

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Generación Automática de Diagramas Unifilares de
Baja Tensión a partir de una Hoja de Cálculo

Autor: Miguel Muñoz García

Tutor: Agustín Maraver Guerrero

Dpto. Ingeniería de la Construcción y Proyectos
de Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019



*Departamento de
Ingeniería de la Construcción
y Proyectos de Ingeniería*

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Generación Automática de Diagramas Unifilares de Baja Tensión a partir de una Hoja de Cálculo

Autor:

Miguel Muñoz García

Tutor:

Agustín Maraver Guerrero

Profesor Asociado

Dpto. Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Generación Automática de Diagramas Unifilares de Baja Tensión a partir de una Hoja de Cálculo

Autor: Miguel Muñoz García

Tutor: Agustín Maraver Guerrero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

Agradecimientos

A mi familia por darme todo el apoyo del mundo siempre que lo necesitaba. A mis padres por enseñarme a no bajar los brazos y a disfrutar aprendiendo de todo.

A Agustín Maraver por abrirme los ojos y la mente en el mundo de la ingeniería y por dejarme empaparme de toda su experiencia.

A Antonio y Daniel por convertirse en unos pilares fundamentales de mi vida a lo largo de estos años donde hemos compartido el mundo de la ingeniería con tantos momentos a nuestras espaldas.

A mis amigos por ayudarme a escapar del estrés y a no olvidar de dónde venimos ni a dónde vamos. A los que siguen siendo.

Miguel Muñoz García

Sevilla, 2019

Desde los inicios de la ingeniería, ha sido necesario realizar la representación gráfica de cualquier elemento o parte de una instalación al objeto de poder realizar la construcción y/o ejecución de las mismas. En el caso de las instalaciones eléctricas se ha necesitado realizar representaciones gráficas de las mismas una vez son diseñadas y calculadas como parte fundamental del proyecto. En concreto, en el caso de los esquemas /diagramas unifilares, estos tienen como fin el clarificar y resumir la instalación así como también el especificar las características de la instalación. Por tanto, se suele distinguir entre otros, dos partes del proyecto: el cálculo y diseño y la representación del diagrama unifilar asociado.

Antes de la llegada de la computación actual, ambas tareas se realizaban a mano. Después, cuando se dispuso de la potencia computacional necesaria para realizar el diseño y los cálculos mediante un ordenador, se sistematizó el mismo por parte del ingeniero proyectista. Como continuación de esta tarea, la tarea de representación gráfica era realizada por lo general por un delineante mediante un programa de diseño asistido por ordenador. Sin embargo, esta tarea de traslación de los cálculos a su correspondiente representación gráfica comporta, además de un importante número de horas de trabajo, la aparición de errores en dichos esquemas.

Se plantea, por tanto, la cuestión de si se puede automatizar el paso del diseño y cálculo de la instalación a la representación gráfica.

En el presente trabajo se expondrán los pasos llevados a cabo para, a partir del diseño y de los cálculos que se realizan de una instalación eléctrica mediante la hoja de cálculo Excel, pasar dichos datos de forma automática a AutoCAD con el fin de, además de ahorrar horas de trabajo, evitar la posible aparición de errores de representación al traspasar la información de una herramienta a otra.

Abstract

Since engineering's beginnings, it has been necessary to represent graphically any facility component towards being able to build or execute them. Concerning electrical facilities, it has been necessary to make graphical representations once they were designed, as a basic project's part. Single line diagrams are on purpose to clarify and summarize the projected facility, as well as specify facilities' characteristics. Thus, it is usual to discriminate between two parts within the project: calculus and design, and single line diagram's graphical representation.

Prior to nowadays' computer, both task were done manually. Then, when enough computer power to design and calculate was achieved, the process got systematized by the engineer. As this task's expansion, graphical representations were done by a draftsman using a computer aid design computer program. Nevertheless, this tasks consisting in shifting calculus to its graphical representation generate, besides an important number of working hours, errors in that schemes.

So, it is posed the question about automating the given step given from calculus and design to graphical representation.

Within the present document, it will be presented the given steps to, depart from calculus and design of an electric facility done by an Excel spreadsheet, shift these steps automatically to AutoCAD to, in addition to save working hours, avoid error's appearance when exchange information between tools.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Índice	xiii
Índice de Tablas	xviii
Índice de Figuras	xix
1 Prefacio	2
1.1 <i>Introducción</i>	2
1.2 <i>Objetivo</i>	2
1.3 <i>Alcance</i>	3
1.4 <i>Justificación</i>	3
2 Metodología	4
2.1 <i>Toma de datos</i>	4
2.2 <i>Análisis de la información</i>	5
2.3 <i>Identificación y desarrollo de la solución</i>	6
2.4 <i>Conclusiones</i>	6
3 Definición del problema	7
3.1 <i>Introducción</i>	7
3.2 <i>Cálculo de instalaciones</i>	8
3.2.1 <i>Determinación de conductores</i>	8
3.2.1.1 <i>Criterio térmico</i>	9
3.2.1.2 <i>Criterio Caída de tensión</i>	10
3.2.1.3 <i>Criterio de cortocircuito</i>	11
3.2.2 <i>Aparamenta</i>	12
3.2.3 <i>Tipos de protecciones</i>	13
3.2.3.1 <i>Interruptores automáticos</i>	13
3.2.3.2 <i>Fusible</i>	13

3.2.3.3	Contactores	13
3.2.3.4	Interruptores y relés diferenciales	13
3.2.4	Protección frente a sobrentensidadas	13
3.2.4.1	Protección frente a sobrecargas	13
3.2.4.2	Protección frente a cortocircuitos	14
3.2.5	Protección frente a sobretensiones	15
3.3	<i>Otra aparamenta (leyenda)</i>	15
4	Información de partida	17
4.1	<i>Datos de partida</i>	17
4.2	<i>Libro de cálculo</i>	18
4.2.1	I_Automaticos:	18
4.2.2	REBT	18
4.2.3	REBT_Coeficientes	19
4.2.4	REBT_Imax	19
4.2.5	Pararrayos	19
4.2.6	Instalación de tierras	19
4.2.7	Cuadros	19
4.2.8	Instalación	19
4.3	<i>Diagrama unifilar tipo</i>	22
5	IDENTIFICACION Y DESARROLLO DE LA SOLUCION	25
5.1	<i>Toma de datos</i>	25
5.1.1	Creación fichero CSV	26
5.1.2	Lectura fichero CSV	30
5.2	<i>Clasificación datos leídos</i>	31
5.3	<i>Representación gráfica</i>	31
5.3.1	Representación tablas finales	31
5.3.2	Representación protecciones	33
5.3.3	Representación unión nodal	33
5.3.4	Representación de niveles superiores	35
5.3.4.1	Actualización de valores	36
5.3.4.2	Representación de los circuitos	36
5.3.4.3	Unión nodal	37
5.4	<i>Alternativas</i>	37
5.5	<i>Comparación métodos</i>	38
5.5.1	Primer método	38

5.5.2	Segundo método	39
6	Conclusión	40
7	Anexo I: Cálculo de instalaciones eléctricas	42
7.1	<i>Conceptos teóricos</i>	42
7.1.1	Parámetros eléctricos de los cables	42
7.1.2	Canalización eléctrica	48
7.1.3	Designación de los cables	49
7.1.4	Modos de instalación	49
7.1.5	Cálculo de secciones	52
7.1.5.1	Criterio térmico	52
7.1.5.2	Criterio de caída de tensión	53
7.1.5.3	Criterio de cortocircuito	59
7.1.6	Aparamenta	60
7.1.7	Tipos de protecciones	62
7.1.7.1	Interruptores automáticos	62
7.1.7.2	Fusible	64
7.1.7.3	Contactores	65
7.1.7.4	Interruptores y relés diferenciales	66
7.1.7.5	Protección frente a sobreintensidades	68
7.1.7.5.1	Protección frente a sobrecargas	68
7.1.7.5.2	Selección del dispositivo	70
7.1.7.5.3	Protección frente a cortocircuitos	70
7.2	<i>Aplicación de conceptos teóricos a un caso tipo</i>	72
7.2.1	Potencias e intensidades de cortocircuito	72
7.2.2	Determinación de las características de la instalación	75
7.2.2.1	Potencia de alimentación y factores de simultaneidad	75
7.2.2.2	Sistema de distribución y puesta a tierra	76
7.2.2.3	Alimentación	76
7.2.2.4	División de las instalaciones	76
7.2.2.5	Selectividad	76
7.2.3	Dimensionado de los cables	77
7.2.3.1	Consideraciones generales para el cálculo de la sección	77
7.2.3.2	Sección del conductor neutro	77
7.2.3.3	Sección del conductor de protección	78
7.2.3.4	Intensidad máxima admisible en régimen permanente	78

7.2.3.5	Energía máxima admisible por el cable en cortocircuito	80
7.2.3.6	Caída de tensión	81
7.2.4	Dimensionado de las protecciones	81
7.2.4.1	Protección contra sobrecargas permanentes	81
7.2.4.2	Protección contra cortocircuitos	82
7.2.4.3	Protección contra cortocircuitos en líneas de elevada longitud	83
7.2.4.4	Protección contra sobrecargas permanentes	84
7.2.4.5	Protección contra contactos directos	84
7.2.4.6	Protección contra contactos indirectos: protección por corte automático de la alimentación	84
7.2.4.7	Protección exterior contra el rayo mediante Pararrayos con Dispositivo de Cebado	85
7.2.4.8	Protección frente a sobretensiones	86
7.2.5	Dimensionado de las canalizaciones	89
7.2.5.1	Instalaciones Interiores	89
7.2.5.2	Instalación de alumbrado exterior	90
7.2.6	Instalación de puesta a tierra de protección	91
7.2.6.1	Características del terreno	91
7.2.6.2	Características de la toma de tierra	91
7.2.6.3	Fórmulas para la resistividad	91
7.2.6.4	Tensión máxima de contacto	92
8 Anexo II: Hoja de Cálculo		93
9 Anexo III: Diagramas de flujo		97
9.1	<i>Programa principal</i>	97
9.2	<i>Toma de datos</i>	97
9.2.1	Obtención Rango	98
9.3	<i>Filtro</i>	99
9.3.1	Clasificación	100
9.4	<i>Representación Elementos Finales</i>	101
9.4.1	Representación Valores Tabla	102
9.4.1.1	Ajustes Representación	102
9.4.2	Determinación Punto Inserción Siguiete	103
9.5	<i>Representación Unión Nodal</i>	104
9.6	<i>Niveles Superiores</i>	104
9.6.1	Actualización Lista Elementos Finales	105
9.6.1.1	Elementos Finales y Nodos Concatenados	106

9.6.2	Actualización Puntos Inserción	107
9.6.2.1	Representación Nuevos Elementos Finales	107
9.6.3	Reordenación Puntos y Unión Nodal	108
10	Anexo IV: Código AutoLISP	109
10.1	<i>Librería</i>	109
10.2	<i>Programa</i>	121
10.3	<i>Alternativa</i>	124
11	Anexo V: Diagramas Unifilares	128
11.1	<i>Diagramas unifilares de referencia</i>	129
11.2	<i>Diagrama unifilar instalación tipo</i>	131
11.3	<i>Diagrama unifilar tipo variante</i>	131
11.4	<i>Leyenda diagramas unifilares</i>	132
	Referencias	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1. <i>Código ASCII</i>	29
Tabla 7-1. <i>Intensidades Calibre Interruptores magnetotérmicos.</i>	70
Tabla 7-2. <i>Intensidades de cortocircuito y poder de corte asociado.</i>	73
Tabla 7-3. <i>Intensidades permitidas y calibre del magnetotérmico asociado</i>	83
Tabla 7-4. <i>Categorías de sobretensiones</i>	87
Tabla 7-5. <i>Tabla 2 de ITC-BT-21</i>	89
Tabla 7-6. <i>Tabla 5 ITC-BT-21</i>	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. <i>Sección de un cable multiconductor.</i>	8
Figura 5-1. <i>Diagrama de flujo creación CSV manual</i>	27
Figura 7-1. <i>Ejemplo diagrama Fasorial</i>	46
Figura 7-2. <i>Diagrama fasorial Potencia</i>	47
Figura 7-3. <i>Ejemplo tipos de cables</i>	49
Figura 7-4. <i>Modos de instalación según la ITC-BT-19</i>	51
Figura 7-5. <i>Esquema caídas de tensión para abonados</i>	54
Figura 7-6. <i>Modelo tipo de una línea eléctrica</i>	54
Figura 7-7. <i>Diagrama fasorial caída de tensión</i>	55
Figura 7-8. <i>Modelo línea monofásica</i>	55
Figura 7-9. <i>Diagrama caída de tensión línea monofásica</i>	56
Figura 7-10. <i>Modelo línea trifásica</i>	56
Figura 7-11. <i>Diagrama caída de tensión línea trifásica</i>	57
Figura 7-12. <i>Arco eléctrico</i>	61
Figura 7-13. <i>Aparamenta quemada</i>	62
Figura 7-14. <i>Curva interruptor magnetotérmico</i>	63
Figura 7-15. <i>Ejemmplo curvas energía pasante</i>	64
Figura 7-16. <i>Curvas fusibles</i>	65
Figura 7-17. <i>Esquema funcionamiento contactor</i>	66
Figura 7-18. <i>Principio de protección del relé diferencial</i>	67
Figura 7-19. <i>Esquema del núcleo toroidal</i>	67
Figura 7-20. <i>Tiempo de actuación en función de la temperatura.</i>	69
Figura 7-21. <i>Curvas actuación protección sobrecargas</i>	69
Figura 7-22. <i>Ejemplo disparo térmico.</i>	70
Figura 7-23. <i>Funcionamiento parte magnética del magnetotérmico.</i>	72

1 PREFACIO

1.1 Introducción

Para realizar cualquier tipo de instalación eléctrica de baja tensión es necesario llevar a cabo una serie de cálculos, en base a lo que establece el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), con el fin de diseñar correctamente la misma. Por este motivo, en la mayoría de los casos, es necesaria la realización de un proyecto donde se incluya, entre otras cosas, los resultados de dicho cálculo así como un esquema unifilar de la instalación que sirva para poder entenderla de una forma gráfica. En dicho esquema deben de aparecer los elementos de protección y maniobra de la instalación y sus aspectos más importantes: protecciones, dimensiones de cables, etc. Actualmente existen multitud de normas y simbologías válidas para la representación de la solución adoptada para la instalación en cuestión, es por ello que, con el tiempo, proyectistas y calculistas han ido desarrollando poco a poco sus propias simbologías y herramientas con el fin de optimizar el tiempo de trabajo dedicado a la elaboración de los esquemas unificables. Ocurre igualmente con el apartado de cálculo y especificaciones donde, por el contrario, existen normas de obligado cumplimiento.

En la actualidad, existen softwares comerciales que permiten realizar la representación del diagrama de una instalación y, a partir del mismo, se obtiene el cálculo de las dimensiones necesarias de la misma. Sobre este tipo de herramientas es de señalar que no facilitan la información de detalle sobre la forma en la que se realizan los cálculos y se puede dar el caso de si el usuario de los mismos no posee un buen conocimiento de las operaciones realizadas no detecte posibles errores de diseño de la instalación. Son softwares ampliamente extendidos debido a su extrema sencillez y validez de sus datos.

En otros casos, son los propios usuarios los que desarrollan sus propias herramientas de cálculo, y no se han encontrado softwares que permitan realizar el proceso inverso, es decir, a partir de los cálculos realizados obtener la posterior representación gráfica de los mismos. Es por ello que a lo largo de este trabajo se estudiará este problema y se expondrán las soluciones identificadas.

1.2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo consiste en determinar si es posible, a partir de una serie de cálculos realizados por el proyectista, mediante una hoja de cálculo, hacer la representación del diagrama unifilar de la instalación eléctrica empleando herramientas sencillas y extendidas.

En caso afirmativo, se procederá a determinar cuál es la solución óptima que se le da al problema planteado, así como las posibles limitaciones y mejoras propuestas que se encuentren.

De igual manera, con este trabajo se pretende realizar una mejor comprensión de algunas de las herramientas ingenieriles más empleada, así como la exposición y afianzamiento de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria realizada en la Universidad de Sevilla.

Finalmente, se pretende con este trabajo, presentar y defender el Trabajo Fin de Grado del alumno Miguel Muñoz García “Generación Automática de Diagramas Unifilares de Baja Tensión a partir de una Hoja de Cálculo” para la obtención del título universitario de Graduado/a en Ingeniería de las Tecnologías Industriales por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Sevilla.

1.3 Alcance

Con la realización de este trabajo se pretende alcanzar los siguientes objetivos

- 1) Ahondar en el conocimiento y programación de la hoja de cálculo Excel utilizada en el diseño/cálculo de las instalaciones eléctricas, así como en la aplicación y programación de AutoCAD para la representación de los esquemas unifilares
- 2) Familiarizarse con las herramientas de cálculo, diseño y representación de instalaciones eléctricas de Baja Tensión de acuerdo a la normativa vigente.
- 3) Desarrollar una solución que relacione el cálculo de una instalación eléctrica y su representación gráfica sin necesidad de introducir en la interfaz gráfica uno a uno los elementos que componen la instalación, así como la posterior valoración de la solución aportada.

1.4 Justificación

Con la realización de este trabajo se afianzarán los contenidos estudiados en la asignatura de Instalaciones y Máquinas Eléctricas, que implica una revisión de la normativa vigente. Además, gracias a la consulta de las guías referenciadas en la bibliografía, se conseguirá una mejor aproximación al mundo de la ingeniería de proyectos de instalaciones eléctricas más allá del marco teórico. De igual manera se conseguirá una mayor comprensión de las herramientas de cálculo mediante Excel y de representación gráfica más comunes empleadas en el mundo de la ingeniería así como la iniciación y posterior profundización en el lenguaje de programación propio de AutoCAD, AutoLISP.

2 METODOLOGÍA

En este trabajo se pretende encontrar respuesta a la pregunta de si es posible realizar una automatización de la representación gráfica del diagrama unifilar de una instalación eléctrica realizándolo con herramientas simples y extendidas.

El método que se va emplear se explica en los siguientes apartados donde se pretende realizar un análisis con la profundidad necesaria para poder responder con seguridad a la pregunta que sirve de objeto del trabajo. Por ello, los puntos que se van a abordar a lo largo del trabajo consistirán en:

2.1 Toma de datos

Se parte de una información de partida que se irá ampliando conforme avance el desarrollo de la solución adoptada.

Se parte de un libro de cálculo de Microsoft Excel que permite realizar el cálculo de una instalación eléctrica gracias a la determinación de las cargas, tipos de canalizaciones empleadas, etc. Este libro de cálculo es el que servirá como base principal para el desarrollo del presente trabajo. Se le introducirán una serie de modificaciones a fin de adoptar la solución lo más óptima posible.

En primer lugar se toma como primera referencia y aproximación el Proyecto Fin de Carrea de Pedro Cabrera López “Desarrollo de una Metodología y Herramienta de Cálculo de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión” [1]. En él se realiza el desarrollo de una hoja de cálculo de acuerdo a la implementación de una metodología general. Dicha hoja de cálculo es la que ha servido de base a los posteriores trabajos citados.

En segundo lugar se analizará el Trabajo Fin de Grado de Luna Moreno Díaz “Análisis Comparativo de Herramientas de Cálculo de Instalaciones de Baja Tensión” [2]. En él se pueden leer las ventajas e inconvenientes que llevan asociadas tres herramientas de cálculo analizadas. Una de ellas consiste en la hoja de cálculo que se utilizará en el desarrollo del presente trabajo.

Además, se ha empleado el Trabajo Fin de Grado de Manuel Barrena Marabotto “Estudio de aplicación de blindobarras en edificios no industriales” [3]. De él se extraerá la información necesaria para comprender en mayor profundidad la potencialidad de la hoja de cálculo a la hora de realizar el cálculo y diseño de una instalación eléctrica.

Finalmente, se dispone de un diagrama unifilar tipo dado en forma de dibujo del programa AutoCAD que servirá de primera guía para abordar el problema. En él la información aparece codificada y gracias a la

leyenda adjunta se permite la comprensión de la misma. A partir de este diagrama se procederá al estudio de la automatización de tareas en AutoCAD a través de su entorno y lenguaje de programación. El mismo se realizará de acuerdo a las guías encontradas en la web de Autodesk

2.2 Análisis de la información

Para poder acometer el trabajo, ha sido necesaria una comprensión de la información que se ha empleado con el fin de poder desarrollar soluciones óptimas, así como una profundización en el conocimiento de las herramientas empleadas. Es por ello que siguiendo la línea del apartado anterior se procederá a realizar una primera lectura y comprensión de anteriores trabajos. Seguidamente se procederá al análisis minucioso de las herramientas empleadas en la hoja de cálculo con el fin de poder realizar las modificaciones pertinentes que contribuyan al desarrollo de la solución.

Para realizar este apartado, es necesaria una revisión del método empleado para el cálculo y diseño de una instalación eléctrica. Es por ello que se acudirán a los apuntes de la asignatura Instalaciones y Máquinas Eléctricas de la titulación de Graduado/a en Ingeniería de las Tecnologías Industriales por la Universidad de Sevilla, así como a una serie de documentación externa como lo pueda ser el Real Decreto 842/2002, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, u otra información proporcionada por fabricantes, distribuidores de energía eléctrica o similares.

A continuación se procederá a realizar un análisis minucioso sobre el funcionamiento de la hoja de cálculo con el fin de afianzar los puntos clave de la misma así como servir de primera guía a la hora de realizar la representación gráfica de su diagrama unifilar.

Una vez se ha completado este punto, se procederá a un análisis de la información dada en el documento de AutoCAD que sirve como esquema tipo a tomar como referencia. Para ello se analizarán todos los elementos que determinan el dibujo: sus bloques, atributos, leyenda...

Tras esto se procederá a determinar cuál es la posible forma más óptima de codificar la información para poder realizar el vínculo entre la herramienta de cálculo y la herramienta informática de representación por ordenador. Esto lleva, como se expondrá más adelante, al aprendizaje del lenguaje de programación propio de AutoCAD: AutoLISP. Este aprendizaje se realizará siguiendo las guías disponibles en la página de AutoCAD: *AutoLISP Developer's Guide* [4] y *AutoLISP Reference Guide* [5]. De igual manera se empleará de forma puntual la *DXF Reference* de Autodesk [6].

Seguidamente, se planteará mediante una serie de diagramas de flujo el algoritmo aplicado para el desarrollo de la solución así como diferentes métodos y alternativas propuestos con el fin de poder mejorar la solución adoptada.

Para finalizar, se pasará a la codificación del algoritmo en lenguaje AutoLISP (lenguaje que permite la personalización y desarrollo personal del entorno de trabajo de AutoCAD), de la manera más óptima posible e intentando usar funciones nativas del lenguaje para evitar problemas de compatibilidad entre diferentes versiones (o sistemas operativos) como más adelante se indica.

2.3 Identificación y desarrollo de la solución

Los pasos a seguir para la identificación y desarrollo de la solución han sido los siguientes:

- **Comprensión del problema:** donde se analizará toda la información de partida disponible (Trabajos Fin de Grado, Hojas de Cálculos, Diagramas Unifilares Tipo), la posterior búsqueda de las limitaciones existentes así como las posibilidades que se derivan de las mismas.
- **Representación del diagrama unifilar:** donde se procederá a la identificación de la solución propuesta mediante la generación y prueba de diferentes algoritmos que permitan englobar todo el proceso seguido. Los principales pasos a seguir serán: determinación de la codificación óptima, codificación de la información, representación gráfica de los elementos requeridos y actualización y manipulación de la información.
- **Comprobación de la validez de la solución:** en este punto se decidirá si la solución adoptada cumple con el objeto y alcance del presente trabajo sometiendo la solución a prueba a diferentes instalaciones. De igual manera se permitirá realizar modificaciones por el usuario una vez se ha ejecutado el código.
- **Alerta de posibles incidencias y mejoras:** finalmente se expondrán los puntos donde la solución adoptada puede ocasionar problemas así como propuestas de mejora a la misma con el fin de solventar algunas de sus deficiencias que estén fuera del alcance del trabajo.

2.4 Conclusiones

Una vez desarrollada la herramienta y visto el potencial y alcance que puede tener ésta; se procederá a un análisis de la solución obtenida, estableciendo pros y contras de la forma más homogénea posible.

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Introducción

Como se ha señalado, el objeto del presente trabajo consiste en la necesidad de definir unívocamente una instalación eléctrica proyectada, tanto a nivel de cálculo de la misma, como a nivel de representación gráfica de su diagrama unifilar. Dicha tarea se acometerá siguiendo el Real Decreto 842/2002, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT en adelante) [7].

Según el REBT en su artículo número 3, se entiende por instalación eléctrica todo conjunto de aparatos y de circuitos asociados en previsión de un fin particular: producción conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica

El cálculo y diseño de una instalación receptora eléctrica de Baja Tensión (BT en adelante) de carácter industrial en España ha de hacerse de acuerdo a las exigencias expuestas en el REBT y la justificación de los cálculos se hará de acuerdo al conjunto de Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC en adelante) asociadas a dicho reglamento, así como a sus guías asociadas

A continuación se expondrán los pasos a seguir para el cálculo y diseño de una instalación eléctrica de BT. Los elementos que tradicionalmente han determinado el dimensionado de una instalación eléctrica de baja tensión han sido los consumos previstos del sistema en cuestión.

Toda instalación eléctrica en BT no aislada se halla conectada a la red eléctrica, y por ello ha de cumplir una serie de condiciones para garantizar que la misma no supone un posible problema para la estabilidad de la red. Dicha instalación, se encuentra unida a la red mediante un centro de transformación (CT), entre otros elementos, que contiene el transformador que permite pasar de alta tensión (más de 1000V) a baja tensión (230 V o 400V en función del tipo de instalación requerida) así como un conjunto de celdas que contienen la aparamenta necesaria para la correcta operación y mantenimiento del CT. Tras este elemento se halla una acometida que finalmente deriva en el Cuadro General de Baja Tensión (CGBT de aquí en adelante) que sirve como cuadro central de protección y maniobra de instalación de BT. De ahí se derivarán el conjunto de canalizaciones para alimentar a los consumos de la instalación



Figura 3-1. Sección de un cable multiconductor.

