las dimensiones de las líneas, así como los dispositivos de protección.

Líneas	SECCIONES DE LAS LÍNEAS		DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	
	Manual	Simaris	Manual	Simaris
L1	3 x (3 x 240 + 120)	3 x (3 x 240 + 120)	3VT57163AA300AA0+3VT95126AC00	3VT57163AA300AA0+3VT95166AC00
L2	3 x 150 + 95	3 x 240 + 120	3VA12204EF320AA0	3VA22205MN320AA0
L3	3 x (3 x 150 + 95)	2 x (3 x 240 + 120)	3VL77101SB360AA0	3WL11102FB311AA2
L4	3 x 35 + 16	3 x 50 + 25	3VA11103EF360AA0	3VA20105JP360AA0
L5	1 x 16 + 16	1 x 50 + 25	5SY45406	5SL61507
L6	3 x 120 + 70	3 x 35 + 16	5SY46637CC	5SL43637
LM1	3 x 240 + 120	3 x 185 + 95	3VA23405HL320AA0	3VA24405MN320AA0
LM2	3 x 240 + 120	3 x 150 + 120	3VA23405HL320AA0	3VA24405MN320AA0
LH	3 x 240 + 120	3 x 240 + 120	3VA23405HL320AA0	3VA23405HL320AA0
LA1	3 x 1.5 + 1.5	3 x 6 + 6	5SY86167	3VA11964EE360AA0
LA2	3 x 1.5 + 1.5	3 x 6 + 6	5SY86167	3VA20255HM360AA0
LA3	3 x 2.5 + 2.5	3 x 10 + 10	5SY86167	3VA11964EE360AA0
LA4	3 x 6 + 6	3 x 16 + 16	5SY86167	3VA11964EE360AA0
LA5	3 x 6 + 6	3 x 16 + 16	5SY86167	3VA11964EE360AA0
LA6	3 x 1.5 + 1.5	3 x 6 + 6	5SY46067CC	5SL43067
LA7	3 x 1.5 + 1.5	3 x 4 + 4	5SY46037CC	5SL43037
LA8	3 x 1.5 + 1.5	3 x 4 + 4	5SY46037CC	5SL43037

TABLA 17. Solución final comparativa de los dos procedimientos.

Por otro lado, el transformador de alimentación de la instalación también es distinto entre ambos procedimientos, siendo en el caso del procedimiento manual un transformador de 800 *kVA* (véase FIGURA 1), y el que proporciona SIMARIS de 1000 *kVA* (véase FIGURA 43).

Transformador	
	<input checked="" type="checkbox"/> Dimensionamiento automático
Designación	C.T.
Fabricante	SIEMENS
Producto / Tipo	GEAFOL
Grupo de vectores	Dyn5
Ventilador montado	No
Potencia Sn [kVA]	1,000
Tensión nominal de corto-circuito ukr [%]	6
Pérdidas del corto-circuito Pk [kW]	7.9
Pérdidas en vacío P0 [kW]	1.55

FIGURA 43. Características del transformador dimensionado por SIMARIS Design.

Como puede comprobarse en la tabla anterior (TABLA 17), apenas hay similitudes entre ambas soluciones, pero no por ello quiere decir que una, o ambas, estén mal; Ya se ha comentado antes que cualquier solución proyectual no es única, pero sí que existirán propuestas de diseño que sean más óptimas que el resto, ya sea en cuanto a coste económico, o margen de seguridad en cuanto a la protección de la instalación.

Los motivos por los que la solución proporcionada por SIMARIS es distinta se debe a diferentes motivos. El principal motivo es el siguiente: al introducir todas las corrientes base de diseño de los motores M bomba, MQ1 y MQ2 mayoradas en un 25 % tal y como lo prescribe la norma ITC-BT-47, el programa SIMARIS, no aplica estrictamente la ecuación [7], es decir, no mayorada solamente la corriente del motor de potencia mayor, sino que hace la suma con las corrientes que se hayan introducido como entrada, y ya se ha mencionado que se introducen todos mayorados. Esto llevará como consecuencia que la corriente base de diseño de la línea L3, que alimenta los motores MQ1 y MQ2, varíe ligeramente de valor, así como la línea de acometida L1. En consecuencia, las caídas de tensión porcentual al final de las líneas también serán distintas, ya que se va arrastrando el margen de error desde el lado de secundario del transformador hasta el final de cada una de las líneas.

En lo que respecta al transformador, en el apartado 3.1. del diseño manual, se ha calculado el transformador en base a las potencias que absorben las cargas sin mayorar. Sin embargo, en el programa los valores que se han introducido se han mayorado para el caso de motores y lámparas de descarga con el objetivo que el programa dimensione las líneas de acuerdo con el REBT, por lo que las potencias también salen mayoradas, estando así sobredimensionados los valores (intensidad y potencia) de la instalación. Por lo tanto, el programa al calcular dicho circuito, detecta que con un transformador de 800 *kVA* no se alimentan todas las cargas de forma correcta, por lo que pasa al



siguiente valor de potencia nominal, que es de 1000 *kVA*. En consecuencia, la corriente base de diseño de la línea de acometida (L1) también será distinto.

Finalmente, como el transformador es de 1000 *kVA*, los valores de corrientes de cortocircuito variarán, y por lo tanto la elección de los interruptores también serán distintos.

Una vez analizadas las causas por las que la solución es distinta, cabe hacerse la siguiente pregunta: ¿Es correcta la solución proporcionada por *SIMARIS*, cumpliendo así el REBT? La respuesta es sí.