3.2 Cálculo de instalaciones

En este apartado se encontrará un resumen sobre el cálculo de instalaciones eléctricas de acuerdo al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, así como las guías y apuntes que se han considerado necesarios para la profundización del objeto del proyecto. Una explicación más exhaustiva puede ser encontrada en el Anexo I: Cálculo de instalaciones eléctricas, donde se detallan todos los pasos seguidos durante el cálculo y diseño de una instalación eléctrica. La correspondencia entre el Anexo I: Cálculo de instalaciones eléctricas y la hoja de cálculo empleada se comenta a lo largo del anexo mismo.

El cálculo y diseño de una instalación eléctrica consiste, en origen, prever unos consumos asociados y en función de los mismos determinar los parámetros óptimos de los cables conductores así como el conjunto de la aparatada de protección y maniobra asociada a la misma.

3.2.1 Determinación de conductores

Generalmente, la longitud de los cables suele ser un parámetro dado ya que ésta es función de los puntos de consumo, es decir, está determinado por el diseño de la instalación eléctrica. Es por ello, que a la hora de calcular un cable, ha de determinarse su sección así como el número de conductores que lo formarán. Este diseño ha de basarse de acuerdo con los siguientes tres criterios: térmico, caída de tensión y cortocircuito.

Sin embargo, antes de introducir estos criterios, es necesario hablar de los métodos de instalación recogidos en el REBT. Este concepto hace referencia a todos los elementos no eléctricos que determinan la disposición de los conductores respecto a su entorno. Dichos métodos aparecen recogidos en el REBT y sus ITCs asociadas, donde para cada uno y en función de las peculiaridades que presente el mismo, se introduce un factor de corrección que afectará a la sección mínima necesaria para cada circuito de la instalación eléctrica.

De igual manera, es necesario introducir una serie de conceptos que se repetirán a lo largo de todo el apartado:

1. En primer lugar definir intensidad nominal del cable, I_n : intensidad que circula a través del conductor en condiciones nominales de operación.
2. Sin embargo, para el diseño de conductores se empleará la denominada intensidad de diseño del cable I_b , que consiste en la intensidad nominal del cable pero corregida con una serie de factores.

En función de la naturaleza de las cargas se tiene:

- Alimenta a una carga: $I_b = f_a \cdot f_u \cdot I_n$
- Alimenta a varias cargas: $I_b = f_s \cdot \sum_{i=0}^n f_{a_i} \cdot f_{u_i} \cdot I_{n_i}$
- Alimenta a otros circuitos: $I_b = f_s \cdot \sum_{i=0}^n I_{b_i}$

Los factores que aparecen multiplicando consisten en:

- Factor de arranque, $f_a (\geq 1)$
- Factor de utilización, $f_u (\leq 1)$
- Factor de simultaneidad, $f_s (\leq 1)$

3.2.1.1 Criterio térmico

Este criterio tiene por objeto determinar la sección mínima tal que en el conductor no se produzcan sobreesfuerzos térmicos a lo largo de su vida útil debido a una intensidad de corriente muy elevada. Es por ello que surge la necesidad de determinar cuál es la intensidad límite que provoca estos sobreesfuerzos en el conductor. A esta intensidad se le denomina intensidad máxima admisible y su valor viene dado en las tablas de la ITC-BT-07. La desigualdad necesaria para que se cumpla este criterio consiste en:

$$I_b \leq I_z = I_{z0} \cdot \prod f_{c_i} \rightarrow I_{z0} \geq I_{z0min} = \frac{I_b}{\prod f_{c_i}} \quad (3-1)$$

Siendo f_{c_i} el factor de corrección i-ésimo del conductor. Los factores de corrección consisten en una serie de números que permiten pasar de una condición particular de instalación a una general como se ha adelantado anteriormente. Estos valores pueden hacer referencia a:

- Modo de instalación
- Temperatura ambiente

- Temperatura del terreno
- Resistividad del terreno
- Método de Agrupamiento

3.2.1.2 Criterio Caída de tensión

Este criterio tiene como objetivo garantizar la calidad de suministro en los puntos de consumo eléctrico, es decir, que el valor de tensión obtenido en el mismo no salga fuera de una banda porcentual de desvío respecto a un valor nominal. Su origen viene determinado por la naturaleza no ideal de los conductores empleados. Los diferentes valores máximos aparecen determinados en las ITC-BT-14, ITC-BT-15 e ITC-BT-19. La fórmula variará en función de la naturaleza del circuito siendo diferente para el caso monofásico que para el caso trifásico.

- **Monofásica**

En circuitos monofásicos son necesarios dos cables: uno de ida y otro de vuelta; por lo que la expresión que permite calcular la caída de tensión asociada queda:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) \quad (3-2)$$

Que combinándola con la Ley de Ohm y la definición de potencia queda:

$$\Delta U = 2 \cdot \frac{P}{U} \cdot (R + X \cdot \tan(\varphi)) \quad (3-3)$$

- **Trifásica**

Por el contrario, para consumos trifásicos no es necesario circuito de vuelta por lo que su expresión queda:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) \quad (3-4)$$

Combinando esta ecuación con la Ley de Ohm y la definición de potencia trifásica

$$\Delta U = \frac{P}{U} \cdot (R + X \cdot \tan(\varphi)) \quad (3-5)$$

Gracias a esto se puede establecer una relación entre la potencia trifásica y la monofásica:

$$\Delta U_T = \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta U_M \quad (3-6)$$

Además, en la Guía-BT-Anexo 2 se pueden encontrar las caídas de tensión unitarias por unidad de amperio circulante y por kilómetro de longitud de cable para multitud de secciones de conductores. Su expresión puede ser reducida a:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) = I \cdot l \cdot \Delta u_{\cos(\varphi)} \quad (3-7)$$

Ya que en general la caída de tensión unitaria viene dada para más de un factor de potencia, por lo que en general se pueden sacar los parámetros eléctricos de los cables en función de la caída de tensión unitaria:

$$r(\theta_{m\acute{a}x}) = \frac{\Delta u_1}{\sqrt{3}} \left[\frac{\Omega}{km} \right] \quad (3-8)$$

$$x = \frac{\frac{\Delta u_{0.8}}{\sqrt{3}} - 0.8 \cdot r(\theta_{m\acute{a}x})}{0.6} \left[\frac{\Omega}{km} \right] \quad (3-9)$$

Siendo los valores de $\theta_{m\acute{a}x}$ establecidos en la ITC-BT-07:

$$\theta_{m\acute{a}x} = 70 \text{ } ^\circ\text{C (PVC)} \quad (3-10)$$

$$\theta_{m\acute{a}x} = 90 \text{ } ^\circ\text{C (XLPE y EPR)} \quad (3-11)$$

Caída de tensión a Tramos

De igual manera es importante definir la caída e tensión a tramos ya que tiene un efecto acumulativo a lo largo del conductor. Su fórmula resulta una pequeña suma resultante de unir los dos puntos entre los cuáles se quiere realizar el estudio:

$$\Delta U = \Delta U_{T1} + \Delta U_{T2} + \dots + \Delta U_{Tn} \quad (3-12)$$

Aunque a lo largo de este apartado se han tratado las caídas de tensión como un valor absoluto, es importante notar que en general aparecen dadas como porcentajes respecto a la tensión nominal. Para obtener dicho valor basta con dividir cada una de las ecuaciones anteriores por la tensión nominal y multiplicarla por 100.

3.2.1.3 Criterio de cortocircuito

Este criterio tiene por objeto determinar la sección mínima que permite al cable soportar corrientes de cortocircuito durante un tiempo determinado. Es por ello que se han de determinar los diferentes cortocircuitos posibles. Este criterio vale a su vez para escoger las protecciones asociadas a cada circuito.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se han de calcular las impedancias de cortocircuito de cada

circuito a la temperatura mínima y máxima para posteriormente analizar ambas situaciones. Estas impedancias incluyen todos los circuitos que se concatenan hasta el punto de estudio así como las impedancias del transformador y del equivalente red. Una vez determinadas, se puede calcular la intensidad de cortocircuito como:

$$I_{cc} = \frac{U^2}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}} \quad (3-13)$$

Siendo:

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito en el tramo estudiado.

U : Tensión de línea de la instalación.

R_{cc} : Resistencia equivalente del tramo estudiado.

X_{cc} : Reactancia equivalente del tramo estudiado.

3.2.2 Aparamenta

La aparamenta de una instalación eléctrica puede ser definida como todo equipo o material cuyo fin es la maniobra, protección, seccionamiento, control y/o conexión. A fin de la correcta elección del equipo adecuado se definen las siguientes magnitudes según la ITC-BT-01:

- Tensión nominal: valor convencional de la tensión de la instalación.
- Intensidad nominal: intensidad máxima que atraviesa el conductor en régimen permanente sin provocar calentamiento.
- Tensión de aislamiento asignada: valor máximo de tensión entre fases que soporta un aislante.
- Poder de Corte: valor eficaz de la intensidad prevista que un aparato es capaz de interrumpir bajo una tensión dada y en las condiciones previstas de empleo y funcionamiento.
- Poder de Cierre: similar al poder de corte pero con capacidad de establecer corriente.
- Intensidad límite térmica: máxima corriente que un conductor soporta durante 1 segundo sin calentamiento excesivo.
- Intensidad dinámica: valor pico de la intensidad que puede soportar el dispositivo a efectos de esfuerzos electrodinámicos.

3.2.3 Tipos de protecciones

3.2.3.1 Interruptores automáticos

Dispositivo que es capaz de establecer, mantener e interrumpir las intensidades de corriente de servicio, o de establecer e interrumpir automáticamente, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas tales como las corrientes de cortocircuito. Los parámetros principales de este tipo de aparatos son: número de polos, frecuencia de la corriente, tensión asignada, intensidad asignada y poder de corte.

3.2.3.2 Fusible

Consiste en un conductor aislado que permite pasar hasta una intensidad a partir de la cual funde. Se emplea mucho en todos los niveles de tensión debido a que es simple, fiable y económico. Sus principales parámetros son el tiempo de fusión total, el poder de corte y la energía pasante hasta fundir. La única desventaja de los fusibles es que no permite la realización de maniobras.

3.2.3.3 Contactores

Aparatos de maniobra que mediante la inducción electromagnética permiten abrir o cerrar contactos en función de su configuración. Suelen ser aparatos usados en motores eléctricos y automatismos

3.2.3.4 Interruptores y relés diferenciales

Con un principio de funcionamiento similar a los Contactores, su accionamiento se produce cuando detecta una corriente de fuga desde fase o neutro a masa. Protegen a personas contra contactos indirectos. No protegen frente a sobrecargas y/o cortocircuitos. El relé diferencial habilita el disparo para que el interruptor pueda actuar. Basándose en mediciones de intensidades inducidas, se pueden encontrar dos tipos de aparatos: baja sensibilidad (>30 mA) y alta sensibilidad (<30 mA).

3.2.4 Protección frente a sobreintensidades

Se entiende por sobreintensidad toda intensidad de corriente superior a un valor asignado, es decir, la corriente admisible. Pueden existir dos orígenes: sobrecargas y cortocircuitos.

3.2.4.1 Protección frente a sobrecargas

Se define como sobrecarga a la sobreintensidad producida por una demanda excesiva de potencia respecto a la nominal; hecho que reduce la vida útil de los conductores. Dichas sobrecargas pueden ser de naturaleza previsible o no previsible.

La protección frente a sobrecargas se realiza con el fin de que los conductores no vean reducida su vida útil debido a sobrecalentamiento, siendo vital el tiempo de actuación. Con este fin, los dispositivos usados son:

interruptores automáticos, interruptores magnetotérmicos, contactor con relé térmico y fusibles. El principio de protección consiste en la deformación por causas térmicas de los contactos que mantienen conduciendo el circuito, o bien la ruptura del mismo como es el caso de los fusibles.

Selección dispositivo

La selección del dispositivo de protección obedece a las siguientes desigualdades propuestas en la norma UNE-HD 60364:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (3-14)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \quad (3-15)$$

Siendo I_n la intensidad nominal de la protección, e I_2 un valor de la intensidad función del tipo de dispositivo:

$$I_2 \begin{cases} 1.3 \cdot I_r \rightarrow \text{Interruptores automáticos} & 0.7I_n < I_r < I_n \\ 1.45 \cdot I_n \rightarrow \text{Interruptores magnetotérmicos} \\ 1.6 \cdot I_n \rightarrow \text{Fusibles} \end{cases}$$

3.2.4.2 Protección frente a cortocircuitos

Los cortocircuitos consisten en sobreintensidades generadas por un defecto de aislamiento de impedancia despreciable. Provocan grandes esfuerzos térmicos y en altos niveles de tensión provocan esfuerzos mecánicos; es por ello que las protecciones deben actuar antes de que la instalación sufra algún daño. Para la selección del dispositivo se deben cumplir una serie de desigualdades:

$$PdC > I_{cc}^{m\acute{a}x} \quad (3-16)$$

Conocida como el criterio del poder de corte. En la ecuación (3-16) PdC es el poder de corte y $I_{cc}^{m\acute{a}x}$ la intensidad de cortocircuito máxima (a impedancia mínima, es decir, a 20°C de temperatura)- Este criterio es muy empleado para la protección mediante fusibles. Sin embargo, también se suelen utilizar interruptores automáticos que permiten un protección basada en la inducción de fuerzas magnetomotrices, al igual que los Contactores, siendo la intensidad de cortocircuito la disparadora del contacto. Este tipo de protecciones tienen que cumplir adicionalmente con las siguientes desigualdades:

$$P = R \cdot I^2 \quad E = P \cdot \Delta T = (R \cdot I^2 \cdot \Delta T) \rightarrow \begin{cases} (I_{cc}^{m\acute{a}x})^2 \cdot t < k^2 \cdot S^2 \\ (I_{cc}^{m\acute{i}n})^2 \cdot t < k^2 \cdot S^2 \end{cases} \quad (3-17)$$

Siendo

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito que debe interrumpir la aparamenta.

S : Sección del conductor en mm^2 .

k : Constante que depende del conductor y su aislamiento. Su valor viene recogido en la norma UNE-HD 60364-5-52.

Con esto se cierra el capítulo del cálculo de instalaciones eléctricas y que en el Anexo I: Cálculo de instalaciones eléctricas se explica con una mayor extensión.

3.2.5 Protección frente a sobretensiones

Para la protección de sobretensiones se emplean aparatos específicos basados en varistores, es decir, resistencias variables con la tensión o VDR por sus siglas en inglés. Estos equipos conducen cuando detectan una sobretensión, de manera que desvían la corriente introducida hacia su punto de conexión, generalmente hacia el cable de tierra, protegiendo así los equipos conectados aguas abajo suya.

Existen diferentes sobretensiones en función de su naturaleza (transitorias o permanentes) así como diferentes categorías en función del nivel de tensión soportada por impulsos tipo rayo. El tipo de protección deseada para los equipos así como la naturaleza de la sobretensión serán los parámetros a tener en cuenta. Es importante conocer el tipo de conexión que presenta la red si TT, IT, TN-S o TN-C ya que en función de la configuración se optará por un conectar el descargador entre dos puntos u otros.

3.3 Otra aparamenta (leyenda)

Para el presente trabajo se emplearán otra aparamenta adicional a parte de la ya nombrada para la protección general de equipos y seguridad de la red en baja tensión. Dicha aparamenta adicional aparece recogida en la representación unifilar tipo que usaremos como modelo. En la misma se puede encontrar una leyenda explicativa donde se detalla la función de cada uno de los equipos que se podrán emplear en el diseño de la instalación eléctrica de BT. Dicha aparamenta consiste en:

- ❖ *Analizador de redes*: permite analizar las propiedades de la red eléctrica mediante la medición de diferentes parámetros de señales eléctricas. Se emplea para fabricar filtros y amplificadores.
- ❖ *Seta de paro de emergencia*: empleada para abrir circuitos en carga de manera inmediata en caso de emergencia.
- ❖ *Selector manual-automático*: aparato que permite cambiar el modo de funcionamiento de control manual a automático. Ampliamente empleado en aplicaciones de medición y control industriales con sistemas SCADA integrados.
- ❖ *Pulsador de marcha*: contactor que permite cerrar de forma permanente (hasta nueva maniobra) un circuito eléctrico.

- ❖ *Bobina de contactor*: bobina que permite la magnetización del contactor una vez ha sido activada
- ❖ *Bobina de contactor con relé temporizado de conexión retardada*: bobina que introduce un retardo en la conexión del contactor. Su funcionamiento está basado en un temporizador, que a su vez se basa en la carga/descarga de un condensador mediante una resistencia. El calibre de dicho tiempo se lleva a cabo mediante las ecuaciones del condensador.
- ❖ *Bobina de contactor con relé temporizado de desconexión retardada*: idéntico al anterior pero con un retardo en la desconexión del contactor.
- ❖ *Piloto de señalización conexión a bornes*: piloto (luz LED) que informa sobre si la conexión a bornes ha sido establecida o no.

4 INFORMACIÓN DE PARTIDA

En el siguiente apartado se analizará la información de partida disponible relacionada con el presente problema. Esta información servirá de base para la comprensión total del problema así como para la posterior identificación de la solución.

4.1 Datos de partida

La primera versión de la hoja de cálculo es la del Proyecto Fin de Carrera de Pedro Cabrera López: “Desarrollo de una Metodología y Herramienta de Cálculo de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión”. Su trabajo consistía en el desarrollo de una metodología para el cálculo teórico de instalaciones eléctricas de BT basándose en las normas vigentes UNE y en el REBT. Con el fin de superar el marco puramente teórico se desarrolla la hoja de cálculo que sirve de base para el desarrollo de los trabajos que a continuación son citados, donde a su vez se han ido introduciendo modificaciones de cara a su mejora continua.

Además se emplea el trabajo fin de grado realizado Luna Moreno Díaz: “Análisis Comparativo de Herramientas de Cálculo de Instalaciones de Baja Tensión”. En dicho trabajo, se realiza una comparativa entre: una hoja de cálculo realizada a mano de acuerdo con la normativa del REBT y lo expuesto en el apartado anterior; el software gratuito de ABB: e-Doc, y el software desarrollado por Schneider: Ecodial, con bastantes similitudes. Su trabajo se desarrolla con la aplicación de estos softwares a un caso práctico, comparando el aspecto de introducción de datos, obtención de resultados, aprendizaje, corrección de errores...

Tras realizar el escrutinio, se concluye afirmando que la hoja de cálculo aporta una serie de ventajas respecto a los demás programas en cuanto al cálculo de magnitudes como pudieran ser las intensidades de cortocircuito donde los programas aportan unos datos no coincidentes con los calculados en la hoja de cálculo según el REBT. Esto se debe a que los programas de software no se suele aclarar la normativa y/o el método de cálculo utilizado. A pesar de que todas son muy similares entre sí, existen una serie de matices que en ciertas ocasiones provocan unos resultados distintos como se pudo corroborar en el citado trabajo. Sin embargo, la hoja de cálculo presenta problemas con cargas desequilibradas; aunque para cualquier otro caso presenta un error aceptable, inferior al 1.5%.

Finalmente el trabajo concluye exponiendo la problemática de los programas comerciales que se han expuesto en apartados anteriores de este trabajo así como una serie de ventajas que éstos ofrecen respecto a la hoja de cálculo como la existencia de una interfaz gráfica más intuitiva, la necesidad de

dominar bien la hoja de cálculo para su correcto desarrollo o que éstas no permiten un dimensionado tan completo como el de los programas comerciales.

En el trabajo fin de grado de Manuel Barrena Marabotto: “Estudio de aplicación de Blindobarras en edificios no industriales” se realiza dicho estudio en base a una modificación de la hoja de cálculo del TFG anterior. Sobre esta última versión se han desarrollado una serie de mejoras y adecuaciones de forma que su actual versión es la que ha servido de base para el desarrollo del presente trabajo.

4.2 Libro de cálculo

La última versión del libro de cálculo permite el cálculo y diseño de una instalación eléctrica completa. Su principio básico consiste en la definición de un circuito por fila tal que en cada una de las columnas se representa un valor concerniente al mismo. La definición se hace manera unívoca indicando, entre otros los parámetros: origen del circuito, destino del mismo, potencia consumida, tipo de instalación, nº de fases, nº de conductores, sección de los conductores, caída de tensión acumulada y en el tramo, intensidad máxima...

Para el cálculo del conjunto de valores concernientes a los parámetros del circuito, se empleará el anidamiento de fórmulas así como el empleo de nombres y las referencias a otras celdas dentro de un mismo libro. Junto con la validación de datos, se permite la rápida visualización de la validez de los parámetros de un circuito, siendo el proceso de cambio muy inmediato y sencillo; además del cálculo automático de nuevo de la instalación de manera completa para cada nuevo cambio introducido.

El cálculo desarrollado en el trabajo previamente citado se basa en la aplicación del REBT a una instalación eléctrica real. Proporcionando además información muy importante respecto a las protecciones de cada uno de los circuitos.

Hojas de cálculo

Se pueden encontrar diferentes hojas con distintas finalidades y funcionalidades dentro del libro de cálculo usado como base para el desarrollo de la solución del trabajo.

4.2.1 I_Automaticos:

En esta hoja se cuenta con 3 tablas que servirán para ser referenciadas a la hora de la determinación de automática del conjunto de protecciones necesarias para la instalación a diseñar.

4.2.2 REBT

Aquí se encuentran una serie de tablas que permiten comparar intensidades calculadas con intensidades máximas admisibles para instalaciones al aire, instalaciones enterradas, redes aéreas y subterráneas. De

igual manera, contiene tablas que sirven de base para el cálculo de los factores de corrección.

4.2.3 REBT_Coeficientes

Esta hoja contiene todas las tablas descritas en el REBT que permiten el cálculo preciso de los distintos factores de corrección aplicables al cálculo de la intensidad máxima admisible y que permiten adaptar las condiciones generales a las particulares de la instalación.

4.2.4 REBT_lmax

Donde en función del método de instalación elegido, el material de aislamiento y el material del conductor, se definen el conjunto de intensidades máximas admisibles según el REBT. Además proporciona una leyenda explicativa donde resume los diferentes métodos de instalación.

4.2.5 Pararrayos

Donde se adjunta una imagen de los distintos niveles isoceraunicos de España de cara a diseñar la instalación de protección frente a sobrintensidades.

4.2.6 Instalación de tierras

Donde se calculan las resistencias de puesta a tierra y de puesta a tierra de servicio gracias a la disposición de los conductores y la naturaleza de las picas.

4.2.7 Cuadros

Esta hoja sirve para que el usuario tenga un pequeño resumen del conjunto de cuadros que componen la instalación donde se encuentra: descripción del cuadro, su ubicación, intensidad de cortocircuito y tipos de embarrados que existen. Está planteada por su utilidad de cara a la rápida visualización de instalaciones con un gran número de cuadros.

4.2.8 Instalación

Hoja principal del libro de cálculo. En ella se introducen los principales parámetros que definen la instalación eléctrica, a saber: consumos, factor de potencia, resistividades de los materiales empleados, temperaturas máximas, tensión nominal, potencia de cortocircuito en el punto de conexión, datos del transformador, tipos de instalación... En ella se aplicarán los pasos explicados en el Anexo I: Cálculo de instalaciones eléctricas, que permiten el cálculo de la instalación eléctrica por completo. Hay que hacer el pequeño apunte de que la hoja no realiza la coordinación de aislamiento de los magnetotérmicos ni la selectividad de los mismos, por lo que estos puntos deben que ser introducidos a mano por el proyectista. Es por ello que esta hoja es la principal del libro.

Realizando una pequeña observación se pueden identificar una serie de valores en sus celdas que permiten la definición unívoca de cada uno de los **parámetros** que a su vez determinan las protecciones necesarias para el correcto diseño de la instalación eléctrica. Así, se pueden identificar una serie de patrones que debidamente ordenados y codificados permiten la extracción de la información más importante de cada protección. Este aspecto resulta clave y fundamental de cara a abordar el Trabajo, ya que gracias a esto se va a buscar la correspondencia entre este tipo de codificación y la representación de la misma en un diagrama unifilar.

Siguiendo esta línea, para el desarrollo del presente trabajo se realizarán modificaciones (adición de columnas, reordenación de las mismas...) en la hoja de cálculo que permitirán realizar un mejor manejo de la información de cada circuito proporcione la información precisa para la representación gráfica del mismo. Estas columnas permiten obtener todos los parámetros que definen de forma unívoca cada uno de los circuitos y con ello, la información necesaria para la introducción de los atributos de los bloques de representación que se emplearán.

El conjunto de columnas añadidas es:

- *Origen*: nudo de origen del circuito.
- *Destino*: nudo de destino del circuito.
- *Final*: celda que determina si el circuito consiste en un circuito final o por el contrario no. Un circuito es final si y sólo si su destino no es el origen de ningún otro. Para determinarlo en la hoja de Excel se combinarán las fórmulas “CONTAR.SI” y “SI”.
- *Tabla*: Todos los atributos del bloque tabla que aportan un resumen del tipo de circuito que se determina en esa fila.
 - *Sección*: sección del conductor normalizada según el número de fases. En este caso se empleará la fórmula “CONCATENAR” donde en función del número de fases y la sección de los conductores se defina el circuito. Para esta instalación siempre se distribuirá el neutro.
 - *Especificación*: descripción del circuito en cuestión.
 - *Circuito*: nudo destino del circuito.
 - *Cable*: tipo de cable en notación normalizada empleada en el circuito. Se determinará buscando el tipo de instalación elegido para el circuito en la tabla descrita en la hoja “Instalación”.
- *Magnetotérmico*: todos los atributos necesarios del bloque magnetotérmico para la correcta definición de la protección.

- *Tiempo*: tiempo de actuación ante una determinada intensidad. Su valor será introducido manualmente por el usuario y por defecto en la hoja de cálculo aparecerá “-”.
- *Intensidad*: intensidad nominal de la aparamenta Se tomará concatenando el número de fases más el neutro y el valor de la intensidad nominal de la protección.
- *IM-X*: tipo de curva del magnetotérmico (A, B o C).

Estos parámetros que se rellenan de forma automática pueden ser eliminados si el usuario lo considera necesario en el caso de no necesitar este tipo de protección.