De hecho, hablando en términos de margen de seguridad, se podría llegar a admitir que incluso dicha solución es mejor que la del diseño manual, por motivos principales:

- El transformador, al tener una potencia aparente mayor respecto al obtenido manualmente, tendrá una mayor versatilidad de cara a un hipotético caso en el que en la instalación se necesiten más cargas (motores, por ejemplo), para aumentar la producción y rentabilidad del proceso industrial que se esté llevando a cabo. Si con uno de 800 *kVA* se tenían 52.76 *kVA* de potencia de reserva (véase apartado 3.1.4.), con uno de 1000 *kVA* se llegaría a tener un margen extra de 200 *kVA*, con que es lógico pensar que apostar por un transformador cuya mayor potencia de reserva permita en un futuro mayores ampliaciones se puede considerar una buena opción.
- Al sobredimensionarse el valor de sección de las líneas (véase en la *TABLA 17* que sus valores son prácticamente superiores a los de la solución manual), todas las condiciones y requisitos prescritos por el REBT que se han ido exponiendo a lo largo del diseño manual se cumplen de forma más holgada, aumentando así tanto la protección de las personas como de la propia instalación.

4.8.CONCLUSIONES

Se ha hecho el diseño manual y el diseño mediante el programa informático *SIMARIS Design*, con el objetivo de comprobar que mediante éste último se consigue también una solución de diseño válida que cumple con la normativa vigente, con la ventaja fundamental de que se ahorra un tiempo considerable en realizar todos los cálculos requeridos.

Por hacerse una idea de la diferencia de tiempo que hay entre un método u otro de diseño, el método manual ha llevado la mayor parte del TFG, durante prácticamente todo el segundo cuatrimestre del cuarto curso, mientras que realizar el diseño mediante el uso de *SIMARIS* no ha llevado más de un día.

Lo que sí que destaca la solución de *SIMARIS* respecto de la manual, es su coste económico, que sin duda resultará mayor, dado que casi todas las secciones son mayores, y se tiene un transformador más potente.

En conclusión, se puede llegar a asumir que una instalación diseñada por el software *SIMARIS* presenta un mayor margen de seguridad tanto para la instalación (futuras ampliaciones, menores sobrecargas, menores caídas de tensión en bornes de las cargas...), pero a costa de tener un mayor coste económico que la del diseño manual.



5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Roger Folch, J., Riera Guasp, M., Roldán Porta, C. (2010). *Tecnología eléctrica* (3.ª ed.). Madrid: SINTESIS.
- *Guía Técnica de Aplicación – Anexos: Cálculo de las Caídas de Tensión* (2003). Recuperado de http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_anexo_2_sep03R1.pdf
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC*. Recuperado de https://boe.es/biblioteca_juridica/codigos/abrir_pdf.php?fich=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC.pdf
- AENOR, Ed., *UNE-HD 60364-5-52, Instalaciones eléctricas de baja tensión, 2014, Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones*.
- Siemens AG 2020, Ed. *SIMARIS Design Tutorial*, versión 9.0.0, Munich, 2015.
- Siemens AG 2020, Ed. *SIMARIS Design Technical Manual*, versión 9.0.0, Munich, 2015.
- Siemens AG 2020, Ed. *SIMARIS Curves* (versión 2.2) [Aplicación Móvil]. Descargado de <https://apps.apple.com/es/app/simaris-curves/id957736292>.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

DOCUMENTO Nº2: PLIEGO DE CONDICIONES



ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. Introducción	68
2. Transformador	68
3. Cables	68
4. Canalizaciones	68
5. Dispositivos de protección	69
6. Líneas que alimentan motores y lámparas de descarga	69
7. Previsión de la demanda: bases de enchufes monofásicas	69



1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento del TFG, se recogen las exigencias de índole técnica y legal que han de regir para la ejecución de éste.

El reglamento utilizado para la realización del proyecto es el *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)* con la última edición vigente hasta la fecha (17 de Enero de 2020), y que fue aprobado por el Real Decreto 842/2002 de 2 de Agosto. Dentro de este documento (véase PDF del enlace web que se cita en el apartado 5 del *Documento nº1: Memoria Descriptiva*) se recogen una serie de *Instrucciones Técnicas Complementarias*, haciendo uso en este TFG sólo de algunas de ellas. Además, se hace uso de la norma *UNE-HD 60364-5-52, Instalaciones eléctricas de baja tensión, 2014, Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones*, proveniente de AENOR (Asociación Española de Normalización).

Cabe destacar, por último, que los requisitos que se citan en los siguientes apartados reflejan estrictamente lo estudiado en el TFG, esto es: características de los cables, transformador, canalizaciones, previsión de la demanda de las bases de enchufe, dispositivos de protección, líneas que alimentan motores y lámparas de descarga, etc.

2. TRANSFORMADOR

El transformador que se seleccione debe instalarse en el Centro de Transformación (C.T.), cuya situación física se puede comprobar en el Plano 1 del *Documento nº4: Planos*. Al ser de tipo interior, dicho C.T. se instala según las prescripciones generales de la instrucción MIE-RAT 14.

3. CABLES

Los cables de la instalación deben ser unipolares de cobre, de sección máxima igual a 240 mm^2 , aislados con polietileno reticulado (*XLPE*), y con tensión nominal de aislamiento $0.6/1 \text{ kV}$, cumpliendo ante todo con lo prescrito en el *REBT*.

Al tratarse de una instalación interior, el dimensionado de las secciones de los conductores de fase debe hacerse según lo prescrito en la *ITC-BT-19*, que remite a la norma *UNE-HD 60364-5-52* para el criterio térmico de dimensionado, y con una caída de tensión admisible del 2 % para los circuitos de alumbrado, y del 3 % para el resto de cargas, desde el origen de la instalación hasta el final de todas las líneas, siendo el origen la salida del transformador.

Los conductores de protección se dimensionan de acuerdo con la *ITC-BT-18*, teniendo en cuenta que el esquema de distribución es de tipo *TN-C*, el material es el mismo que el de los conductores activos, y que pertenecen a la misma canalización que la de los conductores de fase.

4. CANALIZACIONES

Las canalizaciones utilizadas por las líneas son las que se describen en el *Capítulo 3: Canalizaciones*, que se encuentra en el apartado 2 del *Documento nº3: Presupuesto*. La instalación de éstas deberá ser tal que cumple la norma *UNE-HD 60364-5-52, Instalaciones eléctricas de baja tensión, 2014, Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones*.



5. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Los dispositivos de protección que se instalen deben ser tales que cumplan las normas *ITC-BT-22* e *ITC-BT-24*, cumpliendo así la protección contra sobreintensidades y contactos indirectos, respectivamente.

Se instalarán Interruptores Automáticos o Interruptores Magnetotérmicos, seleccionados del catálogo SIEMENS, según corresponda, al principio de la línea que protegen e instalados en el cuadro que alimenta a su línea correspondiente.

6. LÍNEAS QUE ALIMENTAN MOTORES Y LÁMPARAS DE DESCARGA

Las líneas que alimentan a motores de inducción trifásicos deberán soportar una corriente base de diseño que cumpla con los criterios térmicos y de caída de tensión especificados en el apartado 2. Además, se debe calcular dicha corriente según lo prescrito en la norma *ITC-BT-47*.

Las líneas que alimentan a lámparas de descarga trifásicos deberán soportar una corriente base de diseño que cumpla con los criterios térmicos y de caída de tensión especificados en el apartado 2. Además, se debe calcular dicha corriente según lo prescrito en la norma *ITC-BT-44*. Por último, para el alumbrado exterior (líneas LA4 y LA5) que ilumina el solar debe cumplirse la norma *ITC-BT-09*.

7. PREVISIÓN DE LA DEMANDA: BASES DE ENCHUFE MONOFÁSICAS

Para el caso de las bases de enchufe monofásicas, al no conocer la potencia que se consumirá, la potencia que se prevea debe cumplir con la norma *ITC-BT-10*, determinando así un coeficiente de simultaneidad adecuado para la instalación.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

DOCUMENTO Nº3: PRESUPUESTO



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. Introducción	72
2. Listado de las unidades de obra	72
3. Cuadro de precios descompuestos	73
4. Estado de las mediciones	81
5. Presupuestos de ejecución material	82
6. Presupuestos finales (base de licitación)	83
7. Comparativa de los dos presupuestos finales	84
8. Referencias de los precios utilizados	84



1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se va a realizar un estudio económico haciendo una comparativa del coste de cada uno de los presupuestos; Un presupuesto es el que se obtiene del diseño mediante procedimiento manual, mientras que el otro es el realizado mediante el software *SIMARIS Design*. Así mismo, se razona los motivos por el que dichos presupuestos difieren en términos de coste.

Por otro lado, en los siguientes apartados, se especifican cada una de las unidades de obra que reflejan lo que se ha diseñado, seleccionado y/o calculado en el TFG; En dichas unidades de obra, algunos precios, como es el caso de los interruptores de protección, se han sacado de diferentes páginas web de distribuidores autorizados de SIEMENS. Es decir, la Aparamenta eléctrica que se presupuesta coincide con la obtenida en anteriores apartados (véase *TABLA 17* del apartado 4.7). El resto de precios proviene de la *Base de Precios del IVE (Instituto Valenciano de la Edificación) de Junio de 2019*, que es la más reciente hasta la fecha (véase <http://www.five.es/productos/herramientas-online/visualizador-2019/>).

2. LISTADO DE LAS UNIDADES DE OBRA

A continuación, se representa el listado de unidades de obra que se van a presupuestar mostrado abajo. En dicho listado, se hace una comparativa de las unidades de obra que tiene cada tipo de presupuesto (manual y software).

	MANUAL	SIMARIS
CAPÍTULO 1: CENTRO DE TRANSFORMACIÓN		
U01	CT abonado 1 transformador seco 800 kVA (incluido obra civil y mano de obra)	CT abonado 1 transformador seco 1000 kVA (incluido obra civil y mano de obra)
CAPÍTULO 2: LÍNEAS DE LA INSTALACIÓN		
U02	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x240 mm ²	
U03	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x150 mm ²	
U04	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x35 mm ²	
U05	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x6 mm ²	
U06	Línea Cu RZ1-K (AS) monofásica 0.6/1kV 2x16 mm ²	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x16 mm ²
U07	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x120 mm ²	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x50 mm ²
U08	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x2.5 mm ²	Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x185 mm ²
U09		Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x4 mm ²
U010		Línea Cu RZ1-K (AS) monofásica 0.6/1kV 2x50 mm ²



UO11		Línea Cu RZ1-K (AS) trifásica 0.6/1kV 4x10 mm2
CAPÍTULO 3: CANALIZACIONES		
UO12	Bandeja de PVC perforada 40x200	
UO13	Canalización directamente enterrada en el terreno	
UO14	Bandeja de PVC perforada 40x150	
UO15	Bandeja de PVC perforada 40x100	
UO16	Tubo acero galvanizado para canalización en superficie. 25mm de diám. 30%accesorios	
UO17	Bandeja de PVC no perforada 40x100	
UO18	Tubo acero galvanizado para canalización en superficie 50 mm de diám.	
UO19	Tubo acero galvanizado para canalización en superficie 13.5mm de diám. 30%accesorios	
UO20	Tubo doble pared poliolefina enterrado 40mm de diám.	
UO21	Tubo corrugado simple PVC para canalización empotrada 13.5mm de diám.	
CAPÍTULO 4: DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN		
UO22	Dispositivos de protección obtenidos por diseño manual	Dispositivos de protección obtenidos por <i>SIMARIS</i>
CAPÍTULO 5: MANO DE OBRA DEL PROYECTISTA		
UO23	Trabajo de realización del TFG	

3. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

Capítulo 1: Centro de Transformación

UO1							
U.M.	Descripción		Rdto. (U.M/ud)	Precio (€/U.M.)		IMPORTE (€/ud)	
				Manual	Simaris	Manual	Simaris
Ambos	Manual	Simaris	Ambos	Manual	Simaris	Manual	Simaris
h	Oficial 1a electricidad		10,00	19,75		197,50	
h	Especialista electricidad		10,00	16,84		168,40	
h	Peón ordinario construcción		2,00	15,57		31,14	
h	Grúa autopropulsada 12T		2,00	57,33		114,66	
ud	Trafo. 800 kVA	Trafo. 1000kVA	1,00	16.500,00	19.300,00	16.500,00	19.300,00
%	Costes directos complementarios		0,02	17.011,70	19.811,70	340,23	396,23
TOTAL						17.351,93	20.207,93



Capítulo 2: Líneas de la instalación

U02				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,16	16,84	2,69
h	Oficial 1a electricidad	0,08	19,75	1,58
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x240mm ²	3,15	28,40	89,46
m	Cbl Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x120mm ²	1,05	14,55	15,28
%	Costes directos complementarios	0,02	109,01	2,18
			TOTAL	111,19

U03				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,16	16,84	2,69
h	Oficial 1a electricidad	0,08	19,75	1,58
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x150mm ²	3,15	18,24	57,46
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x95mm ²	1,05	11,67	12,25
%	Costes directos complementarios	0,02	73,98	1,48
			TOTAL	75,46

U04				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,12	16,84	2,02
h	Oficial 1a electricidad	0,06	19,75	1,19
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x35mm ²	3,15	4,60	14,49
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x16mm ²	1,05	2,25	2,36
%	Costes directos complementarios	0,02	20,06	0,40
			TOTAL	20,46



U05				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,12	16,84	2,02
h	Oficial 1a electricidad	0,06	19,75	1,19
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x6mm ²	3,15	0,99	3,12
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x6mm ²	1,05	0,99	1,04
%	Costes directos complementarios	0,02	7,37	0,15
			TOTAL	7,52

U06								
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)		Precio (€/U.M)		Importe (€/m)		
Ambos	Ambos	Manual	Simaris	Manual	Simaris	Manual	Simaris	
h	Especialista electricidad	0,12		16,84		2,02		
h	Oficial 1a electricidad	0,06		19,75		1,19		
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x16mm ²	2,10	3,15	2,25		4,73	7,09	
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x16mm ²	1,05		2,25		2,36		
%	Costes directos complementarios	0,02		10,30	12,66	0,21	0,25	
						TOTAL	10,51	12,91

U07								
U.M.	Descripción		Rdto. (U.M/m)		Precio (€/U.M)		Importe (€/m)	
Ambos	Manual	Simaris	Manual	Simaris	Manual	Simaris	Manual	Simaris
h	Especialista electricidad		0,12		16,84		2,02	
h	Oficial 1a electricidad		0,06		19,75		1,19	
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x120mm ²	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x50mm ²	3,15	2,10	14,55	6,62	45,83	20,85
m	Cbl Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x70mm ²	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS)	1,05	1,05	8,85	3,29	9,29	3,45



		0.6/1 kV 1x25mm ²						
%	Costes directos complementarios		0,02	58,33	27,51	1,17	0,55	
					TOTAL	59,50	28,06	

U08								
U.M.	Descripción		Rdto. (U.M/m)		Precio (€/U.M)		Importe (€/m)	
Ambos	Manual	Simaris	Manual	Simaris	Manual	Simaris	Manual	Simaris
h	Especialista electricidad		0,12	0,16	16,84		2,02	2,69
h	Oficial 1a electricidad		0,06	0,08	19,75		1,19	1,58
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x2.5mm ²	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x185mm ²	3,15		0,55	22.05	1,73	69,46
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x2.5mm ²	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x95mm ²	1,05		0,55	11.67	0,58	12,25
%	Costes directos complementarios		0,02		5,52	85.98	0,11	1,72
					TOTAL	5,63	87,70	

U09				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,12	16,84	2,02
h	Oficial 1a electricidad	0,06	19,75	1,19
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x4mm ²	3,15	0,81	2,55
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x4mm ²	1,05	0,81	0,85
%	Costes directos complementarios	0,02	6,61	0,13
			TOTAL	6,74



UO10				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,12	16,84	2,02
h	Oficial 1a electricidad	0,06	19,75	1,19
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x50mm ²	2,10	6,62	13,90
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x25mm ²	1,05	3,29	3,45
%	Costes directos complementarios	0,02	20,56	0,41
			TOTAL	20,97

UO11				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Especialista electricidad	0,12	16,84	2,02
h	Oficial 1a electricidad	0,06	19,75	1,19
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x10mm ²	3,15	1,52	4,79
m	Cbl unipolar Cu RZ1-K (AS) 0.6/1 kV 1x10mm ²	1,05	1,52	1,60
%	Costes directos complementarios	0,02	9,60	0,19
			TOTAL	9,79

Capítulo 3: Canalizaciones

UO12				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,13	19,75	2,57
h	Especialista electricidad	0,13	16,84	2,19
m	Bandeja PVC perf 40x200	1,05	10,90	11,45
%	Costes directos complementarios	0,02	16,21	0,32
			TOTAL	16,53

UO13				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,10	19,75	1,98



h	Especialista electricidad	0,10	16,84	1,68
%	Costes directos complementarios	0,02	3,66	0,07
			TOTAL	3,73

U014				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,13	19,75	2,57
h	Especialista electricidad	0,13	16,84	2,19
m	Bandeja PVC perf 40x150	1,05	9,34	9,81
%	Costes directos complementarios	0,02	14,57	0,29
			TOTAL	14,86

U015				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,13	19,75	2,57
h	Especialista electricidad	0,13	16,84	2,19
m	Bandeja PVC perf 40x100	1,05	7,18	7,54
%	Costes directos complementarios	0,02	12,30	0,25
			TOTAL	12,55

U016				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,04	19,75	0,73
h	Especialista electricidad	0,04	16,84	0,63
m	Tubo acero galv sup 25mm 30%acc	1,05	4,33	4,55
%	Costes directos complementarios	0,02	5,90	0,12
			TOTAL	6,02

U017				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,13	19,75	2,57



h	Especialista electricidad	0,13	16,84	2,19
m	Bandeja PVC cie 40x100	1,05	7,18	7,54
%	Costes directos complementarios	0,02	12,30	0,25
			TOTAL	12,55