- *Diferencial*: todos los atributos necesarios del bloque diferencial para la correcta definición de la protección.
 - *Sensibilidad*: intensidad umbral de disparo (30mA, 300mA...), determinada manualmente por el usuario.
 - *Intensidad*: intensidad nominal de la protección. Definida en el apartado Interruptores y relés diferenciales. Se obtiene de forma similar a la de interruptores magnetotérmicos.
 - *Retardo*: tiempo de retardo intencionado añadido al propio de la protección. Introducido manualmente por el usuario.
- *Seccionador*: todos los atributos necesarios del bloque seccionador para la correcta definición de la protección.
 - *IC-X*: Intensidad de maniobra del interruptor. Su valor es la intensidad nominal del magnetotérmico calculado.
 - *N-XX A*: Circuito que acciona la protección. Determinado por el usuario.
- *Guardamotor*: todos los atributos necesarios del bloque guardamotor para la correcta definición de la protección.
 - *RT-X*: Intensidad nominal de la protección.
 - *N-XX A*: Circuito que acciona la protección. Determinado por el usuario.
- *Diferencial+Magnetotérmico*: todos los atributos necesarios del bloque que incluye a un diferencial y a un magnetotérmico para la correcta definición de la protección.
 - *N-XX A*: Circuito que acciona la protección. Determinado por el usuario.
 - *YY-mA*: intensidad diferencial umbral. Determinada por el usuario.
 - *Retraso*: tiempo de retardo intencionado añadido al propio de la protección. Determinado

por el usuario.

- *IMD-X*: intensidad de disparo de la parte térmica del interruptor.
- Bloques sin atributos y que se determinan con un sí o dejando vacío:
 - *Analizador de red*
 - *Seta*
 - *Selector*
 - *Marcha*
 - *Contactor normalmente cerrado*
 - *Contactor normalmente abierto*
 - *Bobina contactor*
 - *Contactor*: donde se define el parámetro CM-X como la intensidad de maniobra del contactor.
 - *Piloto de Señalización*
 - *Conexión a Bornes*

4.3 Diagrama unifilar tipo

A la hora de realizar la representación gráfica de un diagrama unifilar, dentro de un mismo diagrama siempre se utilizan los mismos símbolos para los mismos elementos que componen la instalación eléctrica. Este es uno de los aspectos fundamentales del presente Trabajo ya que se buscará la mejor forma y método para realizar la correspondencia de información entre la hoja de cálculo y la representación gráfica de la instalación eléctrica; siendo el objetivo ligar los distintos elementos y sus parámetros, dados en la hoja de cálculo, con los símbolos y su información adjunta dada en los diagramas unificares.

Para la representación gráfica de un diagrama unifilar eléctrico se utilizará la herramienta informática de diseño asistido por ordenador (CAD por sus siglas en inglés) AutoCAD. AutoCAD permite la representación de diferentes elementos básicos como lo puedan ser líneas, arcos, texto... Sin embargo el aspecto más importante que introduce para el presente Trabajo consiste en los **bloques**.

Estos bloques consisten en la agrupación de un conjunto de elementos gráficos básicos con una serie de características particulares y que están definidos como un solo elemento. Los bloques adquieren un gran potencial de cara a la representación continuada de un símbolo ya que permiten la definición del mismo y su almacenamiento para su posterior direccionamiento e inserción sin necesidad de tener que redibujarlo

cada vez que se necesite. Este será otro de los puntos clave sobre los que se desarrollará el Trabajo.

Hay que notar que cada uno de los diferentes componentes básicos de un bloque puede tener una naturaleza totalmente distinta a los demás. Es común encontrar bloques donde se represente un elemento y cuyas líneas tengan diferentes colores, incluyan texto, o similar. Además, los bloques incorporan elementos no gráficos propios de cada tipo de bloque, como lo pueden ser: puntos base, distancias, ángulos de rotación... Esta es una herramienta muy útil ya que permitirá adaptar gráficamente un bloque para cada una de las situaciones particulares que se pudieran dar en el dibujo de AutoCAD. Sin embargo, el aspecto determinante para el desarrollo de este trabajo que incorporan los bloques consiste en los **atributos**.

Los atributos consisten en una serie de valores/características que permiten identificar a cada bloque como único y característico respecto a los demás bloques que gráficamente pudieran resultar iguales. Esto es parte de la llamada tecnología BIM (*Building Information Modeling*, modelado de información de construcción en castellano), cada vez más empleada en el campo de la construcción ya que permite aunar tanto representación gráfica como los demás parámetros de un elemento situado en un dibujo, ya sean propiedades (mecánicas, eléctricas, ópticas...) u otros como pudieran ser los costes de producción, ejecución...

Es importante notar que cada uno de los bloques insertados con sus atributos y propiedades, se denominan entidades. Como tal, poseerán un método específico de acceso a su información, clave para poder analizar sus propiedades. Como en general un bloque no consiste en un único elemento básico, estas entidades se componen de una serie de sub-entidades que van definiendo cada uno de los elementos básicos que conforman el bloque.

Volviendo al objeto del trabajo, para cada uno de los circuitos de la instalación, se habrá de determinar los atributos que corresponden a cada uno de los bloques que lo representen; así la instalación eléctrica quedará correctamente acotada para su siguiente representación gráfica. De ahí la necesidad expuesta en apartados anteriores y posteriores de establecer una forma correcta de codificación y ordenación de la información. El siguiente paso consiste en la automatización del proceso de correspondencia entre las interfaces Excel y AutoCAD.

En el caso de la automatización de la representación gráfica de la instalación eléctrica, se desarrollará un código en el entorno de programación propio de AutoCAD, VisualLISP, cuyo lenguaje de programación es específico de AutoCAD: AutoLISP. Este código contendrá todos los algoritmos que se han identificado como necesarios para la identificación de la solución expuesta en el apartado siguiente y que se detallan en mayor profundidad en los apartados posteriores.

Para ello, se parte de un diagrama unifilar tipo expuesto en el Anexo V: Diagramas Unifilares, así como el diagrama correspondiente a la instalación eléctrica que se ha calculado y diseñado para el desarrollo del

trabajo. La representación del esquema se utilizará tomando como referencia un diagrama unifilar primeramente expuesto. El diagrama unifilar tipo aparece representado en AutoCAD mediante bloques con sus correspondientes atributos.

El diagrama unifilar que se obtiene como referencia incorpora una leyenda en el lateral donde se determinan el conjunto de bloques disponibles, así como una breve descripción de los mismos y el conjunto de atributos determinantes de cada uno de ellos. En este punto es importante notar que existen dos tipos de bloques en AutoCAD: los guardados dentro de una misma hoja y los guardados en hojas diferentes. El primer tipo de bloques permiten la definición y uso de los mismos únicamente dentro de un mismo dibujo de AutoCAD, por lo que su uso se reduce a aplicaciones puntuales que no se prevén repetir en el futuro. El segundo tipo de bloques se denominan *Bloques Dinámicos* y consisten en la definición de los mismos en un dibujo a parte guardado en una ruta específica del ordenador de forma que pueda ser accesible cuando se requiera la inserción del bloque. Este segundo tipo de bloques se usan para aplicaciones donde se hará un uso muy repetido de los mismos a lo largo del tiempo más allá de aplicaciones puntuales (o no). Finalmente, notar que un bloque puede anidar dentro de sí más bloques y con ello más atributos y entidades.

En el diagrama unifilar tipo que se tiene, los bloques son del primer tipo, por lo que surge la necesidad de cambiar su naturaleza al segundo tipo. Con ello se conseguirá un fácil direccionamiento e inserción de los mismos a la hora de realizar posteriores representaciones gráficas de diagramas unilares. Además, durante el proceso de desarrollo de la solución se encontró un problema al introducir estos bloques por teclado y era la falta de un punto base definido y estático para cada uno de ellos; este problema y otros asociados al desarrollo de la solución se han solventado añadiendo las modificaciones expuestas en el Anexo V: Diagramas Unilares.

5 IDENTIFICACION Y DESARROLLO DE LA SOLUCION

A continuación, se exponen los pasos seguidos que han permitido la identificación de la solución al problema planteado al inicio del trabajo. A lo largo del apartado se exponen los algoritmos utilizados, tanto de forma escrita en los subapartados venideros, como en forma de diagramas de flujos en el Anexo III: Diagramas de flujo. Finalmente, se proporcionará la implementación de la solución dada en código AutoLISP en el Anexo IV: Código AutoLISP. Es necesario notar que se creará una librería a parte donde se añadan las funciones principales que se utilicen en el código principal con el fin de hacerlo más legible y manejable.

5.1 Toma de datos

Como se ha comentado, para el desarrollo de la solución, se ha partido de la hoja de cálculo desarrollada en Microsoft Excel a la cual se le han añadido una serie de columnas con el objetivo de facilitar el intercambio/importación de datos, como se irá explicando a continuación. Para cada fila, donde se representa un circuito, se extraerán los datos necesarios para determinar los bloques a insertar, basados en el esquema unifilar tipo, así como los atributos necesarios para la definición unívoca de dichos bloques. Dicha información aparecerá recogida en las columnas añadidas a la hoja de cálculo principal y que han sido descritas en el apartado 0.

Para facilitar el desarrollo de la solución se ha creado una instalación eléctrica ficticia que servirá como referencia a la hora de realizar los cálculos y la posterior representación gráfica. Dicha instalación cuenta con un total de 29 circuitos, aunque se añadirán dos más por las características de representación observadas en el diagrama unifilar tipo y la decisión tomada de simplificar la solución adoptada. Esta modificación se aclara en apartados posteriores.

Importación de datos

En primer lugar se ha de conocer cómo se puede generar algún vínculo entre las dos herramientas que se emplearán durante todo el presente trabajo. Es por ello que se procederá a la comparación de los métodos

que se han ido planteando y desarrollando a lo largo del proceso de identificación de la solución¹.

En segundo lugar se tiene en cuenta que se empleará algún tipo de herramienta de importación de datos entre interfaces (Excel y AutoCAD). La importación de datos es un aspecto fundamental y el que será determinante a la hora de desarrollar el presente trabajo pues determina el tipo de objetos con el que el programa trabajará y eso puede ocasionar problemas de incompatibilidad a la hora de valorar expresiones a lo largo de la serie de estamentos que compongan el código. De igual manera, el proceso de importación de datos lleva a asociada otra componente y es la codificación de la información. La codificación de la información es un aspecto clave a la hora de desarrollar código y algoritmo ya que determina en gran parte los tiempos de acceso a la misma así como el establecimiento de patrones más o menos complicados durante el desarrollo de la tarea.

Es por ello que se procede buscar alguna función propia de AutoLISP que permita la lectura de archivos y ficheros. En el apéndice de la guía se puede encontrar un apartado donde se exponen una serie de funciones que permiten la manipulación y manejo de archivos, en concreto de los archivos .CSV

Los archivos .CSV (Valores Separados por Coma, Comma Separated Values por sus siglas en inglés) son archivos tipo texto cuyos valores vienen separados por comas. Esto aporta una gran ventaja a la hora de manejar grandes cantidades de información ya que para delimitar datos se requieren dos caracteres de control: el punto y coma “;” y el carácter de retorno de carro “\n”. Gracias a que son de tipo texto, su tamaño en cuanto a bits se refiere es muy reducido, lo que se traduce en una mayor velocidad a la hora de manejarlos.

Otra ventaja que ofrece este tipo de archivos para el caso de AutoLISP, es que una vez que se abre permite realizar varias tareas con él gracias a comandos sencillos que se incorporan el lenguaje de programación. Para leer toda la información que se precise, sólo es necesario abrirlo una sola vez e ir leyendo fila a fila y almacenando la información a lo largo de un bucle. Sin embargo, la gran problemática del problema es que la información de partida no aparece codificada en forma de archivo .CSV, ni siquiera en formato .TXT, es por ello que surge la necesidad de establecer un vínculo directo (o no) entre las dos herramientas que se manejan durante la tarea objeto del presente trabajo.

5.1.1 Creación fichero CSV

El siguiente punto de desarrollo del trabajo consiste en la creación de un archivo .txt que permita una mayor manejabilidad de la información.

¹ Nota: Para el desarrollo de la solución gráfica de este trabajo se ha utilizado el manual del desarrollador de AutoLISP que se puede encontrar en su página web (AutoLISP Developer's Guide)

1. Como primera aproximación se plantea la posibilidad de la creación manual del archivo, cuyos valores correspondan únicamente a los de interés para el desarrollo de la solución. El proceder de este método es más complicado de lo que a priori se puede pensar, siendo el proceso a seguir el siguiente:

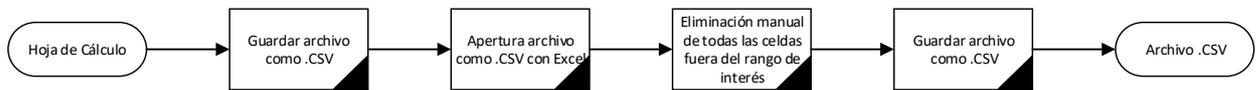


Figura 5-1. Diagrama de flujo creación CSV manual

Este método se descarta rápidamente ya que, en primer lugar es un método tedioso y en el cuál se pueden producir errores por el factor humano resultado de la repetición de la tarea. En segundo lugar, consiste en una tarea repetitiva y que da unos tiempos de ejecución relativamente elevados.

2. En segundo lugar se piensa en la incorporación de alguna rutina o macros al propio libro de Excel donde se determine el rango de la hoja de cálculo que interese para la extracción de información. Aunque la idea pueda resultar en principio atractiva introduce una salvedad y es que al tener que añadir una macro a la hoja de cálculo, se pueden derivar problemas de incompatibilidad al exportar dicha hoja de cálculo a versiones futuras por temas de actualización del lenguaje de programación. Además esto puede hacer perder algo de funcionalidad a la solución desarrollada ya que implicaría un cambio de programa y la coordinación de dos lenguajes de programación distintos, siendo posiblemente la opción no óptima. Hay que tener en cuenta que el programa ha de ejecutarse bien desde AutoCAD, bien desde Excel, teniendo que realizar ejecuciones de programas en segundo plano en el caso de desarrollar una solución conjunta para dos lenguajes de programación

Tras esta segunda aproximación, se busca una función que cree un vínculo directo entre Excel y AutoCAD desde el lenguaje AutoLISP. Existe una función gracias a la cual, dado un rango especificado, se devuelve en una lista cuyos átomos son los valores leídos ordenados. El nombre de dicha función es: *getcells()*. Esta función introduce una potencialidad y es la eliminación de programar en el lenguaje de Excel, VBA. Es siguiente paso es pues determinar cuál es la forma óptima de adquisición y discriminación de datos de la hoja de cálculo.

En un primer momento se piensa en realizar un bucle tal que recorra las filas de la hoja de cálculo que determinan la instalación para que a cada iteración la función devuelva la fila correspondiente. Tras probarlo, se puede comprobar que los tiempos de ejecución se disparan ya que para cada iteración, la función tiene que abrir el documento Excel, comprobar la validez de los argumentos pasados, almacenar el resultado y después cerrar Excel. De aquí surge la necesidad de buscar un método alternativo que permita

reducir el tiempo de toma de datos y con ello el de ejecución.

Otro método pensado es introducir como argumento de la función *getcells()* el rango completo que conforman los datos de interés de la instalación y que se devuelva todo en una única lista (vector), de manera que los datos de cada circuito estarían clasificados siguiendo un patrón cada n columnas. Así se podrían crear “sub-listas” (listas que contuvieran n elementos) representativa cada una de un circuito. Aunque se puede pensar que a partir de éstas sub-listas se puede definir perfectamente la instalación sin la necesidad de crear un archivo .CSV, esto no es así ya que al abrir el archivo Excel, se inicializa como objeto de tipo ActiveX² lo que originará incompatibilidades cuando en alguna de las sentencias del código se utilice este formato de información, resultando errores debido a la utilización de este tipo de objetos y varias sentencias utilizadas durante el desarrollo de la solución. Aunque pueda parecer un apunte sin trascendencia, sirve para justificar lo que anteriormente se ha expuesto: la necesidad vital de establecer un formato de codificación de la información correcto. Esto se pone de manifiesto al realizar toda la codificación del programa y ejecutarlo, surtiendo errores y la posterior necesidad de cambiar el bloque principal del programa donde se incluye la importación y codificación de información, afectando con ello a la gran mayoría de funciones desarrolladas. Con todo esto, se refleja la necesidad de crear un archivo .CSV de la instalación.

Este último método se aprovechará en gran parte pues el método de toma de datos será el mismo, pero cambiará al final: ejecución de la función *getcells()*; creación de una lista con el rango de interés, creación de sub-listas y el posterior almacenamiento de las mismas como cada una de las filas que compondrán el archivo .CSV. Con ello se consigue “engañar” al programa ya que aunque sea cierto que se crea un objeto tipo ActiveX, al conseguir almacenarlo como .CSV se consigue el resultado requerido.

Para la creación de las sub-listas se ha de determinar el tamaño de la matriz que se corresponde con el rango, ya que es necesario en primer lugar determinar el número n de columnas que formarán cada una de las sub-listas y en segundo lugar determinar cuántas filas se tienen de cara a la creación de un bucle que genere de forma automática el archivo .CSV. En el rango se puede observar un patrón determinado y es la separación del origen y el final del rango de interés por el carácter “:”. Gracias a este patrón y al formato nativo de Excel de representar las columnas por letras y las filas por números, se podrá establecer un criterio de lectura, determinación y discriminación a la hora de crear sub-listas. Ya que el rango de valores es un parámetro introducido por teclado por el usuario, éste resulta de tipo “cadena” (“string” en inglés) de caracteres. Gracias a esto, cada carácter está codificado por un número en código ASCII siendo posible identificar cuáles son los caracteres correspondientes a números, letras mayúsculas, letras minúsculas,

² En este Trabajo no se hablará de este tipo de objetos ya que se consideran fuera del alcance del mismo.

caracteres especiales...

ASCII	Hex	Symbol	ASCII	Hex	Symbol	ASCII	Hex	Symbol	ASCII	Hex	Symbol
0	0	NUL	16	10	DLE	32	20	(space)	48	30	0
1	1	SOH	17	11	DC1	33	21	!	49	31	1
2	2	STX	18	12	DC2	34	22	"	50	32	2
3	3	ETX	19	13	DC3	35	23	#	51	33	3
4	4	EOT	20	14	DC4	36	24	\$	52	34	4
5	5	ENQ	21	15	NAK	37	25	%	53	35	5
6	6	ACK	22	16	SYN	38	26	&	54	36	6
7	7	BEL	23	17	ETB	39	27	'	55	37	7
8	8	BS	24	18	CAN	40	28	(	56	38	8
9	9	TAB	25	19	EM	41	29	)	57	39	9
10	A	LF	26	1A	SUB	42	2A	*	58	3A	:
11	B	VT	27	1B	ESC	43	2B	+	59	3B	;
12	C	FF	28	1C	FS	44	2C	,	60	3C	<
13	D	CR	29	1D	GS	45	2D	-	61	3D	=
14	E	SO	30	1E	RS	46	2E	.	62	3E	>
15	F	SI	31	1F	US	47	2F	/	63	3F	?

ASCII	Hex	Symbol	ASCII	Hex	Symbol	ASCII	Hex	Symbol	ASCII	Hex	Symbol
64	40	@	80	50	P	96	60	`	112	70	p
65	41	A	81	51	Q	97	61	a	113	71	q
66	42	B	82	52	R	98	62	b	114	72	r
67	43	C	83	53	S	99	63	c	115	73	s
68	44	D	84	54	T	100	64	d	116	74	t
69	45	E	85	55	U	101	65	e	117	75	u
70	46	F	86	56	V	102	66	f	118	76	v
71	47	G	87	57	W	103	67	g	119	77	w
72	48	H	88	58	X	104	68	h	120	78	x
73	49	I	89	59	Y	105	69	i	121	79	y
74	4A	J	90	5A	Z	106	6A	j	122	7A	z
75	4B	K	91	5B	[	107	6B	k	123	7B	{
76	4C	L	92	5C	\	108	6C	l	124	7C	|
77	4D	M	93	5D	]	109	6D	m	125	7D	}
78	4E	N	94	5E	^	110	6E	n	126	7E	~
79	4F	O	95	5F	_	111	6F	o	127	7F	␣

Tabla 5-1. Código ASCII

No obstante, este tipo de codificación presenta otra peculiaridad y es que las columnas de Excel aparecen dadas por letras, resultando un código de 26 valores (letras del abecedario inglés), hecho a tener en cuenta a la hora de determinar de forma automática la longitud del rango. Una vez determinada esta peculiaridad se procede a la determinación automática de las dimensiones del rango. En primer lugar se convierte la cadena que el usuario introduce por teclado a código ASCII. A continuación, leyendo carácter a carácter se determina si es un número o una letra y se almacena en una variable (*inicio_l* si es una letra del inicio del rango, *fin_n* si es un número del final del rango, etc.) Para determinar el número de filas se restan los valores correspondientes a las variables que almacenan los códigos ASCII de los números y para obtener el número de columnas se ha de sumar uno a la diferencia entre los códigos en base 26 de los códigos ASCII de las

variables que almacenan las letras del rango.

Con todo esto, se procede a la creación de una lista donde cada elemento sea una sub-lista, de manera que al final dicha lista se corresponda con una matriz de valores. Para ello se empleará una función donde se pasa como argumento la lista de la cual hay que extraer la información, el índice por el cuál hay que empezar la sub-lista y finalmente la longitud de la misma. Ya que la lista no varía y la longitud es el número de columnas, queda por determinar el índice que será el número de fila por el número de columnas que contenga el rango.

Finalmente, se procede a sustituir los valores de las celdas vacías representados por el valor `nil`, que genera problemas, por el carácter vacío `""`. Con todo el trabajo anterior, se consigue la creación de un fichero `.CSV` donde cada una de las filas se corresponde con cada una de las sub-listas que existía en la matriz anterior. Es por ello que se consigue la creación correcta de un fichero `.CSV` tal que se permite su lectura sin crear incompatibilidades.

5.1.2 Lectura fichero CSV

Para poder desarrollar la solución, es necesario discernir entre valores válidos e inválidos leídos del fichero `.CSV`. Es decir, cuándo un valor leído puede constituir un dato de interés o por el contrario consiste en una línea correspondiente a una fila vacía de la hoja de cálculo, llena de caracteres vacío o simplemente que no aportan información. Por ello la herramienta se ve necesitada de un primer “filtro” que determine la validez o no del dato leído; de cara a su posterior clasificación según el tipo de dato leído. Dicho filtro se basará en el delimitador de valores que se emplea en la creación del archivo `.CSV`, el carácter `“;”`, de manera que si el primer carácter es `“;”`, la fila leída no aporta información. Una vez ha sido determinada la validez del dato leído, se procede a cambiar su formato ya que al ser leída una fila entera del archivo `.CSV`, éste dato aparece como cadena, por lo que es necesario cambiarlo a tipo lista donde cada átomo (elemento) sea una cadena. Con ello se puede obtener para cada valor leído, una lista que a su vez será un átomo de otra lista donde se almacenen los datos según los criterios expuestos a continuación.

Intuitivamente, se puede pensar que el orden en el que se debería representar el esquema de una instalación es de forma descendente, es decir, comenzando por el CGBT y terminando por las cargas finales. Sin embargo se realizará el orden inverso, coincidente con el orden seguido para el diseño de la instalación ya que se parte de unos consumos eléctricos y a partir de ahí, aplicando el método explicado en el Anexo I: Cálculo de instalaciones eléctricas, se va definiendo la instalación eléctrica de forma completa.

La justificación de la solución gráfica radica en que a la hora de representar un esquema de manera descendente se corre el riesgo de realizar redistribución de elementos en el plano debido a la posible falta de espacio por previsión. En el caso de haber escogido esta opción se podría desarrollar y realizar una

herramienta totalmente funcional, salvo con la necesidad de tener que desplazar, eliminar y reemplazar elementos de forma continua, hecho que puede derivar en desarrollos no óptimos de la solución. Es por ello que se determina representar la instalación en orden ascendente para evitar posibles problemas de falta de espacio o replanteo del diagrama

5.2 Clasificación datos leídos

Tras determinar el método por el cual se tomarán los datos de la hoja de cálculo, el siguiente paso en la resolución del problema consiste en la codificación y clasificación de los datos leídos.

La codificación de los datos se realizará mediante el empleo de sub-listas como se ha adelantado anteriormente y su orden de lectura es el especificado en la hoja de cálculo. Es importante notar que el primer átomo de cada sub-lista se corresponde con el nudo origen del circuito correspondiente de la instalación; el segundo átomo se corresponde con el nudo destino. Con estos dos valores determinados para el total de nuestros circuitos, se puede determinar cuándo un circuito se corresponde con un circuito final o por el contrario no lo es.

Un circuito es un circuito final si y sólo si su destino no se corresponde con el origen de ningún otro circuito. Es por esta razón que el tercer átomo de cada sub-lista indicará si el circuito es final o no, para ello se introducirá una columna nueva en la hoja de Excel donde se determine si dicho elemento es final o no gracias al anidamiento de funciones.

La importancia de determinar los circuitos finales reside en la necesidad de representarlos en primer lugar en el diagrama unifilar ya que ellos poseen asociadas unas tablas identificativas que proporcionan información del circuito (siguientes átomos en la sub-lista).

5.3 Representación gráfica

Una vez se han determinado los elementos que forman el conjunto de los circuitos finales, se procede a la representación gráfica de todos los bloques que permiten la definición unívoca de la instalación mediante un diagrama unifilar. Dicha representación se hará conforme a los bloques dados en el Anexo V: Diagramas Unifilares, y en base a ellos se tomarán una serie de decisiones que llevarán a la solución final del problema.

5.3.1 Representación tablas finales

En primer lugar, se tiene que cerrar el archivo .CSV abierto, de lo contrario puede generar problemas cuando en un futuro manipulemos la información; además hay que reordenar los vectores que contienen a los elementos finales y a los no finales de forma que el último átomo sea el primero, es decir, hacerles un “giro de los mismos”. El porqué de esta necesidad reside en la forma de operar que tiene la función básica

de construcción de listas, añadiendo elementos al inicio, no al final de la lista. Este hecho es importante ya que en un primer momento, tras la clasificación, se obtienen las listas del embarrado clasificadas ordenadas al contrario que en la hoja de cálculo.

Una vez hecho este apunte, se procede a la representación de los elementos finales, previa inicialización de todas las variables necesarias durante el bucle principal. La importancia de que estos elementos sean los primeros a colocar en el esquema reside en que aparecen acompañados de una tabla identificativa del circuito que representan. Así se empezará por dicho bloque y a partir de ahí se irá avanzando.

En primer lugar, se ha de determinar su punto de inserción, que resulta de la combinación de una serie de listas conformadas por los diferentes átomos del punto de inserción de la última tabla donde en la componente correspondiente a la coordenada en X, se le sumará cierta distancia, que antes de iniciar el bucle, será 0.

Con el fin de la determinación de tablas, se aislarán los datos correspondientes a la lista leída (contenedora de la información del circuito leído) que se correspondan con los atributos del bloque "tabla". Tras su representación gráfica y el relleno de forma iterativa de sus atributos, se procede a la obtención de su anchura para la posterior determinación del punto de inserción del siguiente circuito. Su obtención se consigue mediante la llamada a la sub-entidad insertada (en este caso "tabla") y de ahí se obtiene el valor de la propiedad distancia horizontal.

Además, el parámetro de la anchura de tablas que se ha obtenido previamente tiene un segundo propósito para escalar los textos que contiene. Esto surge de la necesidad de representar varios bloques "tabla" cuyos nombres de descripción del circuito son demasiado largos, por lo que al representar varios circuitos unos al lado del otro, las cadenas de texto para cada bloque se solapan, haciendo ilegible su representación. El proceso mediante el cual se ha solventado este problema se ha expuesto en el Anexo III: Diagramas de flujo. Su proceso consiste en la manipulación de entidades. A estas entidades se les va modificando las diferentes sub-entidades que las definen, creando otras nuevas con los parámetros deseados³. El formato de codificación de las entidades en AutoLISP consiste en una gran lista donde cada átomo a su vez es una lista con dos elementos: el primero consiste en un número que indica el tipo de información que representa de acuerdo a la codificación establecida en [6]; el segundo, por contra, es el valor que dicha información adopta.

Para ello se creará una función que tenga por argumento la entidad a modificar. A continuación se obtendrán las diferentes sub-entidades que cada entidad tiene asociada, para ello se implementará un

³ Nota: para la determinación de las características de las entidades y sub-entidades, así como del correcto orden, creación y manipulación de las mismas, la solución propuesta se basa en la guía de referencias DXF de AutoCAD que se puede encontrar en su página web.

bucle en el cuál se vaya descendiendo en cuanto a sub-entidades hasta llegar a la entidad deseada. Leyendo en [6] se observan qué significan cada uno de los valores, con ello se puede conseguir el valor de la semilongitud del texto que interesa para luego crear un factor de escala basado en dividir la anchura de la tabla entre el valor de la longitud del texto (siempre y cuando dicho valor no sea 0, es decir, no represente texto alguno). Un valor de escala mayor que 1 implica que la anchura es mayor que la longitud del texto, por lo que no se realizará modificación alguna. En caso contrario, se procede a la sustitución del elemento correspondiente al factor de escala denotado por 41 dentro de la sub-lista de la sub-entidad, por el valor recientemente obtenido. Finalmente se procede a la modificación de la sub-entidad y a la actualización del índice que recorre las sub-entidades. Se parará el proceso cuando se llegue a la sub-entidad que marca el fin con la cadena "SEQUEND" en el segundo elemento del primer par de datos.

5.3.2 Representación protecciones

A continuación se determinarán y representarán el conjunto de protecciones que se precisen para garantizar la seguridad y protección del circuito. Para ello se procede a la lectura de los datos leídos, y en orden, comprobar que para cada uno de los bloques que se emplean en la representación gráfica, sus valores son correctos y válidos.

Una vez realizada la lectura de los valores, se procederá a la inserción iterativa del conjunto de protecciones en forma de bloques resultando una inserción por cada paso de iteración.

Para la inserción del bloque se empleará el relleno iterativo de sus atributos en el punto de inserción previo (el mismo que el del bloque "tabla" para la primera protección) para su posterior desplazamiento vertical de valor su altura. El método que se empleará es similar al empleado con las tablas, a saber: inserción del bloque en el punto anterior, obtención del valor de su distancia vertical definida como una propiedad intrínseca tras la redefinición de los bloques anteriormente mencionada, variación de la propiedad que define su posición en el eje Y para que sea la inicial más el valor de la distancia vertical. Gracias a este método, se obtiene un desplazamiento vertical del último punto de inserción dentro de un mismo circuito que servirá para representar la unión nodal, es decir, diversos circuitos protegidos por un mismo elemento. Con esto en mente, el punto de inicio del siguiente circuito será el punto de inserción de la tabla correspondiente al circuito, más la anchura de la misma, más un pequeño margen que se le aplicará con el fin de que la representación sea algo más estética

5.3.3 Representación unión nodal

Finalmente, para los circuitos protegidos por un mismo elemento, se representará una línea de unión entre el primer y el último elemento a modo de nodo eléctrico. Esta línea se creará como una entidad donde los puntos de origen y destino de la misma serán determinados en función de los valores iniciales y finales así

como del mayor valor en el eje Y que se encuentre entre el origen y el final de la misma. Este método será implementado en una función de manera que el argumento que devuelva consista en el punto medio de la línea horizontal, que se corresponderá con el punto de inserción (o no) del elemento que protege el nodo.

Aunque esto se puede realizar con el método tradicional de inserción basada en el tecleo de comandos, debido a que la línea ha de presentar un determinado color y tener una serie de características particulares, se ha de crear una entidad línea con el color y particularidades requeridas. Para ello se empleará el método de la construcción de entidades y sub-entidades de acuerdo a la forma que tiene AutoCAD de codificar esta información.

Una vez realizado este proceso para un mismo nodo de origen, se procede a almacenar en una nueva lista, el punto de inserción del futuro nivel superior. Éste punto consiste en el devuelto por la función que implementa el algoritmo de representación de unión nodal, que consiste en el punto medio de la entidad línea. Una vez finalizado el proceso para un nodo, se continuará con el resto de circuitos hasta finalizar la representación de todos los circuitos finales.

Tras la representación de un circuito, se procede al almacenamiento del nombre del circuito origen así como de su último punto de inserción. Esto se llevará a cabo mediante la creación de una lista donde se le irán añadiendo estos elementos donde a su vez: el primer átomo consiste en el nudo de origen y el segundo átomo en una lista de dos elementos que contiene el punto de inserción último del circuito siendo el primer átomo el valor en X y el segundo el valor en Y. Dicha lista se llamará "*ptos1*". Esta codificación de la información se llevará a cabo durante todo el programa.

Es importante notar que para que este algoritmo pueda funcionar correctamente hay que desactivar la opción de las referencias gráficas de AutoCAD, ya que de lo contrario, aunque se indique un punto de inserción, AutoCAD determinará que el punto "correcto" de inserción se corresponde con otro, ya sea el más próximo, el punto medio de un lado del bloque "tabla" o similar. Por consiguiente se decide que al inicio del programa se escribirá una línea de código que desactive todas las referencias gráficas de AutoCAD.

Se ha adelantado anteriormente que para cada uno de los nodos eléctricos protegidos por un mismo elemento se representará una línea horizontal (y vertical si corresponde) que los una para formar un mismo nodo eléctrico. Para ello se ha de determinar cuándo el nodo de origen cambia. Es por ello que surge una necesidad anterior y es la de ordenar los todos elementos leídos de forma alfabética mirando el origen de los mismos. Para ello se emplearán funciones anidadas de AutoLISP. Gracias a esto, se podrá determinar el fin de un mismo nodo y el inicio de uno nuevo.

Para resolver el problema de determinar cuándo se produce un cambio de nodo hay que entender la forma

con la que se van creando las listas. En primer lugar saber, la adición de nuevos elementos a una lista mediante la función nativa de AutoLISP se lleva a cabo añadiendo el nuevo elemento al principio de la lista y no al final. Tras esto, hay que saber que se han de comparar los primeros átomos de dos elementos de la lista "*ptos1*", siendo éstos los correspondientes al nudo origen. Es por ello que cuando el elemento número "*0*" (en AutoLISP las listas empiezan por el 0) y el elemento número "*1*" sean diferentes, se habrá producido un cambio en el nodo de origen. Por ello se procede a la creación de la entidad "línea" que representa dicha unión nodal. Dicha entidad, tendrá como coordenada X inicial la correspondiente a la coordenada X del elemento número "*1*" de la lista "*ptos1*"; sin embargo, la determinación del número del componente final no es tan inmediato. Por ello se introduce la variable auxiliar "*contador*". Dicho valor en el inicio valdrá 0, pero al producirse un cambio de nodo, su valor ha de valer la longitud de circuitos protegidos por el mismo elemento, de manera que tras la primera representación gráfica su valor será el del índice "*j*" que recorre la lista de elementos finales a lo largo del bucle principal. Con ello, su valor se actualizará a cada cambio; así, el valor en X de la componente final será el correspondiente al átomo número "*j – contador*".

Aunque este método puede resultar completo en un primer momento, en caso de que existan puntos de inserción finales con diferentes coordenadas en Y se producirán problemas. Es por ello que se ha de añadir a la función la herramienta de poder crear entidades "línea" verticales desde cada uno de los puntos de inserción hasta que éstas alcancen el valor máximo en Y.

Finalmente se añade la última entidad "línea" cuando el índice "*j*" llega al valor de la longitud de la lista de elementos finales menos 1. En esta ocasión la entidad "línea" se representará desde el elemento 0 al elemento "*j – contador*".

Hay que notar que para ambos casos de representación de unión nodal se devuelve un nuevo punto de inserción cuyo primer átomo consiste en el nodo origen de los circuitos protegidos por un mismo elemento; y cuyo segundo se corresponde con el punto medio de la entidad "línea" de la unión nodal.

5.3.4 Representación de niveles superiores

Una vez han sido representados los elementos finales, el siguiente paso consistirá en la determinación de los circuitos "superiores" de la instalación eléctrica, es decir, una actualización de las listas para su posterior representación. Aunque el algoritmo que se empleará es similar, se tienen que introducir una serie de variantes.

En primer lugar, hay que notar que el concepto de elementos/circuitos finales cambia ya que si se representan directamente el conjunto de nudos que protegen a los primeros elementos finales, es posible que se cometan errores de representación. Esto es así debido a que no todos los circuitos tienen el mismo número de nodos desde su final hasta el CGBT, siendo posible que algunos tengan dos nodos intermedios

antes de llegar mientras que otros estén directamente conectados al mismo.

Por ello, hay que añadir una nueva condición a la clasificación de nodo como final y es que el número de circuitos que concatene hasta el CGBT sea máximo respecto a los otros circuitos, así se evitan posibles problemas de representación.

5.3.4.1 Actualización de valores

En primer lugar se procederá a la determinación inicial de los elementos finales que se encuentran en la lista anterior de elementos no finales con el mismo criterio que el adoptado en el apartado 5.2. A continuación se determina, elemento a elemento, el número de nodos que concatena hasta el inicio para determinar el máximo. Esto se hará con una variable que en programación se suele denominar “bandera” o “flag” en inglés, de manera que al iniciar la búsqueda se pone a 1, después se entra en el bucle y se cambia a 0. Su valor volverá a ser 1 si y sólo si, el destino del circuito analizado es el origen de algún otro circuito en la lista. En caso de que se dé esta condición, el elemento analizado pasa a ser el circuito “no inicial” que servirá de análisis, el contador se incrementa en una unidad y la bandera se vuelve a poner a 1. Esto se realizará con la función “assoc” que permite la búsqueda de un valor en el primer elemento de cada uno de los átomos que componen la lista del embarrado, eliminando un segundo bucle de búsqueda iterativo. Cuando la función “assoc” no encuentre correspondencia ninguna, la variable bandera será 0, por lo que se saldrá del bucle principal con un valor determinado en el contador. Al acabar el bucle con un elemento, se determina cuál ha sido el número de nodos que concatena hasta el final gracias a la variable contador y se compara con el máximo, si es mayor, se actualiza el máximo.

Tras esto, se realiza otro bucle similar pero esta vez, en caso de que el elemento de la lista número de nodos que concatena un elemento sea igual al máximo, se añade a la lista de elementos finales. Finalmente estos elementos se borran de la lista de elementos no finales.

En este punto se han determinado cuáles son los próximos circuitos a representar, por lo que el siguiente paso corresponde en la determinación de los puntos donde se tienen que ubicar dichos circuitos. Para ello se recurrirá a las listas “ptos1” y “ptos2” creadas anteriormente.

5.3.4.2 Representación de los circuitos

Como se introdujo anteriormente, el aspecto clave a la hora de representar las protecciones de los circuitos consiste en la determinación correcta del punto de inserción. Ya que debido a la naturaleza del trabajo siempre que se realiza una representación gráfica de un circuito, éste ha de ser final, se han de buscar los elementos en las listas de puntos que se corresponden con los finales. Para ello se crea una lista con todos destinos de la lista de elementos finales y se buscará la coincidencia para cada uno en la lista “ptos2”, el resultado de dichas coincidencias se almacenará en la lista “ptos1”. A continuación se elimina de “ptos2”

todos los elementos de *“ptos1”*. Finalmente se ordena de mayor a menor la lista *“ptos1”* para realizar una representación ordenada de los bloques.

El siguiente paso consiste en la representación gráfica de los circuitos que componen la lista *“emb_f”*, para ello se seguirá un método similar al realizado anteriormente pero guardando los puntos finales de inserción en la variable *“ptosaux”* y no en la *“ptos2”* como se hizo antes. Cuando se sale del bucle de representación, se añade a esta lista la lista *“ptos2”* con el comando *“append”*. El porqué consiste en que esta lista no contiene los puntos de inserción siguientes, si no los previos, lo que en el bucle de representación de tablas se corresponde con la lista *“ptos1”*, ya que en dicho bucle no se tenía una lista con las posiciones de inserción determinadas. Una vez obtenida la lista *“ptosaux”* se ordena en orden alfabético ascendente según su primer elemento. Con esto se consigue que los circuitos protegidos por un mismo elemento estén agrupados dentro la lista, evitando así problemas de representación en el siguiente apartado.

5.3.4.3 Unión nodal

La unión nodal ha de ser realizada con un método similar al anterior pero con una pequeña variante. Antes del bucle que recorre todos los elementos de *“ptosaux”*, se inicializan las variables *“j”* y *“pos_fl_d”* a 0. Una vez dentro del bucle, se comprueba si el elemento *“j”* es distinto al *“j + 1”*, en caso afirmativo se representa la unión nodal desde la posición *“pos_fl_d”* a la posición *“j”*, pero además introduciendo una pequeña distancia extra en la representación de las líneas verticales con el fin de que quede más estético. El punto devuelto cada vez que se ejecuta la creación de la entidad *“línea”* se añade a la lista *“ptos2”*, que posteriormente se reordena de menor a mayor según las letras.

En caso de que la longitud de *“ptos2”* sea mayor que 1, se procede a realizar otra iteración con el mismo procedimiento expuesto desde el apartado 5.3.4. Si por el contrario, la longitud de *“ptos2”* es igual a 1, se procede a la inserción del CT de la misma forma que el resto de circuitos representado, añadiendo la salvedad de que la variable de control *“fin”* que permitía el retorno al inicio del bucle, se podría a 1 y con ello se saldría del bucle. Para finalizar el programa, se procede a la liberación de memoria.

5.4 Alternativas

Una vez se ha ejecutado el script que compone el programa, se puede observar la representación final del diagrama unifilar de la instalación eléctrica que se ha utilizado de ejemplo para este caso. Éste aparece en el Anexo V: Diagramas Unifilares.

A pesar de que la solución es válida, surge un inconveniente a la hora de representar: para instalaciones eléctricas muy grandes, se producen problemas de visualización debido a la forma de abordar el problema que no se haya dotado al programa de la capacidad de reordenar según conveniencia.

Es por ello que se plantea la posibilidad de representar una instalación eléctrica de una forma diferente, como lo pueda ser una representación modular donde para cada nudo se representen los circuitos superiores. Así cabría la posibilidad de visualizar la instalación completa pero a la hora de imprimir el esquema, su partición resulta más sencilla.

Siguiendo esta línea, se puede aprovechar parte del algoritmo anteriormente expuesto, introduciendo una pequeña variación en el módulo de representación de los elementos finales, donde habría que buscar el circuito destino para cada uno de los orígenes que se presenten e ir concatenando hasta llegar al final. Este proceso es mucho más rápido y requiere menos recursos del PC, sin embargo puede plantear problemas de visualización por pérdida de magnitud.

5.5 Comparación métodos

Una vez expuestos ambos métodos, se procede a la comparación de los mismos determinando sus ventajas e inconvenientes con el fin de determinar en qué situaciones puede ser más conveniente la utilización de uno u otro.

5.5.1 Primer método

Donde se plasma la instalación entera sin ningún tipo de partición modular o similar a la hora de representar.

❖ Ventajas:

1. Permite realizar una visión global de la auténtica dimensión de la instalación, ya que aparecen los elementos de protección que la componen así como cada una de las relaciones que se establecen entre circuitos y protecciones.
2. Esta visualización permite realizar una rápida inspección de los elementos de protección, así como de sus principales magnitudes asociadas, permitiendo además detectar posibles fallos de diseño, como lo puedan ser desequilibrios entre fases, posibles fallos de selectividad si se dispone de la adecuada información...

❖ Inconvenientes:

1. Al estar pensado para que la representación se extienda a lo largo del eje horizontal sin posibilidad de reordenación, se pueden producir problemas de visualización de detalles.
2. Siguiendo esta línea, para representaciones muy grandes, este tipo de ordenación no se adapta a los formatos de impresión estandarizados, por lo que se generan problemas de impresión. Esto a su vez provoca que se tengan que realizar particiones manuales del

diagrama para salvar los problemas de impresión

5.5.2 Segundo método

Donde se realiza una partición según circuitos con el fin de una representación más modular.

❖ Ventajas

1. Al realizarse una visualización más modular, se permite una mejor visualización de los detalles de cada uno de los elementos que componen la instalación eléctrica.
2. Esta representación modular permite, a su vez, realizar impresiones más claras así como una mejor reordenación de los elementos con una mayor facilidad de cara a la posterior impresión en formatos estandarizados.

❖ Inconvenientes

1. A su vez, es posible que se pierda la perspectiva de las dimensiones de la instalación debido a la no visualización de las relaciones entre circuitos y protecciones, pudiendo incurrir en posibles desequilibrios.
2. Esto degenera en la difícil identificación de posibles fallos de diseño que provoquen la nulidad de la solución adoptada.

Se puede observar que las ventajas que se obtienen con el primer método, se pierden con el segundo y viceversa. Esto lleva a pensar que sea necesaria la introducción de alguna modificación en el código que permita la reordenación automática los elementos representados de manera que se ajuste a los formatos de impresión estandarizados.

6 CONCLUSIÓN

A continuación se exponen las conclusiones a las que se ha llegado a lo largo del proceso de identificación y desarrollo de la solución con el fin de plasmar el alcance logrado con este trabajo, sus ventajas, inconvenientes así como plantear posibles mejoras en los algoritmos y codificación.

En primer lugar se concluye respondiendo a la cuestión que sirve de objeto para el presente trabajo, afirmando que es posible realizar con herramientas sencillas el traspase de información del cálculo de una instalación eléctrica desde una hoja de cálculo hacia una representación gráfica de la misma en un programa de diseño asistido por ordenador empleando las herramientas sencillas que ofrecen estos programas ampliamente utilizados en ingeniería.

Además, gracias al desarrollo del algoritmo y su siguiente codificación se pueden encontrar una serie de ventajas e inconvenientes respecto al método tradicional de representación manual de instalaciones eléctricas:

❖ Ventajas

1. Gracias a la codificación de este algoritmo, se reducen los tiempos de ejecución de representación de diagramas unifilares de instalaciones eléctricas; cumpliendo un objetivo extra de los marcados en el trabajo.
2. Se consigue eliminar posibles fallos de representación al traspasar la información de una hoja de cálculo donde se ha diseñado la instalación, a la representación del diagrama unifilar de la misma.

❖ Inconvenientes

1. El tiempo de codificación es muy alto, por lo que el desarrollo de esta solución sólo tiene sentido cuando esta herramienta va a ser empleada asiduamente y no de forma puntual.
2. Necesidad de guardar los bloques dinámicos en una ruta específica que posteriormente ha de ser definida en el script principal para poder referenciarlos conforme avanza el programa. Esto se traduce en tener que modificar el script cada vez que bien se cambien de repositorios los bloques, bien se desee trabajar en otro ordenador diferente.
3. En caso de realizar un cambio en el número de atributos, su orden, o similar, es necesaria una modificación del código de la librería donde se especifiquen las nuevas posiciones de cada atributo en cada bloque.

Una vez expuestas las ventajas e inconvenientes, se realizan las siguientes propuestas de mejora en el código y/o algoritmo pero que quedan fuera del alcance del trabajo:

1. Modificar el código de la librería para evitar tener que redireccionar cada vez que se inserte un bloque, mediante la definición implícita de los bloques bien en un script aparte, bien a través del método de creación de entidades.
2. Estudiar la posibilidad de añadir la actualización automática del número de atributos, su orden y similar, en los bloques. Ambas propuestas tienen por fin acabar con la necesidad de modificar el código y así evitar incurrir en posibles problemas de representación.
3. Como se expuso anterior mente, se propone introducir en el código variantes que permitan reajustar las representaciones al formato de impresión que se desee. Esto acabaría con todos los problemas de visualización sin tener que incurrir en la acción de una persona externa.

7 ANEXO I: CÁLCULO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En el siguiente apartado se describirá el proceso de diseño de una instalación eléctrica de BT de forma genérica, sin importar las particularidades que presente siempre que estén recogidas dentro de la normativa vigente. Para ello se utilizarán de base los apuntes de la asignatura Instalaciones y Máquinas Eléctricas [8]. De igual manera, al final de cada apartado se introducirán apuntes que permitan relacionar este anexo con el cálculo real ejecutado en la hoja de cálculo de Excel a fin de que el presente anexo no se quede en el marco teórico.

7.1 Conceptos teóricos

7.1.1 Parámetros eléctricos de los cables

El REBT en su ITC-BT-01, define cable como el conjunto constituido por: uno o varios conductores aislados, su eventual revestimiento individual, la eventual protección del conjunto, el o los eventuales revestimientos de protección que se dispongan. Además se establece que puede tener uno o varios conductores no aislados.

Para el conductor de un cable se definen los siguientes parámetros que permiten su estudio:

Resistividad del material conductor

$$\rho \sim \left[\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \right] \quad (7-1)$$

Puede ser entendida como la propiedad de oposición inherente del material al paso de corriente a través de él. En función del valor de la resistividad se pueden encontrar diferentes tipos de materiales: conductores, semiconductores, aislantes. Su valor está asociado con la temperatura del conductor, de manera que para elementos conductores su valor aumenta con la temperatura según la ecuación:

$$\rho(\theta) = \rho_{20^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)] \quad (7-2)$$

Siendo

θ : Temperatura del conductor en $^{\circ}C$

$\rho_{20^{\circ}C}$: La resistividad del material a $20^{\circ}C$

Para materiales semiconductores, la resistividad disminuye con la temperatura. A su vez la temperatura puede ser calculada según la siguiente fórmula:

$$\theta = \theta_{amb} + (\theta_{m\acute{a}x} - \theta_{amb}) \cdot \left(\frac{I}{I_{m\acute{a}x}}\right)^2 \quad (7-3)$$

Donde:

θ_{amb} : Temperatura ambiente, tomada como $25^{\circ}C$ si se encuentra enterrado o $40^{\circ}C$ si está al aire.

$\theta_{m\acute{a}x}$: Temperatura máxima admisible del conductor en función del aislamiento; siendo $90^{\circ}C$ para aislamientos de XLPE y EPR; y $70^{\circ}C$ para aislamientos de PVC. (Valores definidos en la ITC-BT-07)

I : Intensidad prevista que atravesará el conductor

$I_{m\acute{a}x}$: Intensidad máxima admisible del conductor.

Resistencia

Consiste en la oposición que un conductor de una determinada sección y longitud ejerce contra el paso de corriente. Finalmente se puede expresar como el producto de la resistividad del material conductor por su longitud sobre su sección.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \sim [\Omega] \quad (7-4)$$

Ambas magnitudes son dependientes de la temperatura según el parámetro α . Dicho parámetro suele ser dado a $20^{\circ}C$ y su valor depende del material del conductor, al igual que la resistividad.

$$\alpha_{Cu_{20^{\circ}C}} = \frac{1}{254,5} (^{\circ}C^{-1}) \quad \alpha_{Al_{20^{\circ}C}} = \frac{1}{248} (^{\circ}C^{-1}) \quad (7-5)$$

Por simplicidad se acepta un valor de $\alpha_{20^{\circ}C} = 0.004 K^{-1}$ para ambos materiales.

En la hoja de cálculo se definirán las resistividades para cada material empleado (Cobre y Aluminio) además de sus coeficientes de variación de la temperatura α . De igual manera, se tendrá que hacer la distinción del

tipo de aislamiento. Estos parámetros permitirán calcular en un primer lugar la resistividad a la temperatura de servicio y después el valor de la resistencia a la misma; todo esto gracias al anidamiento de funciones y al uso de nombres y referencias.

Reactancia

Específico de los circuitos de corriente alterna, se puede definir como la resistencia a la corriente eléctrica que generan los efectos inductores y capacitivos de un circuito. Su valor es independiente de la temperatura, pero dependiente de la disposición de los conductores entre ellos y respecto al medio, así como dependiente de la frecuencia del circuito; así como de la frecuencia de la intensidad que atraviesa el conductor.

$$X_L = 2\pi fL \quad (7-6)$$

Donde:

X_L : es la reactancia del circuito.

f : es la frecuencia del sistema (para el caso de Europa 50Hz).

L : Inductancia del circuito cuyo valor varía en función de la disposición de los conductores.

En general para conductores de BT se permite realizar una aproximación en función de la sección de los conductores de la siguiente manera (siendo S la sección del conductor):

- $S < 120\text{mm}^2 \rightarrow X = 0$
- $S = 150\text{mm}^2 \rightarrow X = \frac{0.15 \cdot R}{n^2}$
- $S = 185\text{mm}^2 \rightarrow X = \frac{0.2 \cdot R}{n^2}$
- $S = 240\text{mm}^2 \rightarrow X = \frac{0.25 \cdot R}{n^2}$

Siendo n el número de conductores que forman el cable conductor.

Para el cálculo de la reactancia, se seguirían estos 4 puntos haciendo las referencias en las fórmulas dentro del propio circuito.

Capacidad

Desde el punto de vista eléctrico, un circuito en carga puede ser modelado como un condensador que

almacena energía y que por ello adquiere un potencial respecto a tierra. A esta propiedad se le denomina capacidad o capacitancia.