UO18				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,05	19,75	0,96
h	Especialista electricidad	0,05	16,84	0,82
m	Tubo acero galv sup 25mm 30%acc	1,05	8,23	8,64
%	Costes directos complementarios	0,02	10,44	0,21
			TOTAL	10,65

UO19				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,02	19,75	0,45
h	Especialista electricidad	0,02	16,84	0,38
m	Tubo acero galv sup 13.5mm 30%acc	1,05	2,46	2,58
%	Costes directos complementarios	0,02	3,42	0,07
			TOTAL	3,49

UO20				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
h	Oficial 1a electricidad	0,02	19,75	0,40
h	Peón especializado construcción	0,02	16,08	0,32
m	Tubo rojo doble pared ente 40mm	1,05	0,50	0,53
%	Costes directos complementarios	0,02	1,25	0,03
			TOTAL	1,28



UO21				
U.M.	Descripción	Rdto. (U.M/m)	Precio (€/U.M)	Importe (€/m)
H	Oficial 1a electricidad	0,02	19,75	0,40
H	Peón especializado construcción	0,02	15,57	0,31
M	Tubo PVC cg emp 13.5mm	1,05	0,08	0,08
%	Costes directos complementarios	0,02	0,79	0,02
			TOTAL	0,81

Capítulo 4: Dispositivos de protección

UO22							
U.M.	Descripción	Rendimiento (U.M/ud)	Precio (€/U.M)		Importe (€/ud)		
			Manual	Simaris	Manual	Simaris	
Ambos	Ambos	Ambos					
ud	Dispositivo L1	1,00	2.132,15	2947,44	2.132,15	2.947,44	
ud	Dispositivo L2	1,00	341,32	646,28	341,32	646,28	
ud	Dispositivo L3	1,00	248,20	1.897,52	248,20	1897,52	
ud	Dispositivo L4	1,00	293,30	610,74	293,30	610,74	
ud	Dispositivo L5	1,00	97,85	39,54	97,85	39,54	
ud	Dispositivo L6	1,00	317,00	51,24	317,00	51,24	
ud	Dispositivo LM1	1,00	2.340,90	2191,85	2.340,90	2191,85	
ud	Dispositivo LM2	1,00	2.340,90	2191,85	2.340,90	2191,85	
ud	Dispositivo LH	1,00	2.340,90	2.340,90	2.340,90	2340,90	
ud	Dispositivo LA1	1,00	246,06	277,79	246,06	277,79	
ud	Dispositivo LA2	1,00	246,06	369,46	246,06	369,46	
ud	Dispositivo LA3	1,00	246,06	277,79	246,06	277,79	
ud	Dispositivo LA4	1,00	246,06	277,79	246,06	277,79	
ud	Dispositivo LA5	1,00	246,06	277,79	246,06	277,79	
ud	Dispositivo LA6	1,00	111,70	36,78	111,70	36,78	
ud	Dispositivo LA7	1,00	111,70	56,67	111,70	56,67	
ud	Dispositivo LA8	1,00	111,70	56,67	111,70	56,67	
%	Costes Directos Complementarios	0,02	14.254,12	14.548,10	285,10	290,96	
					TOTAL	14.540,02	14.839,06

NOTA: por falta de espacio, en vez de poner las referencias de los dispositivos, se han designado de la forma "Dispositivo LX". Para ver la referencia correspondiente, véase TABLA 17.



Capítulo 5: Mano de obra del proyectista

UO23				
U.M	Descripción	Rdto.	Precio	Importe (€/h)
h	Titulado superior	1,00	29,31	29,31
%	Costes directos complementarios	0,02	29,31	0,59
			TOTAL	29,90

4. ESTADO DE LAS MEDICIONES

En este apartado se realizan las mediciones en cada unidad de obra, justificando los cálculos en todo momento.

Capítulo 2: Líneas de la instalación

Debido a la complejidad del cálculo, de UO2 a UO11 que corresponde con el capítulo de las Líneas de la Instalación, se ha calculado los metros de cada uno de los elementos del cuadro de precios descompuestos. Por un lado, los metros de conductores de fase y de neutro, que se determina sabiendo las secciones de las líneas, la longitud de éstas y el número de conductores que hay de cada tipo (Véase *TABLA 17*). Así mismo, los metros para la mano de obra (especialista electricidad + oficial 1a electricidad) corresponden con la suma de los de fase y neutro. Por otro lado, se calcula también el precio final de la unidad de obra teniendo en cuenta el coste unitario (€/m) que tiene cada elemento de los cuadros de precios descompuestos.

	Mediciones (metros)						Precio (€)	
	Manual			Simaris			Manual	Simaris
	Fase	Neutro	Mano de obra	Fase	Neutro	Mano de obra		
UO2	369	123	492	1224	425	1649	37.730,84	125.494,96
UO3	1179	393	1572	60	20	80	80.857,47	4.114,88
UO4	162	54	216	102	34	136	3.231,54	2.034,68
UO5	1020	340	1360	450	150	600	8.059,63	3.555,72
UO6	60	60	120	1020	340	1360	826,81	12.647,80
UO7	102	34	136	162	54	216	5.535,62	4.342,51
UO8	843	281	1124	60	20	80	5.334,00	4.849,28
UO9				180	60	240		1.306,00
UO10				60	60	120		1.454,72
UO11				213	71	284		2.086,42



Capítulo 3: Canalizaciones

Los metros de las canalizaciones se determinan sabiendo por cada tipo de canalización (véase UO12 a UO21) las longitudes de las líneas que poseen dicha canalización.

NOTA: las bandejas de las unidades de obra UO12, UO14, UO15 y UO16 se suministran en tramos de 3 metros, por lo que el resultado de la medición de cada una de ellas deberá ser múltiplo de 3 y a la vez inmediatamente superior a la longitud de su línea correspondiente.