Su valor depende de la geometría de los conductores y de las disposiciones de éstos respecto al plano de tierra, pero en BT no se considerará, tampoco se introducirá en la hoja de cálculo.

Conductancia

La conductancia puede ser entendida como la capacidad de conducción de un circuito, es decir, lo opuesto a la resistencia eléctrica. Mide el valor de la característica que permite que se establezca la conducción de energía eléctrica entre el circuito y tierra. Para las aplicaciones de BT se desprecia, tampoco se introducirá en la hoja de cálculo.

Impedancia

Extensión del concepto de resistencia a los circuitos de corriente alterna. Integra dos partes: la real dada por la resistencia, y la imaginaria dada por la reactancia. A su vez se puede definir como el cociente de la tensión en los bornes de un circuito por la corriente que fluye por ellos en corriente alterna; surgiendo la llamada Ley de Ohm generalizada

$$Z = R + j \cdot X \quad (7-7)$$

$$U = Z \cdot I \quad (7-8)$$

Donde todas las magnitudes son fasores, es decir: un número complejo que representa una magnitud y un desfase respecto a un origen.

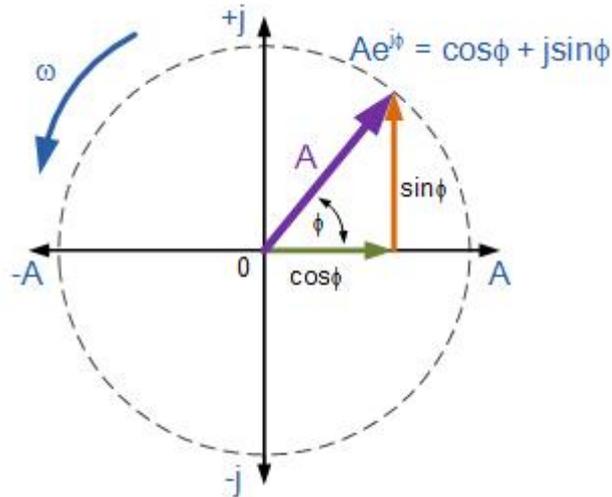


Figura 7-1. Ejemplo diagrama Fasorial

Potencia eléctrica de la instalación: cantidad de energía por unidad de tiempo que se ha de suministrar a la instalación para abastecer la demanda de las cargas eléctricas. En función del número de fases implicadas se pueden definir potencia monofásica y potencia trifásica. En la hoja de cálculo se empleará únicamente de cara al cálculo en valor absoluto de la intensidad de cortocircuito.

Potencia monofásica

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) [W] \quad (7-9)$$

P : Potencia eléctrica

U : Nivel de tensión del conductor

I : Intensidad que recorre el conductor

$\cos(\varphi)$: Factor de potencia .Se define como factor de potencia al coseno del ángulo que existe de desfase entre la tensión y la intensidad en un conductor. También es definido como el coseno del desfase entre la potencia activa y la reactiva. Se puede visualizar gráficamente mediante un denominado diagrama fasorial.

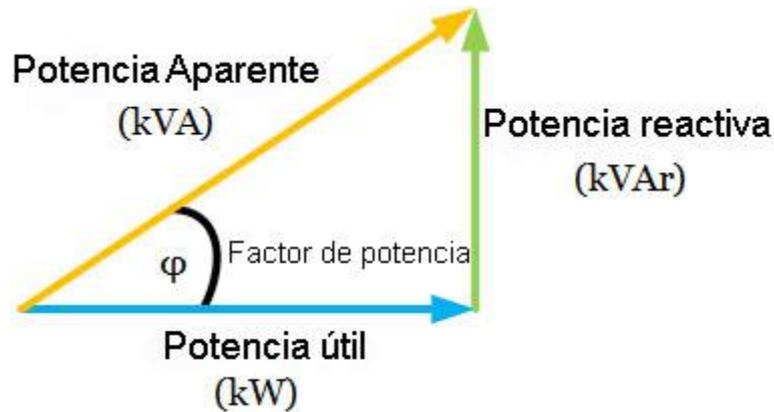


Figura 7-2. Diagrama fasorial Potencia

Potencia trifásica

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi) [W] \tag{7-10}$$

P: Potencia eléctrica trifásica

U: Tensión de línea

I: Intensidad de línea

$\cos(\varphi)$: Factor de potencia

La importancia de la potencia activa a la hora de diseñar una instalación eléctrica reside en que al combinar su fórmula con la ley Ohm, permite calcular la intensidad que recorre el conductor. Esto es así ya que en general se conoce la potencia eléctrica que demanda una carga, por ejemplo motores eléctricos.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} \tag{7-11}$$

La potencia activa será el pilar básico de la hoja de cálculo ya que en general, las cargas son caracterizadas por una potencia activa consumida. Una vez determinada, se sacará la potencia aparente, así como la intensidad consumida por la misma con la fórmula (7-11)

Potencia reactiva

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin(\varphi) [var] \tag{7-12}$$

Q: Potencia reactiva de la instalación. Esta potencia no produce un trabajo útil en instalaciones de BT

Aunque la potencia reactiva no suele ser objeto de interés en muchas de las aplicaciones de BT, es necesaria para magnetizar máquinas eléctricas. Así mismo, la potencia reactiva no se cobra para la mayoría de clientes de BT, se factura sólo a clientes acogidos a la tarifa 3.0A, y a éstos solamente si la potencia reactiva consumida es mayor a un 33% de la potencia activa. Esto se traduce en tener un factor de potencia mínimo de 0.95.

Potencia aparente: Suma fasorial de la potencia activa y reactiva que circulan a través de un circuito eléctrico según la siguiente ecuación:

$$S = P + j \cdot Q \text{ [VA]} \quad (7-13)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (7-14)$$

Es una magnitud muy importante a la hora de diseñar cualquier instalación eléctrica como se demostrará más adelante

7.1.2 Canalización eléctrica

Aunque el REBT en su ITC-BT-01 define la canalización eléctrica como el conjunto constituido por uno o varios conductores eléctricos y los elementos que aseguran su fijación y, en su caso, su protección mecánica; se puede dar la siguiente definición: conjunto de instalaciones que tienen por objeto transportar la energía eléctrica desde la cabecera de una instalación hasta los puntos de consumo con la adecuada eficiencia y seguridad impuestas por la normativa vigente [8]. La distribución eléctrica se llevará a cabo mediante cables adecuadamente aislados y casi siempre provistos por uno o más recubrimientos protectores, así como correctamente instalados. En función del nivel de tensión, se exigirán unos requisitos u otros.

Tipos de conductores en BT

Según la naturaleza de sus componentes:

- Material del conductor: cobre o aluminio
- Material de aislamiento: seco, aislamiento en aceite, aislamiento en papel impregnado
- Tipo de protección: apantallado o armado

Según el número de conductores se pueden distinguir entre cables unipolares, bipolares, tripolares, tetrapolares o multipolares.

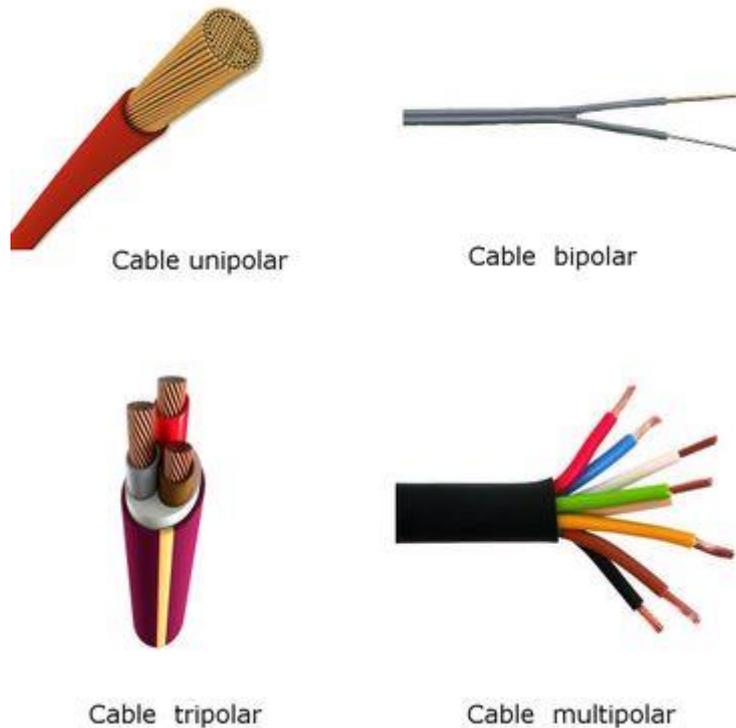


Figura 7-3. Ejemplo tipos de cables

7.1.3 Designación de los cables

Existen diferentes normas que armonizan el campo de designación de cables para instalaciones eléctricas. Sin embargo, estas normas varían en función de la tensión asignada del cable en cuestión. Ya que el objeto de estudio de este trabajo se centra en la Baja Tensión, se empleará la norma UNE 20434. En ella, a lo largo de una serie de tablas se establecen las precepciones generales por las que se rige la designación de cables con una tensión asignada máxima de 450/750V [9]. En la hoja de cálculo se introducirán una serie de tipos de cables posibles que abarquen los casos más comúnmente empleados.

7.1.4 Modos de instalación

Un aspecto muy importante para el diseño y dimensionado de una instalación eléctrica consiste en el método de instalación. El método de instalación hace referencia a todos los elementos no eléctricos que determinan la disposición de los conductores respecto a su entorno. En función del método de instalación empleado, las características y exigencias de una instalación eléctrica variarán por los motivos que se exponen a continuación.

En el REBT se encuentra una primera diferenciación entre instalaciones aéreas (ITC-BT-06) e instalaciones subterráneas (ITC-BT-07). A su vez, se puede realizar una descomposición del tipo de instalación según la disposición de los conductores con respecto a su entorno.

En el caso del presente trabajo, se emplearán los métodos de instalación para instalaciones interiores, cuya división se puede encontrar en la IC-BT-07. Una clasificación más visual se puede encontrar en la ITC-BT-19 donde se pueden encontrar hasta 9 tipos de instalaciones interiores, que son:

- A1: cables unipolares bajo tubo empotrado en pared térmicamente aislante
- A2: cables multipolares bajo tubo empotrado en pared térmicamente aislante
- B1: cables unipolares bajo tubo sobre pared
- B2: cables multipolares bajo tubo sobre pared
- C: cable unipolar o multipolar sobre pared
- D: enterrado
- E: cables multipolares sobre bandejas (perforadas, escalera)
- F: cables unipolares sobre bandejas (perforadas, escalera)
- Otros modos de instalación que se asocian a alguno de los anteriores

Estos métodos de instalación serán definidos en tablas anexas en otras hojas de cálculo dentro de un mismo libro, para después en la hoja principal, definir el método de instalación con sus peculiaridades y de forma automática, poder calcular los factores de corrección que se emplearán más adelante. La herramienta utilizada en Excel serán las fórmulas que permitan referenciar y buscar dentro de tablas.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
B		Conductores aislados en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
E		Cables multiconductores al aire libre ²⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0,3D ⁵⁾						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR	
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁶⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾	
G		Cables unipolares separados mínimo D ³⁾								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR
Cobre	mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
	4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
	6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
	10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
	16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
	25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
	35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
	50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
	70				149	160	171	188	202	224	244	321
	95				180	194	207	230	245	271	296	391
	120				208	225	240	267	284	314	348	455
	150				236	260	278	310	338	363	404	525
185				268	297	317	354	386	415	464	601	
240				315	350	374	419	455	490	552	711	
300				360	404	423	484	524	565	640	821	

- 1) A partir de 25 mm² de sección.
- 2) Incluyendo canales para instalaciones -canaletas- y conductos de sección no circular.
- 3) O en bandeja no perforada.
- 4) O en bandeja perforada.
- 5) D es el diámetro del cable.

Figura 7-4. Modos de instalación según la ITC-BT-19

El método de instalación es determinante pues en función del mismo se obtendrán los denominados factores de corrección que delimitan en parte la sección de cable necesaria para que el conductor soporte la carga para la cuál ha sido diseñado.

Esta misma tabla se introducirá en el libro de cálculo en una hoja a parte junto con otras tablas. Se les dará un nombre y serán referenciadas a la hora de realizar comparaciones para determinar si la futura intensidad de paso por el conductor es menor que la intensidad máxima.

7.1.5 Cálculo de secciones

El cálculo de la sección necesaria para que un conductor sea válido para su posterior instalación se basará en tres criterios: térmico, caída de tensión y cortocircuito.

Para el cálculo de la sección necesaria para que un conductor soporte su carga nominal, se ha de calcular en primer lugar cuál es la intensidad que en régimen permanente circulará a través del conductor. Dicha intensidad se denomina intensidad de diseño del cable I_b ; en función de la naturaleza de sus cargas su valor podrá variar según:

- Alimente a una carga: $I_b = f_a \cdot f_u \cdot I_n$
- Alimente a varias cargas: $I_b = f_s \cdot \sum_{i=0}^n f_{a_i} \cdot f_{u_i} \cdot I_{n_i}$
- Alimente a otros circuitos: $I_b = f_s \cdot \sum_{i=0}^n I_{b_i}$

Donde I_{n_i} es la intensidad nominal que atraviesa el conductor del circuito i -ésimo. A su vez, los distintos factores que aparecen multiplicando consisten en:

- Factor de arranque, $f_a (\geq 1)$: tiene en cuenta la mayor corriente absorbida por la carga durante el arranque.
 - Motores $f_A = 1.25$ del motor de mayor potencia
 - Lámparas de descarga $f_a = 1.8$
- Factor de utilización, $f_u (\leq 1)$: consiste en la relación entre la corriente máxima permanente que absorbe una carga eléctrica en un emplazamiento y su corriente nominal
- Factor de simultaneidad, $f_s (\leq 1)$: relación entre la totalidad de la potencia instalada o prevista, para un conjunto de instalaciones o de máquinas, durante un período de tiempo determinado, y las sumas de las potencias máximas absorbidas individualmente por las instalaciones o por las máquinas.

Todos estos factores se introducirán de forma automática en la hoja de cálculo mediante la comparación del tipo de carga y la siguiente referenciación a un nombre que contenga el factor de corrección requerido.

7.1.5.1 Criterio térmico

Este criterio tiene por objeto determinar la sección mínima necesaria para que el conductor no sufra esfuerzos de sobrecalentamiento durante su operación. Para ello se ha de verificar que la intensidad de diseño de cable es menor que la intensidad máxima admisible del cable en régimen permanente. Se entiende por intensidad máxima admisible en condiciones de instalación (I_z) máxima intensidad que atraviesa el conductor sin que haga que el aislamiento se sobrecaliente. Este valor puede ser encontrado en la Tabla 4 de la ITC-BT-07 para conductores de aluminio; y en la Tabla 5 para conductores de cobre. En

el pide de la misma se pueden leer las condiciones de instalación para la cual dichas intensidades han sido calculadas.

Numéricamente se puede obtener la intensidad máxima admisible mínima necesaria para la aplicación:

$$I_b \leq I_z = I_{z0} \cdot \prod f_{ci} \rightarrow I_{z0} \geq I_{z0min} = \frac{I_b}{\prod f_{ci}} \quad (7-15)$$

Siendo f_{ci} el factor de corrección i-ésimo del conductor. Los factores de corrección consisten en una serie de números que permiten pasar de una condición particular de instalación a una general. En las tablas 4 y 5 se han calculado las intensidades para un método de instalación determinado. Es por ello que para corregir la diferencia respecto a otra instalación, dichos valores son multiplicados por los factores de corrección.

Estos factores de corrección pueden hacer referencia a:

- Modo de instalación:
- Temperatura ambiente
- Temperatura del terreno
- Resistividad del terreno
- Método de Agrupamiento

El valor de dichos factores puede ser encontrado a lo largo de la ITC-BT-07 o en la norma UNE-HD 60364 que anula a la anterior norma: UNE 20460. Estos valores se encontrarán en tablas anexas que permitirán ser referenciadas y buscar en ellas para el cálculo del factor de corrección. De igual manera el cálculo de la temperatura final del cable se hará de acuerdo a la fórmula (7-3). Finalmente, en caso de que la temperatura del cable sea mayor que el límite marcado por el tipo de material que es, se activará la validación de datos de Excel que pondrá en negrita y color rojo dicho número, alertando de que el cable está mal diseñado.

7.1.5.2 Criterio de caída de tensión

Con el fin de asegurar una calidad de suministro eléctrico a los clientes se define, entre otros parámetros a controlar, la máxima caída de tensión permitida en cada uno de los tramos que componen una instalación eléctrica.

Se define caída de tensión como la diferencia porcentual de tensión entre dos puntos eléctricos, ésta es debida a la naturaleza no ideal de los conductores que ocasionan pérdidas en el transporte de energía. Así pues, para mayores secciones encontraremos menores caídas de tensión asociadas, según la fórmula (7-4

) y (7-8).

Dichos valores quedan establecidos en las ITC-BT-14, ITC-BT-15 e ITC-BT-19. A modo aclarativo se puede encontrar la siguiente figura resumen.

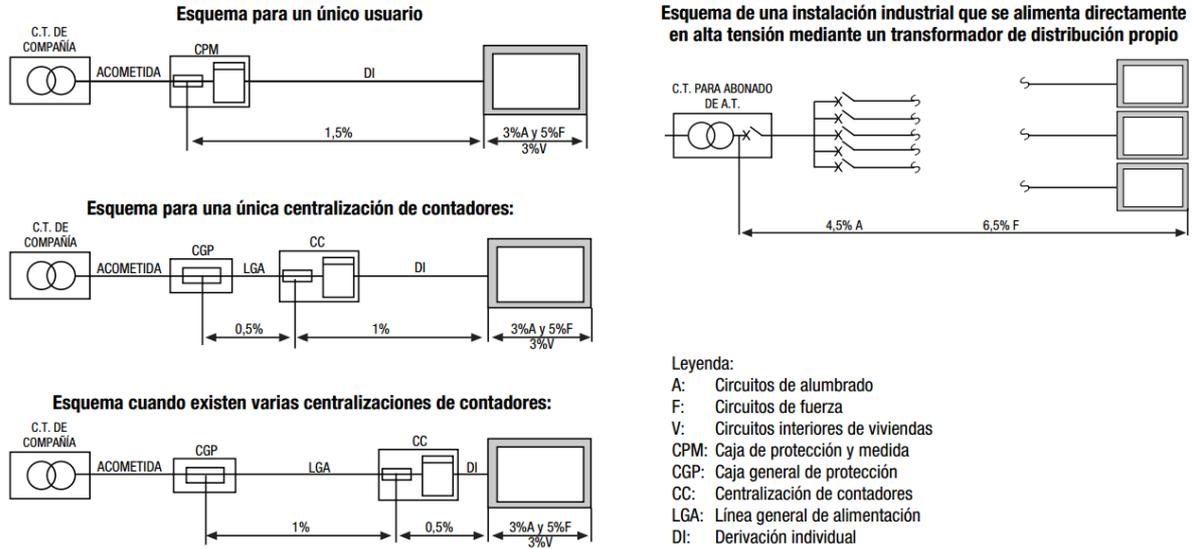


Figura 7-5. Esquema caídas de tensión para abonados

El cálculo de la caída de tensión en un circuito se llevará a cabo mediante el modelo del circuito de parámetros concentrados. Para ello se han de conocer los parámetros del cable, más concretamente su resistencia y su reactancia, así como la intensidad nominal que circulará por el conductor. Finalmente se ha de conocer el factor de potencia y el número de fases implicadas, es decir, si el circuito es monofásico o trifásico.

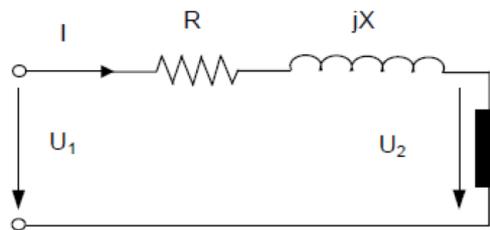


Figura 7-6. Modelo tipo de una línea eléctrica

Cualquier circuito receptor puede ser modelado como se muestra en la Figura 7-6. En ella, el emisor consiste en el extremo de la tensión U_1 y el extremo receptor queda representado por la tensión U_2 . Su diagrama fasorial queda entonces representado por la siguiente figura

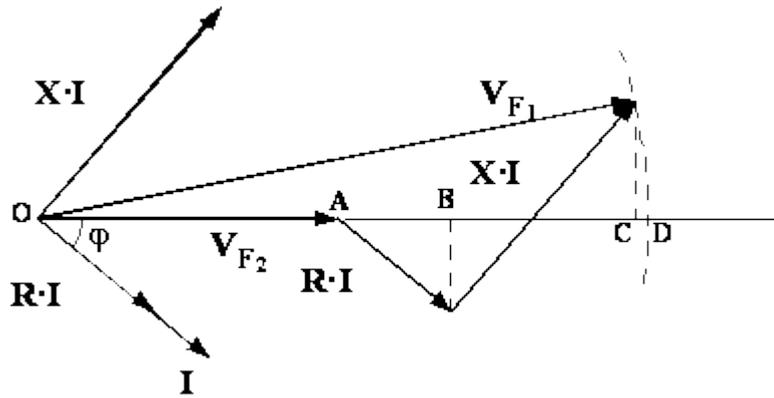


Figura 7-7. Diagrama fasorial caída de tensión

Se define caída de tensión como:

$$\Delta U = U_{12} = U_1 - U_2 \approx R \cdot I \cdot \cos(\varphi) + X \cdot I \cdot \sin(\varphi) \quad (7-16)$$

Para generalizar, los parámetros eléctricos se suelen dar por unidad de longitud, quedando la ecuación:

$$\Delta U = U_{12} = U_1 - U_2 \approx I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) \quad (7-17)$$

Monofásica

Una línea monofásica necesita de un cable de ida y otro de vuelta, por lo que su circuito equivalente queda:

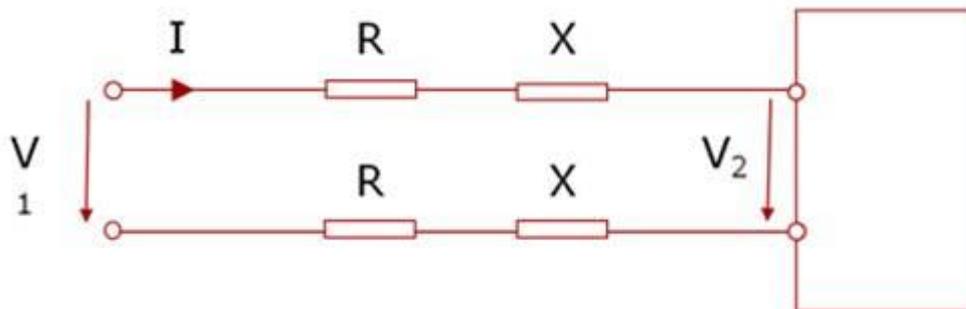


Figura 7-8. Modelo línea monofásica

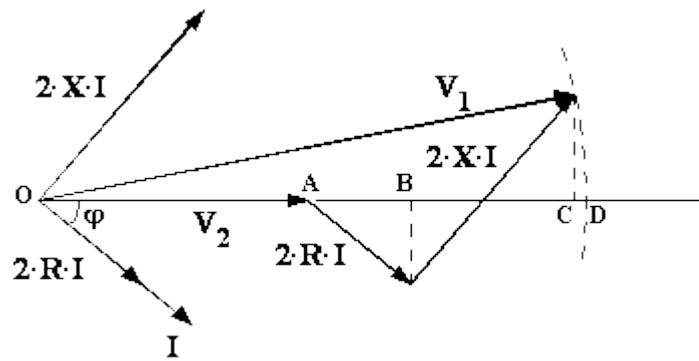


Figura 7-9. Diagrama caída de tensión línea monofásica

$$\Delta U = U_{12} = U_1 - U_2 \approx 2 \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) \tag{7-18}$$

Introduciendo la ecuación (7-9) en la (7-18) se obtiene:

$$\Delta U = 2 \cdot \frac{P}{U_1} \cdot (R + X \cdot \tan(\varphi)) \tag{7-19}$$

Trifásica

Para la caída de tensión trifásica se emplean el siguiente esquema y diagrama equivalente monofásico

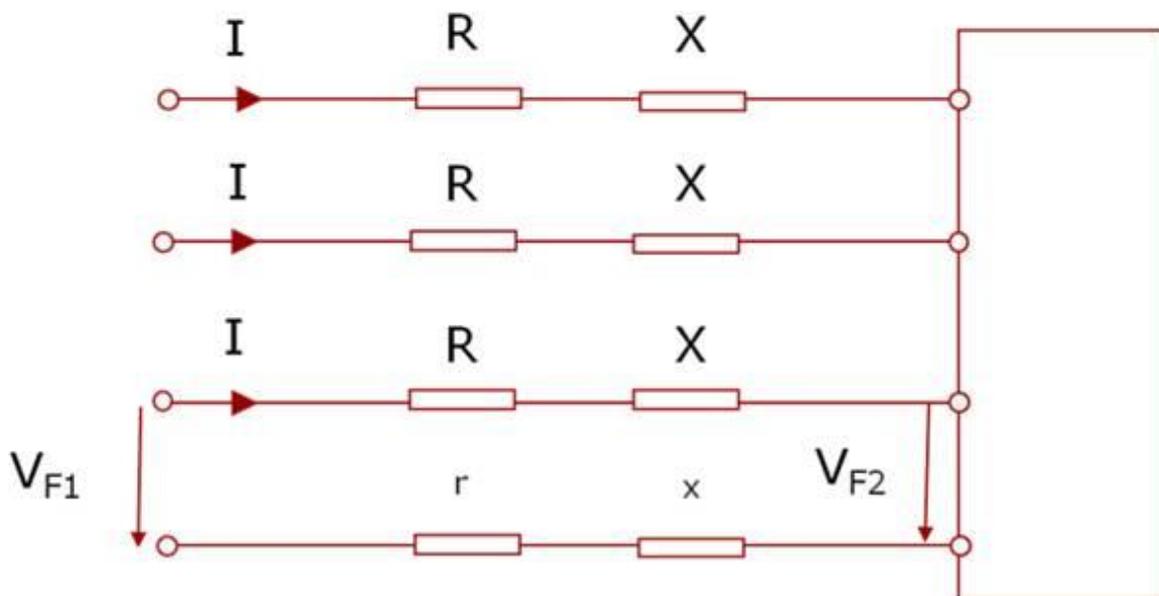


Figura 7-10. Modelo línea trifásica

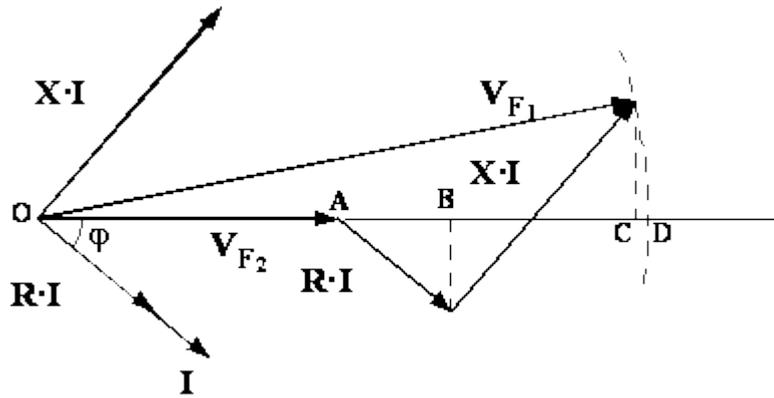


Figura 7-11. Diagrama caída de tensión línea trifásica

$$\Delta U = U_{12} = U_1 - U_2 \approx \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) \quad (7-20)$$

Introduciendo la ecuación (7-10) en la (7-20) se obtiene la fórmula:

$$\Delta U = \frac{P}{U_1} \cdot (R + X \cdot \tan(\varphi)) \quad (7-21)$$

Quedando la relación entre caída de tensión monofásica y trifásica

$$\Delta U_T = \frac{\sqrt{3}}{2} \Delta U_M \quad (7-22)$$

En la Guía-BT-Anexo 2 se pueden encontrar los valores de caídas de tensión unitarias por unidad de amperio circulante y por kilómetro de longitud del cable. Éstos valores están dados para tres factores de potencia distintos, tres temperaturas de servicio de los conductores y según su sección. Estas tablas suelen proporcionadas además por los fabricantes de cables. Su fórmula queda:

$$\Delta U = U_{12} = \sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r \cdot \cos(\varphi) + x \cdot \sin(\varphi)) = I \cdot l \cdot \Delta u_{\cos(\varphi)} \quad (7-23)$$

Para el cálculo de la caída de tensión, es necesaria la distinción entre circuitos monofásicos y trifásicos, para lo cual se introducirá una fórmula "SI" donde para el caso monofásico se introduzca la fórmula (7-19) y para el caso trifásico la (7-22); amabas con una pequeña peculiaridad y es que en la hoja de cálculo no se calculan resistencias, si no resistividades y reactancias por sección y por unidad de longitud. Es por ello que se introducirá los dos datos multiplicando y dividiendo para cuadrar las unidades a las que existen en las formulas mencionadas. De igual manera, se dividirá de nuevo entre la tensión se multiplicará por 100 con el fin de que el valor quede en tanto por ciento.

Además, se añadirá en la columna contigua el valor de la caída de tensión acumulada, y anexa a esta el valor de la caída de tensión permitida en función del uso que se dé (de forma automática analizando los

circuitos mediante fórmulas). Finalmente se introducirá la validación de datos para que avise en caso de que la caída de tensión es mayor que la permitida.

Determinación de los parámetros del cable a partir de la tabla de caídas de tensión

Es común encontrar en los catálogos de los fabricantes los valores de la tensión unitaria para factores de potencia unidad y de valor 0.8. Gracias a esto se puede establecer un sistema de ecuaciones de dos ecuaciones con dos incógnitas a saber:

$$\Delta u_1 = \sqrt{3} \cdot (r(\theta_{m\acute{a}x}) \cdot 1 + x \cdot 0) \quad (7-24)$$

Reordenando:
$$r(\theta_{m\acute{a}x}) = \frac{\Delta u_1}{\sqrt{3}} \left[\frac{\Omega}{km} \right] \quad (7-25)$$

$$\Delta u_{0.8} = \sqrt{3} \cdot (r(\theta_{m\acute{a}x}) \cdot 0.8 + x \cdot 0.6) \quad (7-26)$$

Introduciendo (7-25) en (7-26) y reordenando:

$$x = \frac{\frac{\Delta u_{0.8}}{\sqrt{3}} - 0.8 \cdot r(\theta_{m\acute{a}x})}{0.6} \left[\frac{\Omega}{km} \right] \quad (7-27)$$

Siendo los valores de $\theta_{m\acute{a}x}$ establecidos en la ITC-BT-07:

$$\theta_{m\acute{a}x} = 70 \text{ } ^\circ\text{C (PVC)} \quad (7-28)$$

$$\theta_{m\acute{a}x} = 90 \text{ } ^\circ\text{C (XLPE y EPR)} \quad (7-29)$$

Caída de tensión a Tramos

Así, también se puede definir la caída de tensión para diversos tramos donde la caída de tensión entre dos puntos consiste en la suma de las caídas de tensión de cada tramo que forma el circuito completo entre los dos puntos de estudio.

$$\Delta U = \Delta U_{T1} + \Delta U_{T2} + \dots + \Delta U_{Tn} \quad (7-30)$$

De igual manera se define la caída de tensión porcentual en relación a la tensión nominal de la instalación

$$\frac{\Delta U}{U_n} (\%) = 100 \cdot \left(\frac{\Delta U_{T1}}{U_n} + \dots + \frac{\Delta U_{Tn}}{U_n} \right) \quad (7-31)$$

7.1.5.3 Criterio de cortocircuito

El criterio de cortocircuito tiene por objeto determinar la sección mínima que permite que el cable aguante corrientes de cortocircuito durante un tiempo determinado sin que arda el mismo. Para ello han de estudiarse los diferentes cortocircuitos que pueden tener lugar en una instalación eléctrica.

En el caso de baja tensión, se tendrán en cuenta los casos donde la intensidad de cortocircuito sea máxima y mínima para la posterior determinación de las protecciones correspondientes. Para ello se realizará el cálculo de la resistencia del circuito a diferentes temperaturas, así como de la reactancia.

El valor de la intensidad de cortocircuito mínimo se calculará con la impedancia máxima que puede alcanzar el circuito, esto es, cuando la resistencia alcanza su valor máximo a la temperatura máxima que depende del tipo de material empleado en su instalación.

El valor de la intensidad de cortocircuito máximo se calculará con la impedancia mínima que alcanza el circuito en condiciones normales de explotación, es decir, cuando la resistencia alcanza su valor mínimo a la temperatura de 20°C

Tras el cálculo de las impedancias, se procede con la concatenación de los tramos para el estudio del circuito deseado. Para ello es necesario calcular la reactancia equivalente de la red, así como la reactancia de cortocircuito del transformador.

Cálculo impedancia de cortocircuito

A la hora de realizar la conexión de una instalación a la red eléctrica, la compañía distribuidora debe suministrar la información de la potencia de cortocircuito en el punto de conexión. Dicha potencia de cortocircuito puede ser definida como la cantidad de energía por unidad de tiempo que entraría a la instalación eléctrica en caso de cortocircuito.

Así con esta definición se puede definir la reactancia de cortocircuito equivalente de la red como:

$$X_{red} = \frac{U^2}{S_{cc}} \quad (7-32)$$

De igual manera, se ha de añadir la impedancia de cortocircuito del transformador. Dicha impedancia suele venir dada en valores de por unidad de potencia. Por ello el valor de la reactancia de cortocircuito viene dada por:

$$X_{ccTrafo} = \frac{\varepsilon_{cc}(\%)}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{cc}} \quad (7-33)$$

Siendo:

ε_{cc} (%): Tensión de cortocircuito del transformador.

U : Tensión de línea de la instalación.

S_{cc} : Potencia de cortocircuito en el punto de conexión.

A partir de aquí, se aplica un procedimiento similar al de caída de tensión, sumando reactancias y resistencias de cortocircuitos de los cables para obtener la impedancia total utilizada para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en el tramo estudiado.

$$I_{cc} = \frac{U^2}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}} \quad (7-34)$$

Siendo:

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito en el tramo estudiado.

U : Tensión de línea de la instalación.

R_{cc} : Resistencia equivalente del tramo estudiado.

X_{cc} : Reactancia equivalente del tramo estudiado.

Para el cálculo de estas magnitudes se introducen estas fórmulas de forma explícita en las columnas de Excel. Para el cálculo de intensidad de cortocircuito se emplean las resistencias y reactancias acumuladas hasta ese punto, hecho que se consigue empleando las fórmulas "BUSCARV", "INDICE", "SI" etc. Gracias a esto se calculará la intensidad de cortocircuito de cara al diseño de aparamenta.

7.1.6 Aparamenta

Según el REBT en su ITC-BT-01 se define aparamenta como: equipo aparato o material previsto para ser conectado a un circuito eléctrico con el fin de asegurar una o varias de las siguientes funciones: protección, control, seccionamiento y conexión. Con este fin, se realizan una serie de definiciones para comprender el criterio de selección de las mismas. Han sido extraídas de la ITC-BT-01

- Tensión nominal valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y, para los que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento. Para los sistemas trifásicos se considera como tal la tensión compuesta
- Intensidad nominal: intensidad térmica signada. Máxima corriente que en régimen permanente puede pasar a través de los contactos de una protección en estado de cerrado sin provocar calentamiento excesivo ni averías en el aparato.

- Valor asignado: valor de una magnitud fijada para su funcionamiento especificado
- Tensión de aislamiento asignada: valor máximo entre fases de tensión eficaz para la que el materia está especificado
- Intensidad prevista: valor de la intensidad cuando cada polo del aparato es sustituido por un conductor de impedancia despreciable
- Poder de corte: valor eficaz de la intensidad prevista que un aparato es capaz de interrumpir bajo una tensión dada y en las condiciones previstas de empleo y funcionamiento.
- Poder de cierre de un dispositivo: intensidad de corriente que dicho dispositivo es capaz de cortar, bajo una tensión de restablecimiento determinada, y en las condiciones prescritas de funcionamiento.
- Intensidad límite térmica: máxima corriente que un conductor soporta durante 1 segundo sin calentamiento excesivo
- Intensidad dinámica: valor pico de la intensidad que puede soportar el dispositivo a efectos de esfuerzos electrodinámicos

La selección de los equipos ha de hacerse en función de la corriente que circulará en condiciones normales y anormales de funcionamiento; así como el valor de la corriente que puede conectar/desconectar. Este último punto es especialmente importante ya que durante la conexión/desconexión de un circuito en carga se produce lo que se denomina arco eléctrico. Dicho arco eléctrico consiste en gas ionizado (plasma) de tal manera que permite la conducción de electricidad a través del aire.

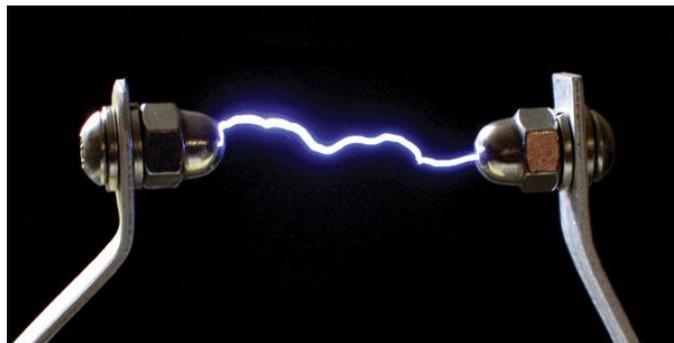


Figura 7-12. Arco eléctrico

Dicho arco eléctrico implica una elevación de la temperatura del gas que envuelve la protección hasta valores del entorno de los $8000^{\circ}C$ en algunas ocasiones. Al servir este arco eléctrico como puente de unión para la conducción de energía eléctrica entre los dos contactos de la protección, se producen grandes esfuerzos térmicos y mecánicos ocasionados por el arco.

La extinción del arco se da cuando la intensidad circulante a través de él pasa por 0. En grandes enlaces de

corriente continua supone un gran problema debido a que su forma no es sinusoidal como en el caso de la corriente alterna.

Para los sistemas de corriente alterna, durante el proceso de cierre el arco se extingue por sí solo, debido a la aproximación de los contactos. Durante la maniobra de apertura, el arco se mantiene hasta que la corriente realiza su primer paso por 0 (si la diferencia de potencial entre los contactos es muy grande, cabe la posibilidad de la reaparición de arco eléctrico). Este proceso es crítico ya que si los esfuerzos térmicos y mecánicos que origina el arco son mayores que el poder de corte de la protección, al calentarse demasiado los contactos y realizar la aproximación de los mismos, pueden llegar a soldarse, quedando la protección totalmente inutilizada.



Figura 7-13. Aparata quemada

7.1.7 Tipos de protecciones

7.1.7.1 Interruptores automáticos

Dispositivo capaz de establecer, mantener e interrumpir las intensidades de corriente de servicio, o de establecer e interrumpir automáticamente, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito. Realizan la función de protección y maniobra. Constan de dos partes, una parte magnética que protege frente a cortocircuitos (basada en la ley de Lorentz) y otra parte térmica que protege frente a sobrecargas y calentamientos según las características térmicas de los metales que conforman la protección

Los parámetros principales de los interruptores automáticos son: el número de polos (bipolares, tripolares, tetrapolares), frecuencia de la corriente (50Hz, 60Hz, continua), tensiones asignadas, intensidades

asignadas y poderes de corte.

-Poder de corte último asignado (I_{cu}): tras el ensayo debe soportar la intensidad nominal pero no se garantiza funcionamiento correcto en cortocircuito.

-Poder de corte en servicio asignado (I_{cs}): tras el ensayo el interruptor debe quedar en perfectas condiciones.

Escoger $I_{cu} > I_{ccp}$ significa escoger el más barato y con menor número de actuaciones. Escoger $I_{cs} > I_{ccp}$ significa escoger un interruptor más caro debido al mayor número de actuaciones, mayor fiabilidad y continuidad de servicio proporcionadas; se unas en casos de máxima seguridad de suministro.

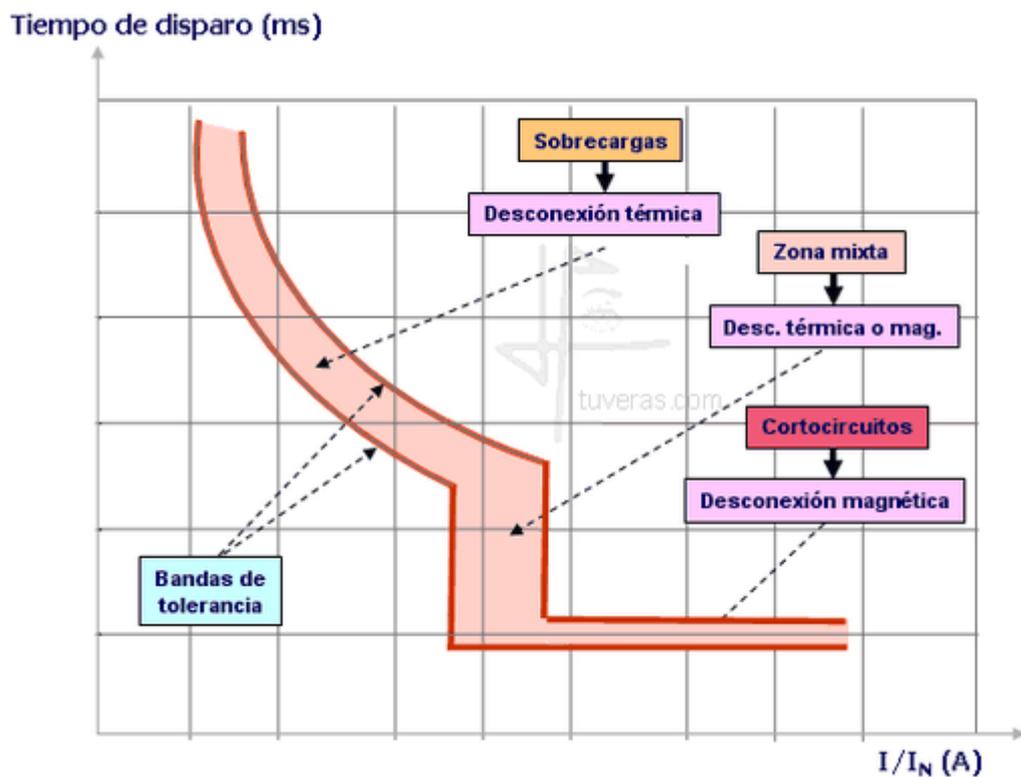


Figura 7-14. Curva interruptor magnetotérmico

-Energía pasante: valor de la integral $\int_0^t I^2 dt$ durante el tiempo de fusión total. Permite medir el tiempo máximo que una protección puede soportar una intensidad circulante

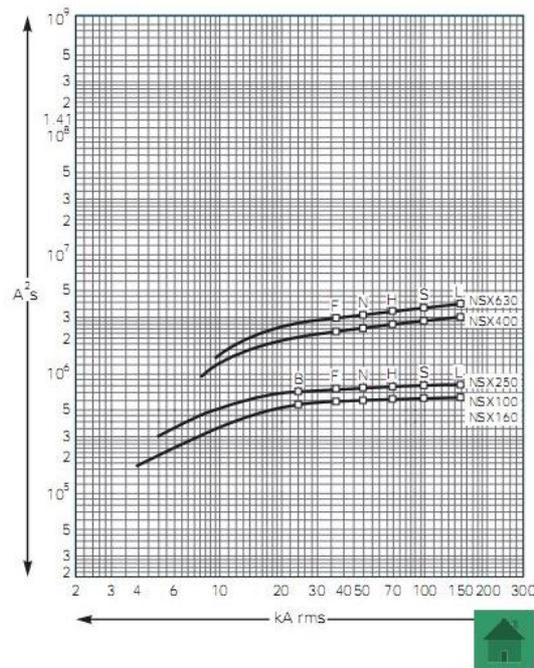


Figura 7-15. Ejemplo curvas energía pasante

Esto mismo puede ser definido para la máxima intensidad pico que puede circular a través de un conductor

7.1.7.2 Fusible

Conductor calibrado hasta cierta intensidad a partir de la cual se funde. Es ampliamente utilizado en todos los niveles de tensión ya que es simple, fiable y económico. La elección óptima del fusible se basa en:

- *Tiempo de prearco*: tiempo que necesita una corriente para fundir el fusible. Es independiente de la tensión de la red
- *Tiempo de arco*: tiempo entre la aparición del arco eléctrico y su extinción total. Depende de la tensión de red pero para tiempos totales $> 40ms$, es indiferente respecto al tiempo de prearco
- *Tiempo de fusión total*: suma de los tiempos de prearco y tiempo de arco
- *Poder de corte*: valor de la corriente de cortocircuito prevista que el fusible es capaz de interrumpir con una determinada tensión
- *Energía pasante*: valor de la integral $\int_0^t I^2 dt$ durante el tiempo de fusión total.

La elección del fusible se suele hacer de forma gráfica en tablas similares a las que se puede ser a continuación

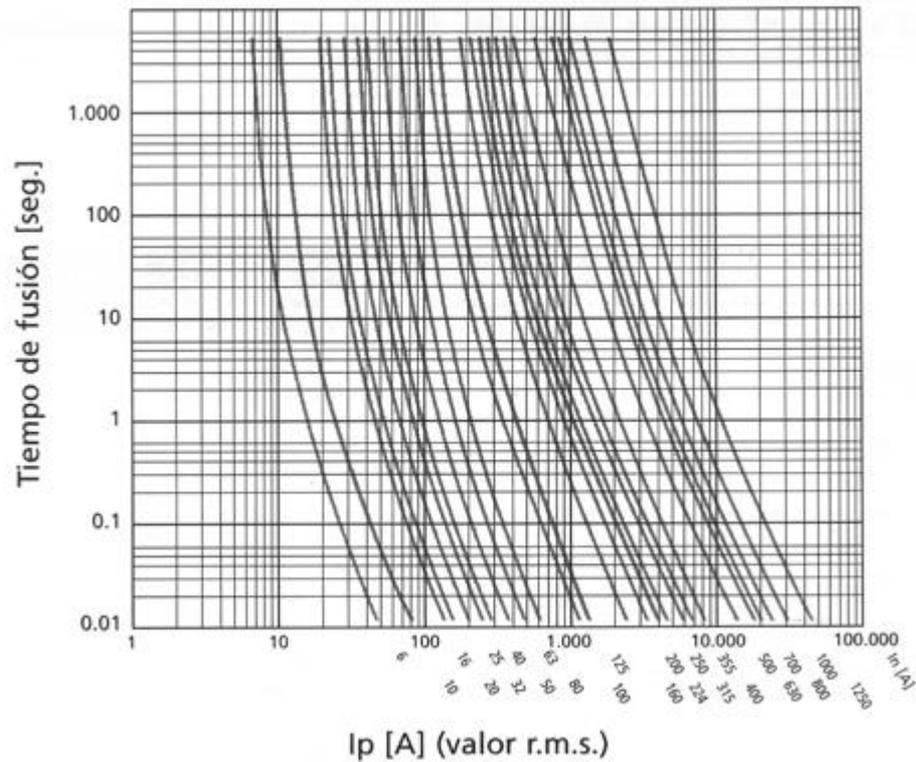


Figura 7-16. Curvas fusibles

En ellas, para una intensidad de cortocircuito dada como múltiplo de la intensidad nominal, y una intensidad de pico, se pueden ver los tiempos de fusión del fusible en función de su calibre. El criterio de elección será tal que su tiempo de fusión sea menor que el tiempo máximo que el conductor puede soportar la intensidad de cortocircuito.

Los fusibles se suelen usar para proteger frente a cortocircuitos debido a su alto poder de ruptura. De igual manera, son preferidos en ocasiones a los interruptores automáticos por su reducido coste y volumen; sin embargo, la gran desventaja que poseen es que no permiten la realización de maniobras. Así mismo, en ocasiones permiten la protección frente a sobrecargas donde la sobrecarga es muy pequeña y se prolonga mucho en el tiempo. Este tipo de protección no es muy empleado ya que suelen tardar horas en fundir, poniendo en riesgo la integridad de los circuitos.

7.1.7.3 Contactores

Consiste en un aparato de maniobra accionado eléctricamente y que permite realizar un número muy elevado de maniobras con mucha frecuencia. Su funcionamiento (basado en un relé) consiste en un circuito magnético que excita un electroimán y con ello mover unos contactos auxiliares que permiten cambiar el estado del mismo mientras sea pulsado.

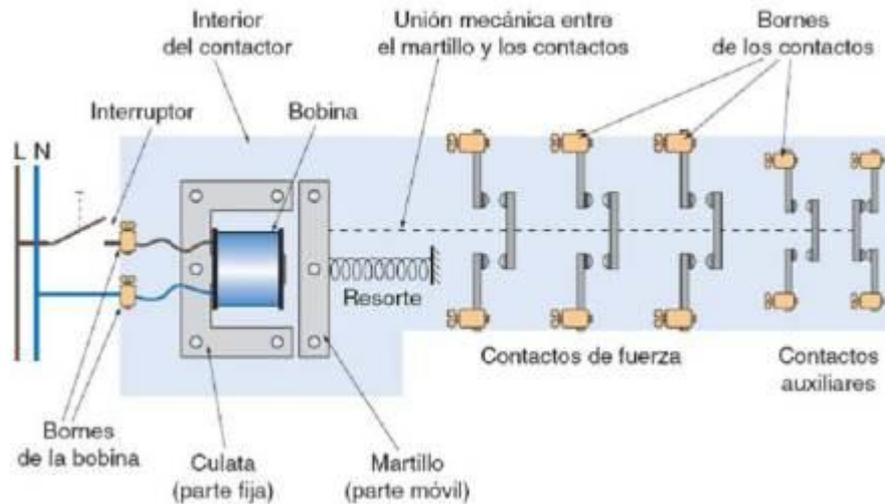


Figura 7-17. Esquema funcionamiento contactor

Son usados para el accionamiento de motores eléctricos y automatismos gracias a su implementabilidad en sistemas a modo de sensores, como por ejemplo finales de carrera. Se pueden encontrar dos tipos de Contactores: con contacto normalmente abierto (cierra el circuito al pulsar) y con contacto normalmente cerrado (abre el circuito al pulsar).

7.1.7.4 Interruptores y relés diferenciales

Con un funcionamiento similar al del contactor, su accionamiento se produce cuando detecta una corriente de fuga desde fase o neutro a masa. Sirven para proteger a las personas contra contactos indirectos, es decir, contactos de personas con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo en el aislamiento de los conductores. No protegen frente a sobrecargas o cortocircuitos.

La diferencia entre un relé diferencial y un interruptor es que el relé tiene la finalidad de habilitar el disparo, mientras que el interruptor tiene la función de apertura del circuito una vez el disparo ha sido habilitado.

mismo:

- Alta sensibilidad $I_{\Delta N} \leq 30mA$ (10 o 30mA)
- Baja sensibilidad $I_{\Delta N} > 30mA$ (100 o 500mA, $\geq 1A$)

7.1.7.5 Protección frente a sobreintensidades

Sobreintensidad: toda corriente superior a un valor asignado. En los conductores, el valor asignado es la corriente admisible.

Estas sobreintensidades tienen dos posibles orígenes:

Sobrecarga: sobreintensidad que se produce en un circuito sano como consecuencia de una demanda de potencia excesiva respecto a su nominal. Reduce la vida útil de los conductores.

Cortocircuito: sobreintensidad generada por un defecto de aislamiento de impedancia despreciable.

7.1.7.5.1 Protección frente a sobrecargas

Según su naturaleza, se distinguen entre dos tipos de sobrecargas:

Sobrecargas previsibles: ocasionadas por transitorios dados durante el arranque de motores o momentáneos picos de demanda. Durante estas sobrecargas no deben actuar las protecciones.

Sobrecargas no previsibles: averías en cargas, sobreutilización de la instalación o las cargas. Aquí deben actuar las protecciones.

Fundamentos de protección

Según el REBT, se necesitará de dispositivos de protección frente a sobrecargas en todos los puntos donde se produzca una reducción de la intensidad admisible (cambio de sección, sistema de instalación, de condiciones ambientales, de la naturaleza del conductor), pudiéndose prescribir de los mismos si un dispositivo aguas arriba garantiza la protección.