	Medición (m)
UO12	24
UO13	240
UO14	51
UO15	54
UO16	60
UO17	36
UO18	57
UO19	177
UO20	340
UO21	104

Capítulo 4: Dispositivos de protección

UO22: cada uno de los dispositivos de la instalación tienen la cantidad de **1 unidad**.

Capítulo 5: Mano de obra del proyectista

UO23: sabiendo que la parte de diseño manual ha ocupado prácticamente la totalidad del tiempo de dedicación al TFG, se va a suponer que las horas de duración han sido el total de horas teóricas del TFG, es decir, **300 horas**. Por otro lado, la cantidad horas utilizadas por el diseño en *SIMARIS* baja drásticamente, ya que ha llevado mucho menos tiempo diseñar por software que por el método manual. En concreto, la cantidad es de **4 horas**.

5. PRESUPUESTOS DE EJECUCIÓN MATERIAL

A continuación, se presenta una tabla comparativa del presupuesto de ejecución material, donde al precio unitario de cada unidad de obra se le aplica la medición obtenida en el apartado anterior.

NOTA: de UO2 a UO11 no se han indicado las mediciones ya que dentro de cada unidad de obra hay mediciones para los conductores de fase, otras para conductores de neutro y otras para la mano de obra, todas ellas distintas. En el anterior apartado se indican dichas mediciones.



	Precio (€/U.M.)		Medición (U.M.)		Importe (€)	
	Manual	Simaris	Manual	Simaris	Manual	Simaris
U01	17.351,93	20.207,93	1,00		17.351,93	20.207,93
U02	111,19				37.730,84	125.494,96
U03	75,46				80.857,47	4.114,88
U04	20,46				3.231,54	2.034,68
U05	7,52				8.059,63	3.555,72
U06	10,51	12,91			826,81	12.647,80
U07	59,50	28,06			5.535,62	4.342,51
U08	5,63	87,70			5.334,00	4.849,28
U09		6,74				1.306,00
U010		20,97				1.454,72
U011		9,79				2.086,42
U012	16,53		24,00		396,72	
U013	3,73		240,00		895,20	
U014	14,86		51,00		757,86	
U015	12,55		54,00		677,70	
U016	6,02		60,00		361,20	
U017	12,55		36,00		451,80	
U018	10,65		57,00		607,05	
U019	3,49		177,00		617,73	
U020	1,28		340,00		435,20	
U021	0,81		104,00		84,24	
U022	14.540,02	14.839,06	1,00		14.540,02	14.839,06
U023	29,90		300,00	4,00	8.970,00	119,60
			TOTAL		187.722,56	202.338,26

6.PRESUPUESTOS FINALES (BASE DE LICITACIÓN)

Asumiendo un Beneficio Industrial del 6% del PEM y un 13 % de Gastos Generales para calcular el Presupuesto de Ejecución por Contrata, y un 21% del IVA para el presupuesto final, se tiene lo siguiente:



	Manual	Simaris
Presupuesto de Ejecución Material (€)	187.722,56	202.338,26
Gastos Generales 13%	24.403,93	26.303,97
Beneficio Industrial 6%	11.263,35	12.140,30
Presupuesto de Ejecución por Contrata (€)	223.389,84	240.782,53
I.V.A. 21%	46.911,87	50.564,33
Presupuesto Base de Licitación (€)	270.301,71	291.346,86

7.COMPARATIVA DE LOS DOS PRESUPUESTOS FINALES

DISEÑO MANUAL	DISEÑO <i>SIMARIS DESIGN</i>
270.301,71 €	291.346,86 €

TABLA 18. Comparativa de los presupuestos.

Se concluye, observando la TABLA 18, que el coste de ejecución del proyecto de la instalación resulta más caro si se hiciera mediante el uso del software comercial *SIMARIS Design*, exactamente un 7.8 % superior.

Pese a que las horas utilizadas en el diseño manual han sido muy superiores (300 horas frente a las 4 del software), ha influenciado en gran medida el hecho de que en el diseño por el software se haya presupuestado el transformador de 1000 *kVA*, más caro sin duda que el del diseño manual (800 *kVA*). Además, el coste de la unidad de obra de los interruptores también resulta más caro; No obstante, lo que sin duda ha marcado esa distancia de precio entre ambos presupuestos, son las secciones de las líneas, ya que, como se ha comentado en el apartado 4.3., están sobredimensionadas respecto a las del diseño manual. Esta incidencia se agrava por el hecho de que si, además de sobredimensionar una línea determinada, ésta presenta una longitud grande, el coste se dispara de manera exponencial.

Se confirma así lo mencionado en el apartado 4.8. del Documento nº1: *Memoria Descriptiva*, que debido al sobredimensionado de las líneas y el aumento de potencia del transformador, llevar a cabo el diseño por *SIMARIS* supone un aumento en términos de coste.

8.REFERENCIAS DE LOS PRECIOS UTILIZADOS.

1. DISPOSITIVOS (DISEÑO MANUAL)

- <https://www.radwell.co.uk/es-ES/Buy/SIEMENS/FURNAS%20ELECTRIC%20CO/3VT9-512-6AC00?redirect=true>
- https://es.wiautomation.com/siemens/variadores-motores-proteccion-de-circuitos/3VA12204EF320AA0?SubmitCurrency=1&id_currency=1&gclid=Cj0KCQjwzZj2BRD



[VARIsABs3I9I0dQGzhVGvb9AsJzoNXzkUCbatYk8MP1iPKZloq6evQ4WOmmFD9aEaAtIwEALw_wcB](https://www.wcB.com)

- <https://octopart.com/3vl77101sb360aa0-siemens-25195291>
- <https://es.rs-online.com/web/p/mccbs/8744155/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D33564131313130334546333630414130267374613D3356413131313033454633363041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- [https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/1243215/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D355359343534303626&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D](https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/1243215/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3553593435343036267374613D355359343534303626&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D)
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/1963620/>
- <https://es.rs-online.com/web/p/disyuntores-para-proteccion-de-motores/1963575/?relevancydata=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3356413233343035484C333230414130267374613D3356413233343035484C33323041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/disyuntores-para-proteccion-de-motores/1963575/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3356413233343035484C333230414130267374613D3356413233343035484C33323041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/disyuntores-para-proteccion-de-motores/1963575/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3356413233343035484C333230414130267374613D3356413233343035484C33323041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>



- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508465783/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3573793836313637267374613D357379383631363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508465783/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3573793836313637267374613D357379383631363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508465783/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3573793836313637267374613D357379383631363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508465783/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3573793836313637267374613D357379383631363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508465783/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3573793836313637267374613D357379383631363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508463406/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3553593436303637267374613D355359343630363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>



- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508463406/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3553593436303637267374613D355359343630363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2508463406/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3553593436303637267374613D355359343630363726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>

2. DISPOSITIVOS (DISEÑO SIMARIS DESIGN)

- <https://www.ebay.es/itm/Siemens-3VT5716-3AA30-0AA0-Circuit-Breaker-Leistungsschalter-NFP-/222130296762>
- <https://es.wiautomation.com/siemens/variadores-motores-proteccion-de-circuitos/3VA22205MN320AA0>
- <https://es.wiautomation.com/siemens/variadores-motores-proteccion-de-circuitos/3VA25105HL320AA0>
- <https://world.wiautomation.com/en/siemens/drives-motors-circuits-protection/3VA20105JP360AA0>
- <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-automaticos/2550633112/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D35534C3631353037267374613D35534C363135303726&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.wiautomation.com/siemens/variadores-motores-proteccion-de-circuitos/5SL43637>
- https://industry-electronics.com/siemens/3va24405mn320aa0-siem-3va2440-5mn32-0aa0-leistungsschalte-lsi-in400a-ir160a-400a-isd3-15x-ir-lieske_1345297.htm
- https://industry-electronics.com/siemens/3va24405mn320aa0-siem-3va2440-5mn32-0aa0-leistungsschalte-lsi-in400a-ir160a-400a-isd3-15x-ir-lieske_1345297.htm



- <https://es.rs-online.com/web/p/disyuntor-para-proteccion-de-motores/1963575/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D3356413233343035484C333230414130267374613D3356413233343035484C33323041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/mccb/8744228/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D33564131313936344545333630414130267374613D3356413131393634454533363041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/siemens/3va2025-5hm36-0aa0-3va20255hm360aa0-siemens-interruptor-autom-3va2-iec-tamano-100-clase-de-poder-de-corte-m-i>
- <https://es.rs-online.com/web/p/mccb/8744228/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D33564131313936344545333630414130267374613D3356413131393634454533363041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/mccb/8744228/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D33564131313936344545333630414130267374613D3356413131393634454533363041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://es.rs-online.com/web/p/mccb/8744228/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D2673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D33564131313936344545333630414130267374613D3356413131393634454533363041413026&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D>
- <https://www.electricalautomationnetwork.com/es/siemens/5sl4306-7-5sl43067-siemens-interruptor-automatico-400v-10ka-curva-c-3-polos-6a-70mm-accesoriale>



- https://www.electricalautomationnetwork.com/es/siemens/5sl4303-7-5sl43037-siemens-interruptor-automatico-400v-10ka-curva-c-3-polos-3a-70mm-accesoriable?search_query=5SL43037&results=1
- https://www.electricalautomationnetwork.com/es/siemens/5sl4303-7-5sl43037-siemens-interruptor-automatico-400v-10ka-curva-c-3-polos-3a-70mm-accesoriable?search_query=5SL43037&results=1