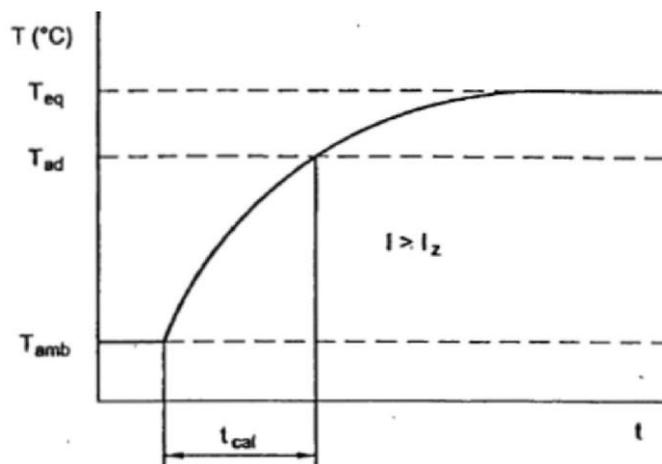


Figura 7-20. Tiempo de actuación en función de la temperatura.

Un circuito está bien protegido siempre y cuando el tiempo de actuación de la protección sea menor que el tiempo que tarda el mismo en alcanzar la temperatura máxima de calentamiento del conductor.

Para la determinación del tiempo de actuación se usan curvas de características de disparo de las protecciones como las mostradas a continuación.

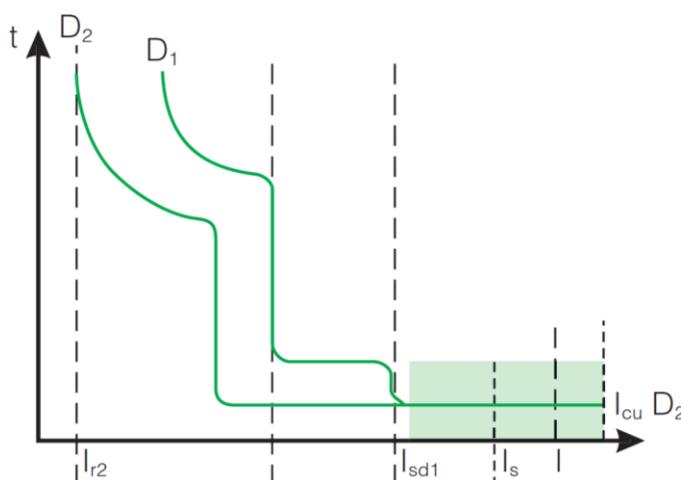


Figura 7-21. Curvas actuación protección sobrecargas

Los dispositivos utilizados para la protección frente a sobrecargas son: interruptores automáticos con disparadores térmicos, interruptores automáticos con relés térmicos, interruptores magnetotérmicos (más comunes), contactor asociado con relé térmico, fusibles.

Como se puede prever, el principio de actuación ante sobrecargas consiste en la imagen térmica. Es decir, en hacer circular intensidad a través de una pletina metálica de manera que una corriente circulante elevada provoca la deformación térmica del material. En función del tipo de protección, se pueden encontrar protecciones que provoquen contacto o que por el contrario lo abran.

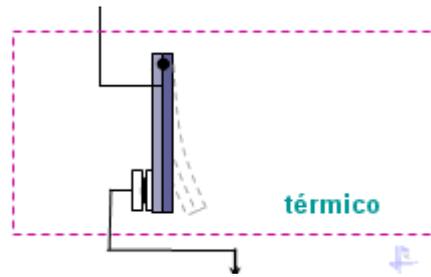


Figura 7-22. Ejemplo disparo térmico.

7.1.7.5.2 Selección del dispositivo

Según la norma UNE-HD 60364 las características de funcionamiento de un dispositivo que protege un cable contra sobrecargas deben satisfacer las siguientes condiciones

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (7-35)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \quad (7-36)$$

Siendo I_n la intensidad nominal de la protección, e I_2 la intensidad efectiva asegurada en funcionamiento en el tiempo convencional del dispositivo de protección. Según el tipo de protección, I_2 adopta diferentes valores:

$$I_2 \begin{cases} 1.3 \cdot I_r \rightarrow \text{Interruptores automáticos} & 0.7I_n < I_r < I_n \\ 1.45 \cdot I_n \rightarrow \text{Interruptores magnetotérmicos} \\ 1.6 \cdot I_n \rightarrow \text{Fusibles} \end{cases}$$

En caso de que la protección no pueda asegurar el cumplimiento de las desigualdades, se deberá considerar la elección de un cable con una sección superior.

El valor de I_n coincide con el valor de la protección térmica estándar de los conductores y está estandarizado por la mayoría de los fabricantes. Sus valores representativos son mostrados en la siguiente tabla:

Intensidades Calibre Magnetotérmicos			
6	32	125	800
10	40	160	1250
16	63	250	1600
20	80	400	2000
25	100	630	4000

Tabla 7-1. Intensidades Calibre Interruptores magnetotérmicos.

7.1.7.5.3 Protección frente a cortocircuitos

Los cortocircuitos son sobreintensidades originadas por fallos puntuales de aislamiento, defectos en las cargas o defectos en la conexión o instalación. Producen grandes efectos térmicos que provocan

dilataciones y calentamientos que pueden derivar en incendios si la protección no funciona correctamente. Así, se producen efectos electrodinámicos, las grandes intensidades de cortocircuito generan grandes fuerzas magnéticas con origen eléctrico que pueden poner en peligro la instalación. Por todo ello, los dispositivos deben actuar antes de que los conductores y las conexiones de los mismos sufran cualquier daño.

Selección dispositivo

Criterio del poder de corte

El tiempo de actuación debe ser inferior al tiempo que el conductor soporte a la temperatura máxima admisible una vez se ha llegado a la misma.

$$PdC > I_{cc}^{m\acute{a}x} \quad (7-37)$$

Siendo el poder de corte, según la ITC-BT-01, la intensidad de corriente que el dispositivo es capaz de cortar, bajo una tensión de restablecimiento determinada, y en las condiciones prescritas de funcionamiento.

Este criterio es el utilizado para proteger mediante fusibles gracias a las curvas que proporcionan los fabricantes.

Protección con interruptor automático o magnetotérmico

Este tipo de protecciones se basan en el denominado “disparo magnético”. Dicho disparo magnético consiste en la aplicación de la Ley de Faraday según la cual, al circular una corriente variante en el tiempo a través de un conductor arrollado, se induce una fuerza magnetomotriz. El interruptor está calibrado de tal manera que se arrolla el conductor sobre un material ferromagnético, de manera que cuando se produce un cortocircuito, al producirse un incremento de intensidad muy grande, se induce una fuerza electromotriz a través del conductor tal que hace que el material ferromagnético entre en contacto con la pletina y corte el circuito.

PROTECCIÓN MAGNÉTICA DEL MAGNETOTÉRMICO

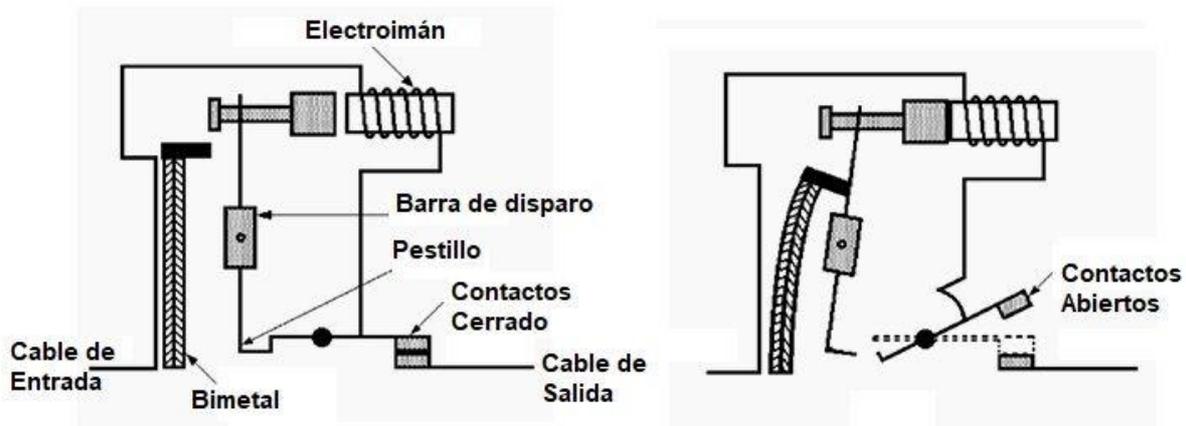


Figura 7-23. Funcionamiento parte magnética del magnetotérmico.

Se han de cumplir las siguientes desigualdades, verificables con las curvas de energía pasante del dispositivo de protección.

$$P = R \cdot I^2 \quad E = P \cdot \Delta T = (R \cdot I^2 \cdot \Delta T) \rightarrow \begin{cases} (I_{cc}^{m\acute{a}x})^2 \cdot t < k^2 \cdot S^2 \\ (I_{cc}^{m\grave{i}n})^2 \cdot t < k^2 \cdot S^2 \end{cases} \quad (7-38)$$

Siendo

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito que debe interrumpir la aparata.

S : Sección del conductor en mm^2 .

k : Constante que depende del conductor y su aislamiento. Su valor viene recogido en la norma UNE-HD 60364-5-54.

7.2 Aplicación de conceptos teóricos a un caso tipo

A continuación se irán explicando de nuevo algunos conceptos a la vez que se exponen los procedimientos empleados a un caso práctico.

7.2.1 Potencias e intensidades de cortocircuito

Este valor es el nombrado en apartados anteriores y es de vital importancia de cara al correcto funcionamiento de la aparata así como lograr que su vida útil sea la óptima. En la hoja de cálculo no se calcula directamente el valor mínimo de potencia de cortocircuito necesaria para garantizar el correcto funcionamiento de la protección; si no que se hace en función de la intensidad de cortocircuito calculada. Esto es, dicho valor se convierte a un número entero y después se divide entre 1000 para pasar de amperios

a kiloamperios, a continuación se busca el primer valor mayor que éste en una tabla localizada en la hoja “I_Automaticos” para finalmente obtener su número de fila y obtener el valor que esté a su lado.

Esta tabla contiene los valores de poder de corte que han de tener los dispositivos. A continuación se adjunta la tabla:

I _{cc} (kA)	P _{cc} (kA)
0	10
11	15
16	25
26	36
37	50
51	70
71	100
101	125
125	125

Tabla 7-2. Intensidades de cortocircuito y poder de corte asociado.

Se emplearán los datos generales proporcionados por la norma IEC 60076-5:2000(E) para calcular la potencia de cortocircuito en cada uno de los puntos de la instalación. Para ello se ha de tomar una potencia de cortocircuito dado por la compañía distribuidora en el punto de conexión a red.

Así mismo se emplean los valores la potencia de los transformadores, la potencia de cortocircuito y la caída de tensión. Se desprecian los términos resistivos de las impedancias frente a los reactivos en los cálculos de cortocircuito, permaneciendo de este modo en el lado de la seguridad.

A continuación se detallan dos métodos de cálculo para las intensidades de cortocircuito, sobre los mismos es de señalar que en la hoja de cálculo se ha aplicado el basado en los valores absolutos. Su impedancia e intensidad de cortocircuito del lado del secundario se calcularán por lo tanto como:

$$X_{ccred} = \frac{U_s^2}{S_{cc}} \quad (7-39)$$

$$I_{ccred} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot X_{red}} \quad (7-40)$$

Cuadro General de Baja Tensión

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se tendrá en cuenta lo siguiente:

- La impedancia de cortocircuito de cada transformador será un dato obtenido de las tablas

normalizadas que se tomará como impedancia pura para permanecer de lado de la seguridad.

- Si hay transformadores que se conectan en paralelo, lo que corresponde a una impedancia de cortocircuito resultante de la mitad del valor de un solo transformador y al doble de intensidad de cortocircuito.
- Se despreciarán los términos resistivos de las impedancias frente a los reactivos en los cálculos de cortocircuito, permaneciendo de este modo en el lado de la seguridad. Como dato para el cálculo se ha empleado la tensión de cortocircuito:

$$U_{cc\text{transF}_1}(\%) = \frac{Z_{\text{transF}_1} \cdot 100 \cdot S_{\text{transF}_1}}{U_s^2} \quad (7-41)$$

$$I_{cc\text{secundario}} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{red}} + X_{\text{transf}})} \quad (7-42)$$

- Para el cálculo en por unidad se trabajará con los valores nominales de tensión en baja y de potencia del transformador. A partir de estos valores tenemos el resto de parámetros base:

$$S_{\text{base}} = U_{\text{base}} \cdot I_{\text{base}} \rightarrow I_{\text{base}} \rightarrow Z_{\text{base}} = \frac{U_{\text{base}}}{I_{\text{base}}} \quad (7-43)$$

La impedancia de cortocircuito de la red por unidad viene dada por:

$$Z_{\text{red pu}} = \frac{S_{\text{base}}}{S_{\text{cc}}} \quad (7-44)$$

Se va a considerar el modelo equivalente de la red como una inductancia pura, de manera que Z_{red} pasa a ser X_{red} .

La impedancia por unidad de un transformador es (considerándolo también como una inductancia pura):

$$X_{\text{trafo pu}} = \frac{\epsilon_{\text{cc}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{base}}}{S_{\text{trafo}}} \quad (7-45)$$

Sumando impedancias de transformador y red se tiene el modelo equivalente visto desde el lado del CGBT (en baja tensión), y la intensidad de cortocircuito en dicho embarrado será:

$$I_{cc\text{pu}} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)}{X_{\text{trafo pu}} + X_{\text{red pu}}} \quad (7-46)$$

Para obtener el valor real hay que multiplicar por la intensidad base:

$$I_{cc} = I_{ccpu} \cdot I_{base} \text{ [A]} \quad (7-47)$$

La reactancia total de cortocircuito se obtiene igualmente:

$$X_{total} = X_{totalpu} \cdot Z_{base} \text{ [\Omega]} \quad (7-48)$$

Cuadros secundarios

Los cuadros secundarios estarán siempre alimentados por cables. Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se utilizarán los datos de impedancia de los cables y de la red. La impedancia del cable se obtiene multiplicando el valor unitario correspondiente a la sección utilizada por la longitud del cable hasta el cuadro.

Para considerar el caso más desfavorable (cortocircuito trifásico simétrico en el embarrado del cuadro secundario) se divide la impedancia del cable simple por el número de cables en paralelo que compongan el circuito.

Una vez sumadas las resistencias y reactancias desde la red hasta el cuadro, la intensidad de cortocircuito vendrá dada por:

$$I_{cc} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(R_{suma})^2 + (X_{suma})^2}} \quad (7-49)$$

Donde se ha operado previamente para obtener los valores en por unidad dividiendo la resistencia y la inductancia por Z_{base} . Finalmente para obtener la intensidad en valor absoluto aplicamos la expresión (7-47):

7.2.2 Determinación de las características de la instalación

Se van a determinar las características que según lo indicado en la norma UNE 60364, se han de cumplir para instalaciones interiores con el fin de cumplir la ITC-BT-19.

7.2.2.1 Potencia de alimentación y factores de simultaneidad

La potencia total de la instalación viene reflejada en la hoja de cálculo, resultado de sumar todas las potencias individuales de los equipos aplicando convenientemente factores de simultaneidad. Éstos han sido determinados con el siguiente criterio:

- Equipos de proceso: 1.
- Iluminación: 1.
- Tomas de fuerza: a mano.
- Equipos específicos: 1.
- Sistemas de alimentación ininterrumpida: 1.

7.2.2.2 Sistema de distribución y puesta a tierra

Para la distribución se utilizará trifásica o monofásica en función de la potencia de las cargas y su cuadro. En general se distribuirá con la(s) fase(s), el neutro y el conductor de protección.

7.2.2.3 Alimentación

Para el caso resuelto en la hoja de cálculo, el centro de transformación se alimentará desde una subestación exterior. Siendo el valor de la potencia de cortocircuito el dado por la Compañía Distribuidora.

7.2.2.4 División de las instalaciones

La instalación se ha dividido en varios circuitos para limitar las consecuencias de defectos y facilitar el ensayo y mantenimiento, según el artículo 16.2 del REBT.

7.2.2.5 Selectividad

En el diseño de las instalaciones eléctricas es necesario dimensionar las protecciones de forma que la actuación de las mismas se produzca de forma selectiva, es decir, ante un fallo de la instalación la protección que se debe activar es la que se encuentra más próxima al fallo, la que protege directamente el circuito afectado, ante un fallo de ésta debería actuar la primera situada “aguas arriba” de la instalación y así sucesivamente.

Hay dos aspectos claros donde el concepto de selectividad es importante:

1. La selección de las curvas y tiempos de disparo, en los interruptores magnetotérmicos, y la intensidad de defecto y los tiempos de disparo en los interruptores diferenciales.
2. El otro aspecto es tomar las medidas oportunas para que los equipos no interfieran eléctricamente entre sí, especialmente en lo que se refiere al arranque de motores y los armónicos creados por la utilización de dispositivos electrónicos de potencia. Entre estas medidas están:
 - El arranque de grandes motores se realizará con arrancadores electrónicos, de manera que la intensidad absorbida esté dentro de los límites que marca el REBT, ITC-BT-47.6 (Tabla 1).

- Los armónicos introducidos por los arrancadores de estado sólido serán filtrados mediante bobinas cuyos valores serán determinados a partir de las recomendaciones del fabricante del arrancador.
- Se evitará en lo posible el arranque simultáneo de varios equipos (motores, circuitos iluminación, etc). Cuando el arranque esté controlado por un PLC, se programará un arranque secuencial apropiado.

7.2.3 Dimensionado de los cables

7.2.3.1 Consideraciones generales para el cálculo de la sección

Para calcular las secciones de los conductores de fase se tiene en cuenta intensidades máximas admisibles, caída de tensión y capacidad de soportar intensidades de cortocircuito, de manera que todos estos valores estén dentro de los límites que impone el Reglamento y las normas UNE. Concretamente para intensidades máximas admisibles se siguen las normas de la ITC-BT-07 para iluminación exterior y UNE 60364-5-523 para instalaciones interiores o receptoras.

Para las caídas de tensión rigen la ITC-BT-09.3 para iluminación exterior y la ITC-BT-19 para instalaciones interiores o receptoras. Para la corriente de cortocircuito que debe aguantar el cable se seguirá la ITC-BT-07 y UNE 60364-5-523 para iluminación exterior.

En general se van a instalar cables unipolares de cobre, con una sección mínima de 2,5 mm², salvo para los conductores del alumbrado de emergencias que será de 1,5 mm². El aislamiento será de 0,6/1 kV para los cables de fuerza de equipos grandes y alimentación de cuadros, y de 750 V para iluminación y tomas de fuerza de poca potencia.

7.2.3.2 Sección del conductor neutro

Circuitos trifásicos

Según la ITC-BT-19, se determina que la sección del neutro será la misma que la de los conductores de fase. Cabe la posibilidad de emplear secciones menores si se justifica mediante una serie de cálculos las corrientes armónicas debido a cargas no lineales y desequilibrios; hecho que no se contempla en la hoja de cálculo.

Circuitos monofásicos

La distribución se hará en este caso con tres conductores (fase, neutro y conductor de protección). Los conductores de fase y neutro tendrán la misma sección, mientras que el conductor de protección tendrá una sección mínima determinada como a continuación se expone.

7.2.3.3 Sección del conductor de protección

A continuación se pueden encontrar dos formas de cálculo de la sección del conductor de protección:

- Para los circuitos protegidos contra corrientes de defecto a tierra se utilizará el método de cálculo expuesto en la norma HD 60364-5-54.:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad (7-50)$$

Siendo esta ecuación la resultante de despejar la sección en la ecuación (7-38). El valor de la intensidad de defecto a tierra se obtiene sumando las resistencias de las puestas a tierra de protección y de servicio, despreciando la resistencia de los cables de protección y permaneciendo de este modo en el lado de la seguridad. Si la sección calculada es menor de 2,5 mm² se tomará este valor para el cable PE.

- Si el circuito no está protegido contra los defectos a tierra, se utilizará la tabla 2 de la ITC-BT-18 que relaciona la sección de los conductores de fase con la de protección:
 1. Para conductores de fase igual o menores de 16 mm² el conductor de protección tendrá la misma sección que los de fase, ya que discurrirán por la misma canalización.
 2. Si los conductores de fase tienen entre 16 y 35 mm² (inclusive) la sección de la protección será de 16 mm². Para conductores de fase mayores, la sección del conductor de protección será la mitad de aquellos, o bien la sección normalizada inmediatamente superior.
 3. Si la sección calculada no está normalizada, se redondeará a la siguiente mayor sección normalizada.

7.2.3.4 Intensidad máxima admisible en régimen permanente

Estas intensidades se regirán por lo indicado en la norma UNE 60364-5-523 y su Anexo Nacional, según manda la ITC-BT-19, excepto para el alumbrado exterior que seguirá la ITC-BT-07.

Condiciones de instalación

Las tablas de dicha norma, que proporcionan las intensidades admisibles en función de la sección y material del conductor, y del material del aislamiento, están referidas a una temperatura estándar de 40°C y unas condiciones de instalación dadas. Para otras condiciones se aplicarán unos factores de corrección que también están normalizados. Dichos factores no tienen en cuenta la radiación solar o radiaciones infrarrojas, cuyos efectos deberán calcularse según la norma UNE 21144, que no se tendrá en cuenta la hoja de cálculo.

Todas las tablas y factores de corrección están implementados en la hoja de cálculo, dando como resultado la intensidad máxima admisible por el cable en régimen permanente para cada tipo de instalación definido, que deberá ser mayor que la intensidad de circulación en régimen permanente. Un caso particular es la instalación de alumbrado exterior, cuyas intensidades admisibles vienen dadas por las tablas de las ITC-BT-06 y 07, además de otras restricciones como la prohibición de usar conductores de aluminio.

Si un circuito atraviesa por distintas condiciones de instalación, se tomará la mínima de las intensidades admisibles como la máxima intensidad que permite el cable.

Cables en paralelo

Cuando debido a la elevada intensidad a transportar se prevean líneas constituidas por dos o más ternos conectados en paralelo, se aplicará un factor de corrección de 0,9 en la intensidad admisible para compensar posibles desequilibrios en los cables conectados a la misma fase, como recomienda la UNE 211435. Este desequilibrio puede ser debido a las diferentes inductancias que tienen los cables por la asimetría en su trazado y conexiones, sobre todo si son de pequeña longitud y gran sección.

Intensidad demandada por los receptores. Previsión y equilibrado de cargas.

Las intensidades de cálculo de los distintos receptores dependen de la potencia activa, del factor de potencia y de la naturaleza del receptor. En general se va a suponer un factor de potencia común de 0,85.

Siguiendo la recomendación de la ITC-BT-19 se procurará el equilibrado de las cargas entre las tres fases.

Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga deben venir compensadas para un factor de potencia de 0,9 o mejor según la ITC-BT-44; sin embargo para calcular el cable de alimentación se supondrá una potencia aparente igual a 1,8 veces la potencia activa de la lámpara, lo que equivale a un factor de potencia de 0,556. Con este valor el Reglamento permite no tener que calcular los consumos de los equipos auxiliares y sus corrientes de arranque.

Motores

En la alimentación de los motores se considerará una intensidad del 125% de la nominal a plena carga para el motor de mayor consumo, más la intensidad nominal del resto de motores alimentados por el mismo cable, según la ITC-BT-47. Este factor viene incluido en la hoja de cálculo.

Dependiendo del ciclo de trabajo de los motores, puede ser necesario tener en cuenta la intensidad de arranque en el calentamiento del cable. El Reglamento en la ITC-BT-47 limita la relación entre la intensidad de arranque y la nominal de los motores en función de su potencia, en caso de que otros receptores puedan verse afectados. Como intensidad de arranque nominal se entiende en motores de elevación (grúas, cintas

transportadoras, ascensores...) la que corresponde a la plena carga multiplicada por el coeficiente de seguridad 1,3.

Condensadores

Las baterías de condensadores que se instalen se considerarán cargas cuyo factor de potencia será la unidad. Con el fin de tener en cuenta los armónicos y transitorios, los aparatos de mando y protección deberán soportar en régimen permanente de 1,5 a 1,8 veces el valor de la intensidad nominal.

7.2.3.5 Energía máxima admisible por el cable en cortocircuito

La ITC-BT-06, establece una relación entre las características del cable y la intensidad y duración del cortocircuito. Aunque esta prescripción no se aplica a las instalaciones interiores o receptoras, se procura en la medida de lo posible proteger el cable en caso de cortocircuito mientras actúan los dispositivos de corte automático. En el caso de la iluminación exterior sí hay que hacer la comprobación de energía admisible, ya que su alimentación se rige por la ITC-BT-06.

El objetivo es que la temperatura del aislamiento en contacto con el conductor no alcance una temperatura que deteriore dicho aislamiento, y que para XLPE y EPR es de 250°C, mientras que para aislamientos de PVC es de 160°C.

El peligro de los cortocircuitos es que, aunque el tiempo de actuación de las protecciones es muy pequeño (del orden de milisegundos) las grandes intensidades de cortocircuito calientan el conductor rápidamente. Tanto que puede alcanzar una temperatura tal que dañe el aislamiento en contacto con el cobre, lo que mermaría su rigidez dieléctrica y mecánica, pudiendo llegar a soldar.

Para la protección de los cables frente a cortocircuitos hay que comprobar que la integral de Joule $\int i^2 dt$ del cable es superior a la de disparo de la protección magnética o por fusible. Dicho de otra forma: la energía que deja pasar el magnetotérmico antes de interrumpir la corriente debe ser menor que la energía que puede soportar el cable, dadas la intensidad de cortocircuito y el tiempo de actuación de la protección, y suponiendo calentamiento adiabático del cable. Esto último se justifica porque la conductividad térmica del aislamiento es mala, la superficie de emisión de calor pequeña y el tiempo de despeje de la falta del orden de milisegundos.

Planteando el balance de energía se obtiene que $I^2 t = C \Delta T S^2$, donde I es la intensidad de cortocircuito (A), t el tiempo de despeje de la falta (s), C una constante que depende del material, ΔT el aumento de temperatura admisible (90°C para aislamientos de PVC, 160°C para XLPE y EPR) y S la sección del conductor (mm²). Los aumentos de temperatura parten de una temperatura del conductor máxima en régimen permanente de 70°C y 90°C respectivamente para PVC y XLPE/EPR, y una temperatura máxima de

cortocircuito (a despejar en menos de 5 segundos) de 160°C y 250°C respectivamente. Estos valores provienen de la tabla 2 de la ITC-BT-07.