3. RESTO (CABLES, TRANSFORMADOR, MANO DE OBRA, CANALIZACIONES...)

- <https://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2019/>

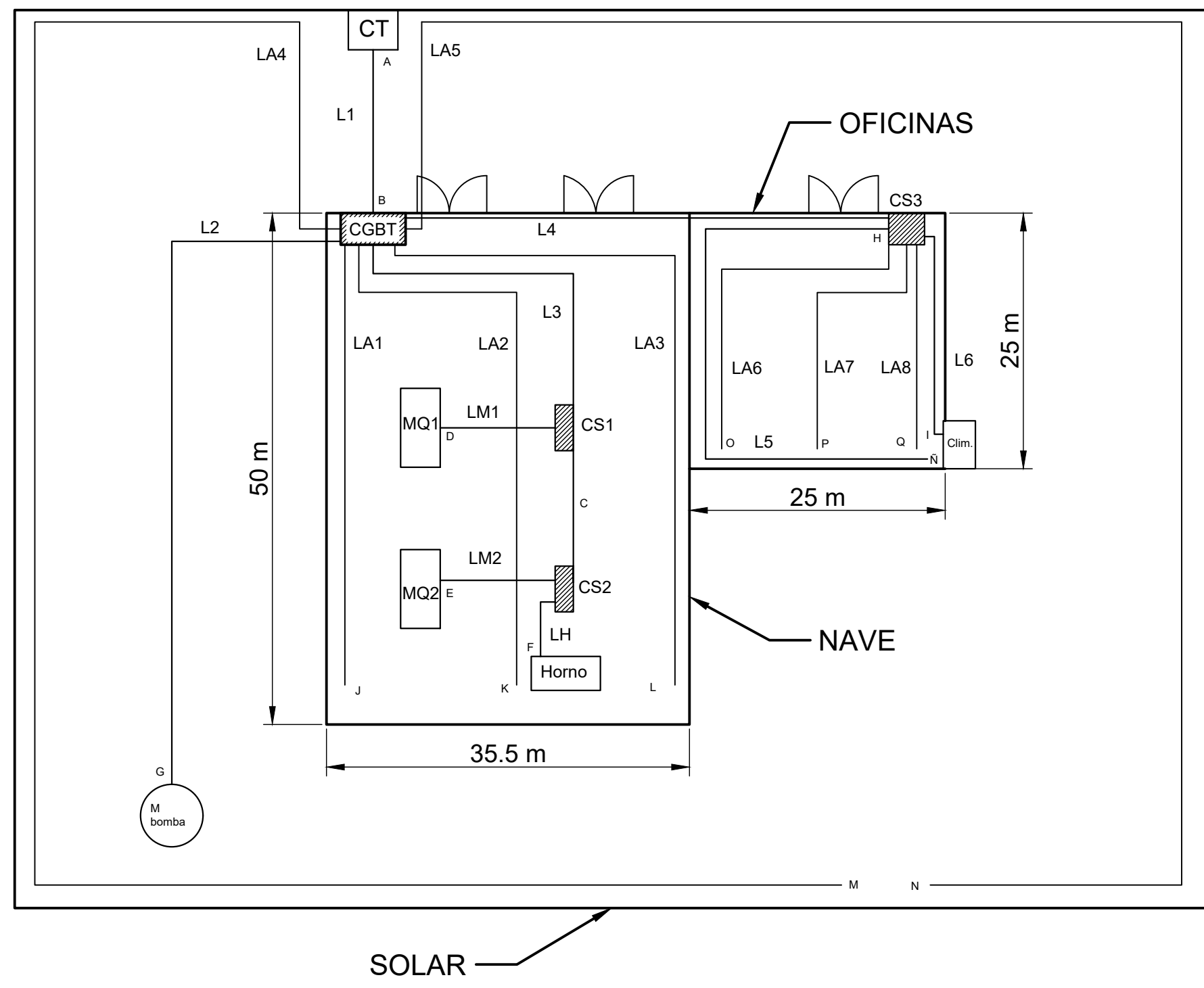


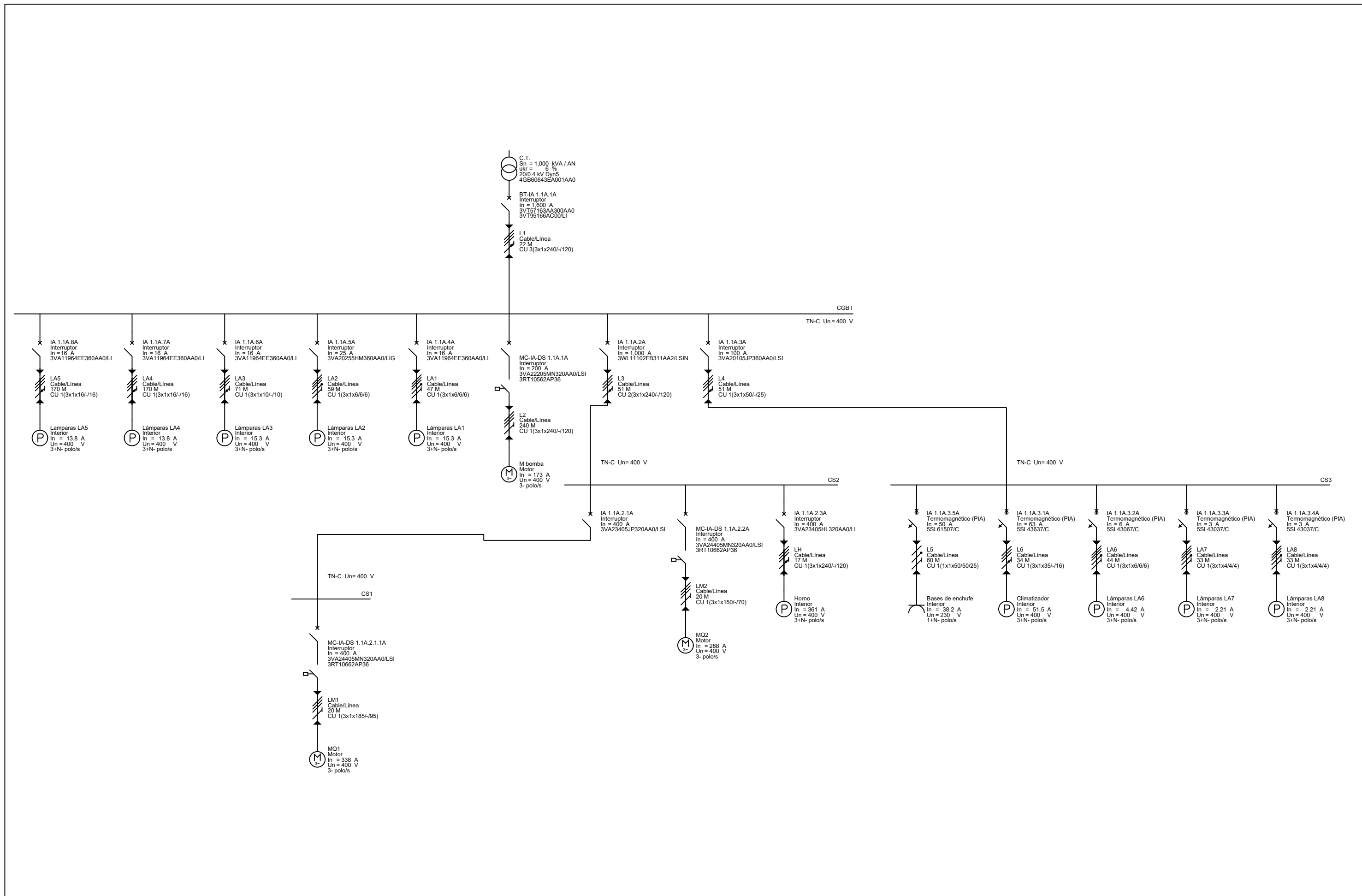
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

DOCUMENTO Nº4: PLANOS





	TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES Proyecto: DISEÑO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE UNA NAVE DE 2400 METROS CUADRADOS	Plano: Esquema Unifilar de la Instalación Eléctrica Autor: Alejandro Garcia Ortega	Fecha: Mayo 2020 Escala: x	Nº Plano: 2
--	--	---	---	--------------------