Para cables de cobre con aislamiento XLPE o EPR el producto $C\Delta T$ vale 20473. Si el aislamiento fuese de PVC, esta constante valdría 13225. Sustituyendo y despejando t se obtiene el tiempo máximo de actuación de las protecciones para evitar que se dañe el cable en caso de cortocircuito. La intensidad de cortocircuito ha de tomarse en el cuadro origen del cable, punto más desfavorable por ser nula la impedancia debida al cable, que disminuiría la intensidad.

En caso de que no se cumpla esta condición se puede jugar con cuatro variables:

- Aumentar la sección del cable para que tenga mayor capacidad de absorción de calor.
- Sustituir un aislamiento tipo PVC por otro XLPE o EPR, más resistentes térmicamente.
- Instalar una protección aguas arriba que interrumpa la corriente en menos tiempo, bien con fusibles rápidos o mediante interruptores automáticos especiales.

La solución óptima será la que, cumpliendo todos los requisitos de fiabilidad y protección del cable, tenga un menor coste.

7.2.3.6 Caída de tensión

Para las caídas se han utilizado las fórmulas ya vistas al principio de este Anexo, aplicadas según sean los circuitos monofásicos o trifásicos.

En la ITC-BT-19 se permite una caída del 4,5% para alumbrado y del 6,5% para los demás usos, siempre que la instalación industrial tenga su propio transformador de distribución AT-BT. En este caso la caída se mide desde la salida del transformador, origen de la instalación de baja tensión.

El otro límite ya conocido del 3% y 5% para alumbrado y otros usos sería de aplicación si el suministro fuese directamente en baja tensión.

En lo posible se va a intentar mantener estas últimas caídas para un mejor funcionamiento de los aparatos receptores sensibles a las variaciones de tensión, como los equipos de regulación de las lámparas de descarga.

7.2.4 Dimensionado de las protecciones

7.2.4.1 Protección contra sobrecargas permanentes

Para la protección frente a sobrecargas permanentes se utilizarán interruptores magnetotérmicos tarados de manera que protejan el cable en las condiciones de instalación dadas, según los coeficientes correctores que prescribe el REBT, y con una curva adecuada al tipo de receptor que alimenta el cable.

7.2.4.2 Protección contra cortocircuitos

Se utilizarán interruptores magnetotérmicos debidamente calibrados. Para ello se seleccionará la curva de operación que determina además el valor de la intensidad de disparo magnético, cuya elección depende del tipo de carga que alimenta. Según la ITC-BT-22 se establece que:

- La intensidad de cortocircuito máxima prevista debe ser menor que el poder de corte asignado del aparato.
- La curva seleccionada será:
 - Curva B: $I_m = (3 \text{ a } 5) \times I_n$. Curva utilizada para circuitos en los que no se producen transitorios.
 - Curva C: $I_m = (5 \text{ a } 10) \times I_n$. Curva utilizada para circuitos con carga mixta y en instalaciones de usos domésticos o análogos.
 - Curva D: $I_m = (10 \text{ a } 20) \times I_n$. Curva utilizada para circuitos en los que se prevé que haya transitorios.

Escoger el magnetotérmico se hace de la misma forma que con el poder de corte, referenciando y buscando valores inmediatamente superiores respecto a la intensidad de diseño del cable en esta tabla adjunta. Si el calibre del magnetotérmico no entrase en el rango comprendido entre la intensidad de paso y la intensidad máxima permitida del cable, saltaría una alarma de forma similar al método empleado anteriormente. Esto indicaría que el cable no está bien elegido, es decir, que bien su sección o el número de conductores por fase no es el adecuado.

I. Per. (A)	I. MT. (A)
0	Error
7	6
11	10
17	16
21	20
26	25
33	32
41	40
64	63
81	80
101	100

126	125
161	160
251	250
401	400
631	630
801	800
1.251	1250

Tabla 7-3. Intensidades permitidas y calibre del magnetotérmico asociado

Cabe destacar una peculiaridad dentro del capítulo de los magnetotérmicos y es que la hoja de cálculo no permite la coordinación de protecciones. Para ello serían necesarias las tablas y curvas que distribuyen los fabricantes de protecciones, siendo variables de unos a otros. Sin embargo, gracias a la herramienta desarrollada en AutoLISP, el usuario puede manipular manualmente los valores de los atributos de las protecciones una vez han sido representadas.

7.2.4.3 Protección contra cortocircuitos en líneas de elevada longitud

Es necesario comprobar el correcto funcionamiento de los interruptores automáticos magnetotérmicos ante cortocircuitos en líneas de elevada longitud.

Para ello se va a emplear un método de cálculo simplificado basado en aplicar la ley de Ohm con las siguientes hipótesis:

- La tensión entre la fase en la que se produce el defecto y el punto de origen de la instalación es igual al 80% de la tensión nominal.
- Se desprecia el valor de la reactancia de los conductores frente a su resistencia. Esta aproximación es válida para secciones pequeñas y moderadas.

El cálculo de la longitud máxima del cable que está protegiendo el dispositivo viene determinado por la fórmula:

$$L_{max} = \frac{0.8 \cdot \text{Coef} \cdot S_f \cdot U_f}{\left(1 + \frac{S_f}{S_p}\right) \cdot I_{mag}} \quad (7-51)$$

Siendo:

L_{max} : Longitud máxima de cable (m).

S_f : Sección de la fase (mm²).

S_p : Sección del conductor de protección (mm²).

I_{mag} : Intensidad de calibración del magnetotérmico (A).

U_f : Tensión de fase (V).

$Coef$: El coeficiente a aplicar según el material del conductor. En caso de cobre es 56, para aluminio es 36.

En nuestro caso se ha establecido por defecto como conductor de protección el mismo que el de fase.

Para la protección de los cables frente a cortocircuitos hay que comprobar que la integral de Joule $\int i^2 dt$ del cable es superior a la que deja pasar la protección antes de interrumpir la corriente.

Puesto que el tiempo mínimo de un interruptor magnetotérmico es del orden de 10 ms, puede ser necesario una protección adicional de aquellas líneas que parten de cuadros cercanos al CGBT con pequeñas secciones, debido a la gran potencia de cortocircuito.

7.2.4.4 Protección contra sobrecargas permanentes

Se utilizarán interruptores magnetotérmicos tarados de manera que protejan el cable en las condiciones de instalación dadas, según los coeficientes correctores que prescribe el Reglamento, y con una curva adecuada al tipo de receptor que alimenta el cable. Los valores obtenidos se encuentran en la hoja de cálculo anexa.

7.2.4.5 Protección contra contactos directos

- Según la norma UNE-60364, la protección contra los contactos directos se conseguirá mediante:
 - Aislamiento de las partes activas, como es el caso de los cables aislados
 - Barreras o envolventes, como los embarrados de los cuadros
 - Obstáculos, como en el embarrado de los transformadores
 - Puesta fuera de alcance por alejamiento, situando las partes activas fuera del volumen de accesibilidad

Según la ITC-BT-24 la protección diferencial se puede considerar una medida complementaria para los contactos directos, cuando el valor de disparo es igual o inferior a 30 mA. Aunque exista protección diferencial, se requiere alguna de las medidas citadas anteriormente.

7.2.4.6 Protección contra contactos indirectos: protección por corte automático de la alimentación

En el régimen de neutro TT se debe cumplir que $R_a \cdot I_a \leq U$, donde R_a es la suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de las masas; I_a es la corriente diferencial que asegura el funcionamiento de la protección y U es la tensión de contacto límite convencional. Esta tensión es igual a

50V según ITC-BT-24, aunque en alumbrado exterior U baja hasta 24 V como indica la ITC-BT-09. En la hoja de cálculo adjunta se introducen los diferenciales a mano por el proyectista.

Es posible un funcionamiento retardado de la protección diferencial para lograr selectividad con otros dispositivos diferenciales situados aguas abajo. En este caso el retardo máximo será de 1 segundo.

Aunque la norma permite la utilización de dispositivos de protección contra sobreintensidades como protección contra contactos indirectos (siempre que R_a sea lo suficientemente baja) en este Proyecto se ha preferido la utilización de los dispositivos diferenciales.

7.2.4.7 Protección exterior contra el rayo mediante Pararrayos con Dispositivo de Cebado

En los siguientes apartados se van a aplicar las indicaciones de la norma UNE 21186, así como de sus Anexos.

- **Necesidad de la Instalación Exterior de Protección contra el Rayo (IEPR)**

El anexo B de la norma establece una metodología para determinar la necesidad de la instalación exterior contra el rayo, basada en el riesgo de sufrir un impacto y las consecuencias que tendría.

- **Evaluación del riesgo de impacto**

La selección del nivel de protección adecuado para la colocación de una IEPR se basa en la frecuencia de impactos de rayo N_d prevista en la estructura a proteger y en la frecuencia anual aceptable de rayos N_c sobre la estructura.

- **Densidad de impactos sobre el terreno N_g**

N_g viene determinado por el nivel cerámico local N_k mediante la fórmula $N_g = 0.02 \cdot N_k^{1.67}$. Se define el nivel cerámico como el número de días al año en que se oye tronar. Se puede obtener de un mapa de niveles isocerámicos de la región o bien directamente el valor N_g del mapa en la página 47 de UNE 21186. En ambos casos el valor obtenido para N_g es prácticamente idéntico.

- **Frecuencia esperada de rayos sobre la estructura N_e**

Se evalúa a partir de la expresión $N_e = N_g \cdot 1.1 \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6}$ /año donde:

- N_g es la densidad anual media de impactos por año y km², calculada anteriormente
- 1,1 es el coeficiente de seguridad ligado a la evaluación de impactos
- A_e es la superficie de captura equivalente de la estructura aislada (m²)
- C_1 es el coeficiente relacionado con el entorno de la estructura

- **Frecuencia aceptable de rayos sobre la estructura N_a**

Se obtiene de $N_a = 3 \cdot \frac{10^{-3}}{C}$, donde $C = C_2 C_3 C_4 C_5$ se obtienen de las tablas B.5 a B.8:

- C2 es el coeficiente de estructura. Tanto la estructura como el tejado son metálicas, por lo que C2 vale 0,5.
 - C3 depende del contenido de la estructura. En principio éste se puede clasificar como de valor común o normalmente inflamable, al que corresponde un valor de 2.
 - C4 depende de la ocupación de la estructura. Como la evacuación no es difícil ni hay un riesgo de pánico, se puede asignar un valor normal de 3.
 - C5 es función de las consecuencias para el entorno. Hay una necesidad de continuidad en el servicio, por lo que tomamos el valor de 5.
- **Necesidad del SPCR y selección del nivel de protección**

Cuando se tenga $N_e > N_a$, se debe instalar un SPCR de eficiencia $E \geq 1 - N_a/N_e = 0,9624$, lo que implica el Nivel de protección más medidas complementarias que se establezcan en la tabla B.10.

- **Radio de protección**

El radio de protección de un PDC depende de su altura h en relación con la superficie a proteger (medida desde la punta del pararrayos), de su avance en el cebado $\Delta L = v \cdot \Delta t$, de la distancia de cebado D y del nivel de protección, mediante la fórmula

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L \cdot (2D + \Delta L)} \quad (7-52)$$

Válida para $h > 5$ m, lo que se cumple ya que emplearemos mástiles de forma que la punta del PDC quede 10 m por encima del punto más alto de la cubierta de la zona que protege.

- **Número de bajantes**

En base a los datos anteriores y a los planos de plantas y secciones de la plantase determinarán los PDC necesarios para cubrir todas las instalaciones, situando sobre el plano de planta una vez que se conocen sus radios de protección, las necesarias bajantes para derivar la intensidad del rayo hasta la toma de tierra.

7.2.4.8 Protección frente a sobretensiones

Se define sobretensión como un aumento del valor de tensión entre dos puntos de un circuito de manera que le hace estar de por encima de los valores máximos establecidos. Esto puede provocar problemas en

los aislamientos, deteriorándolos, así como en los circuitos en general reduciendo la vida útil de los mismos. Es por ello que surge la necesidad de proteger a los circuitos de las sobretensiones. Para la protección frente a sobretensiones se usan equipos vasados en varistores o resistencias dependientes de la tensión (VDR por sus siglas en inglés). Para las protecciones de carácter transitorio se emplean dispositivos con VDR conectados en paralelo entre fase y tierra, neutro y tierra. Su tensión de trabajo es superior a la nominal de manera que cuando detectan una sobretensión, conducen, desviando así el paso de corriente hacia la tierra y evitando que llegue a los equipos receptores

Se distinguen diferentes grados de sobretensión soportada por cada equipo, a cada grado se le denomina categoría. Con este fin, la elección de una categoría adecuada es un aspecto muy importante a la hora de diseñar las protecciones de la instalación. Según esta línea en la ITC-BT-23 se pueden encontrar 4 categorías recogidas en la siguiente tabla:

Las categorías de sobretensiones y el nivel de tensión soportada al impulso 1,2/50 son:

- Categoría I: equipos muy sensibles destinados a ser conectados directamente a la instalación eléctrica fija, como ordenadores y equipos electrónicos sensibles. 1,5 kV.
- Categoría II: electrodomésticos, herramientas portátiles y otros equipos similares destinados a conectarse a una instalación eléctrica fija. 2,5 kV.
- Categoría III: equipos y materiales que forman parte de la instalación eléctrica fija y otros equipos con un alto nivel de fiabilidad, como armarios de distribución, embarrados, interruptores, blindobarras, etc. 4 kV.
- Categoría IV: equipos y materiales que se conectan en el origen de la instalación, aguas arriba del CGBT. 6 kV.

TENSIÓN NOMINAL DE LA INSTALACIÓN		TENSIÓN SOPORTADA A IMPULSOS 1.2/50 (KV)			
SISTEMAS TRIFÁSICOS	SISTEMAS MONOFÁSICOS	IV	III	II	I
230/400	230	6	4	2.5	1.5
400/690	--	8	6	4	2.5
1000	--				

Tabla 7-4. Categorías de sobretensiones

- **Medidas para el control de las sobretensiones**

Las sobretensiones pueden venir producidas por descargas cercanas o lejanas de rayo, conmutaciones en la red, defectos, etc... Para limitar los efectos de estas sobretensiones se instalarán limitadores o descargadores del Tipo 1 (Alta capacidad de descarga, tiempo de reacción lento) a la salida de la subestación principal y del Tipo 2 (Media capacidad de descarga y tiempo de reacción medio) aguas arriba de cada Cuadro General de Baja Tensión con un nivel residual de tensión inferior a la de la categoría de los equipos que alimenta. Los niveles de tensión son los que figuran en la tabla 1 de la ITC-BT-23, en función de la tensión nominal y de la categoría.

En el régimen de neutro TT los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores (incluyendo el neutro) y la tierra. El esquema y las características de los descargadores pueden verse en los planos de los cuadros donde se ubiquen.

- **Cálculo de las sobretensiones**

Sobretensiones debidas a impactos directos del rayo

Para el cálculo de las sobretensiones debidas a los impactos directos hay que tener en cuenta la resistencia de puesta a tierra tanto de la red de tierras principal como de la tierra de servicio (neutro). En el peor de los casos, si ambas tierras son distantes se consideran independientes y no se inducen tensiones entre ellas. Cuando esto ocurre, la diferencia de potencial que se produce entre la tierra de protección (conectada a la bajante del pararrayos) y la tierra de servicio es $\Delta U=R \cdot I$, donde R es la resistencia de puesta a tierra de protección e I la intensidad de descarga del rayo, que puede ser del orden de 100 kA. Los limitadores de sobretensiones deben poder aguantar estas tensiones y reducirlas a un nivel coordinado con la categoría de los equipos. Estos cálculos de sobre tensión y selectividad deben ser realizados por el fabricante de los equipos de protección Tipo 1 y 2 para conseguir un correcto funcionamiento de los mismos y así evitar paradas intempestivas.

- **Sobretensiones debidas a impactos lejanos del rayo**

Se pueden transmitir a través de las acometidas eléctricas aéreas o bien a través de canalizaciones metálicas. Cuando el transformador de distribución está bajo el radio del sistema de protección contra el rayo externo, no se pueden producir sobretensiones por este concepto. Las canalizaciones metálicas que vengan del exterior han de ser puestas a tierra.

- **Sobretensiones debidas a maniobras de interruptores y contactores.**

Cuando se interrumpe bruscamente un circuito inductivo aparecen sobretensiones que pueden alcanzar algunos kilovoltios. En los cuadros de estos circuitos se instalarán limitadores de

sobretensiones si hay aparatos de categoría I conectados cerca.

7.2.5 Dimensionado de las canalizaciones

En toda instalación los cables deben de ir por una serie de conductos o soportes habilitadas para que estén protegidos y fuera del contacto directo. Esto es lo que se denomina como canalizaciones. Las canalizaciones utilizadas en cada tipo de instalación dependen de las características de cada circuito en el que se encuentren.

7.2.5.1 Instalaciones Interiores

- **Canalizaciones Fijas en Superficie**

Para dimensionar los tubos y canales de las instalaciones interiores se seguirá la ITC-BT-21. Para tubos instalados en superficie, si el número de conductores es igual o menor de 5 (y son todos iguales) se aplicará la tabla 2 de dicha norma. Para más de 5 conductores por tubo, o bien si hay conductores de distintas secciones, la sección interior será como mínimo 2,5 veces la sección ocupada por los cables. Para calcular esta sección, que depende del grosor del aislamiento, se utilizarán los datos de fabricantes.

La tabla que establece la ITC-BT-21 del REBT (tabla2) se muestra a continuación:

Sección de los cond. unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	-
185	50	63	75	-	-
240	50	75	-	-	-

Tabla 7-5. Tabla 2 de ITC-BT-21

- **Canalizaciones Empotradas**

Para dimensionar los tubos y canales de las instalaciones interiores se seguirá la ITC-BT-21. Para tubos instalados empotrados, si el número de conductores es igual o menor de 5 se aplicará la tabla 5 de dicha norma. Para más de 5 conductores por tubo, o si hay diferentes secciones de cable dentro de un mismo tubo, su sección interior será como mínimo igual a 3 veces la sección ocupada por los conductores.

La tabla que establece la ITC-BT-21 del REBT (tabla 5) se muestra a continuación:

Sección de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	25	32	32	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	-
150	40	63	75	-	-
185	50	63	75	-	-
240	63	75	-	-	-

Tabla 7-6. Tabla 5 ITC-BT-21

- **Otros tipos de Canalizaciones en Tubo**

Para instalaciones con canalizaciones enterradas o al aire, se seguirá igualmente la ITC-BT-21, en sus respectivos apartados.

Así mismo, la instalación y colocación de los tubos debe cumplir para cualquiera de las instalaciones anteriores mencionadas las normas establecidas sobre el método de ejecución.

7.2.5.2 Instalación de alumbrado exterior

Para dimensionar los tubos enterrados de la instalación de alumbrado exterior se aplicará la ITC-BT-07.3.1.2, con la condición añadida de que el diámetro mínimo interior será de 60 mm (ITC-BT-09.5.2.1).

Para los tubos de la instalación de alumbrado exterior que discurran por el interior de la fábrica se utilizarán los métodos correspondientes a las instalaciones interiores, ya que el Reglamento no contempla esta situación particular de alumbrado exterior.

7.2.6 Instalación de puesta a tierra de protección

Tiene la misión de limitar la tensión de las masas metálicas con respecto a tierra y la actuación de las protecciones en caso de fallo.

7.2.6.1 Características del terreno

El terreno sobre el que se asienta la instalación es categorizado como de cultivo y tiene un valor de $44,6\Omega$.

Según el análisis del terreno no se espera que éste ataque químicamente al electrodo de tierra, por lo que no se necesitará descubrir el electrodo cada cinco años como obliga la ITC-BT-18.

7.2.6.2 Características de la toma de tierra

En las tomas de tierra de la instalación es habitual emplear un cable de cobre desnudo de 50 mm^2 de sección, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Para la puesta a tierra de servicio se emplearían picas verticales de 2m para formar un triángulo equilátero de lado 5m.
- Para el conductor enterrado, se suelen colocar picas, cada 50 metros de conductor en todo el perímetro del edificio..

7.2.6.3 Fórmulas para la resistividad

Se utilizará la correspondiente a un conductor enterrado horizontalmente, según la tabla 5 de la ITC-BT-18:

$$R = \frac{2\rho}{L} \quad (7-53)$$

Siendo R la resistencia de puesta a tierra, ρ la resistividad del terreno y L la longitud enterrada del conductor.

Para una pica enterrada la expresión es:

$$R = \frac{\rho}{L} \quad (7-54)$$

Donde en este caso L es la longitud de la pica.

Si hay varias picas conectadas en paralelo y/o con cable desnudo, el inverso de la resistencia total de puesta

a tierra será igual a la suma de los inversos de cada resistencia por separado.

7.2.6.4 Tensión máxima de contacto

Según la ITC-BT-18 la tensión máxima de contacto será de 50V ya que no se contemplan emplazamientos conductores para el caso tipo. En la hoja de cálculo de cortocircuitos se encuentran los cálculos para la corriente fase-tierra máxima prevista.

Se admite superar esta tensión de contacto si se asegura la rápida eliminación de la falta mediante dispositivos de corte adecuado, como son los interruptores diferenciales. Por ejemplo si se instalarán interruptores con sensibilidades de 300 y 30 mA, las resistencias máximas de puesta a tierra serían respectivamente de $50V/0,03A=1667\Omega$ y $50V/0,003A=167\Omega$.

8 ANEXO II: HOJA DE CÁLCULO

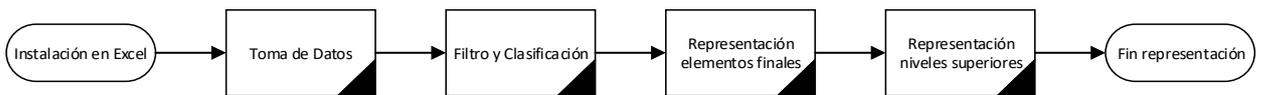
En este anexo se adjunta la hoja de cálculo realizada en Excel en la cual se han realizado los cálculos para el diseño y dimensionado de la instalación eléctrica que ha servido como ejemplo durante todo el desarrollo del presente trabajo.

Dicho cálculo se ha realizado de acuerdo al REBT como se expone en el anexo anterior. Dicha instalación cuenta con un único transformador de una potencia de 350 kVA. Se compone de una serie de cuadros de distribución que alimentan cargas trifásicas y monofásicas. De igual manera se definen los distintos tipos de instalación existentes. Con el fin de salvar el problema de representación que se da cuando aparecen alumbrados de emergencia, se crea un circuito más. Este problema se expone con algo más de detenimiento en el Anexo V: Diagramas Unifilares.

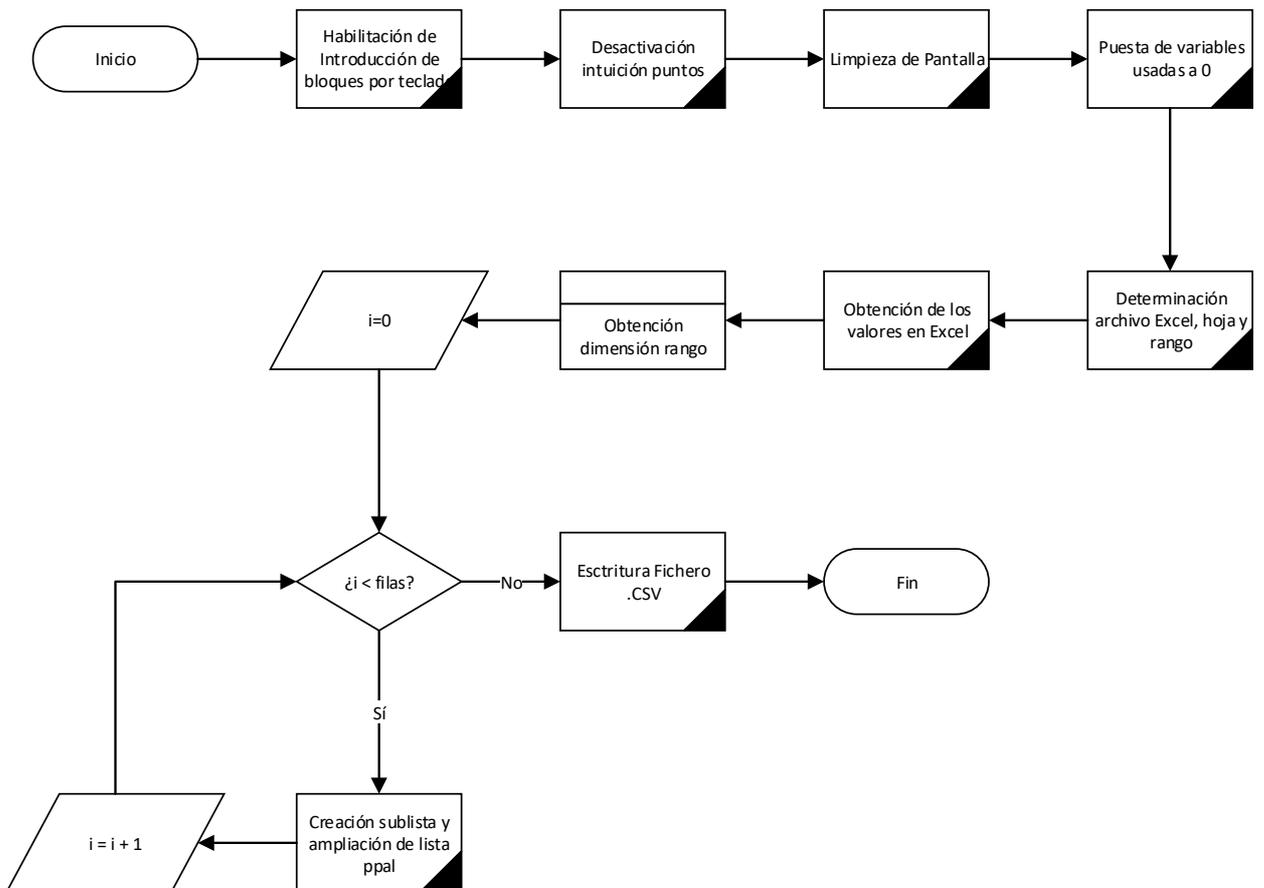
9 ANEXO III: DIAGRAMAS DE FLUJO

En este anexo se encuentra el conjunto de diagramas de flujo de cada uno de los algoritmos llevados a cabo para la resolución del problema objeto del trabajo

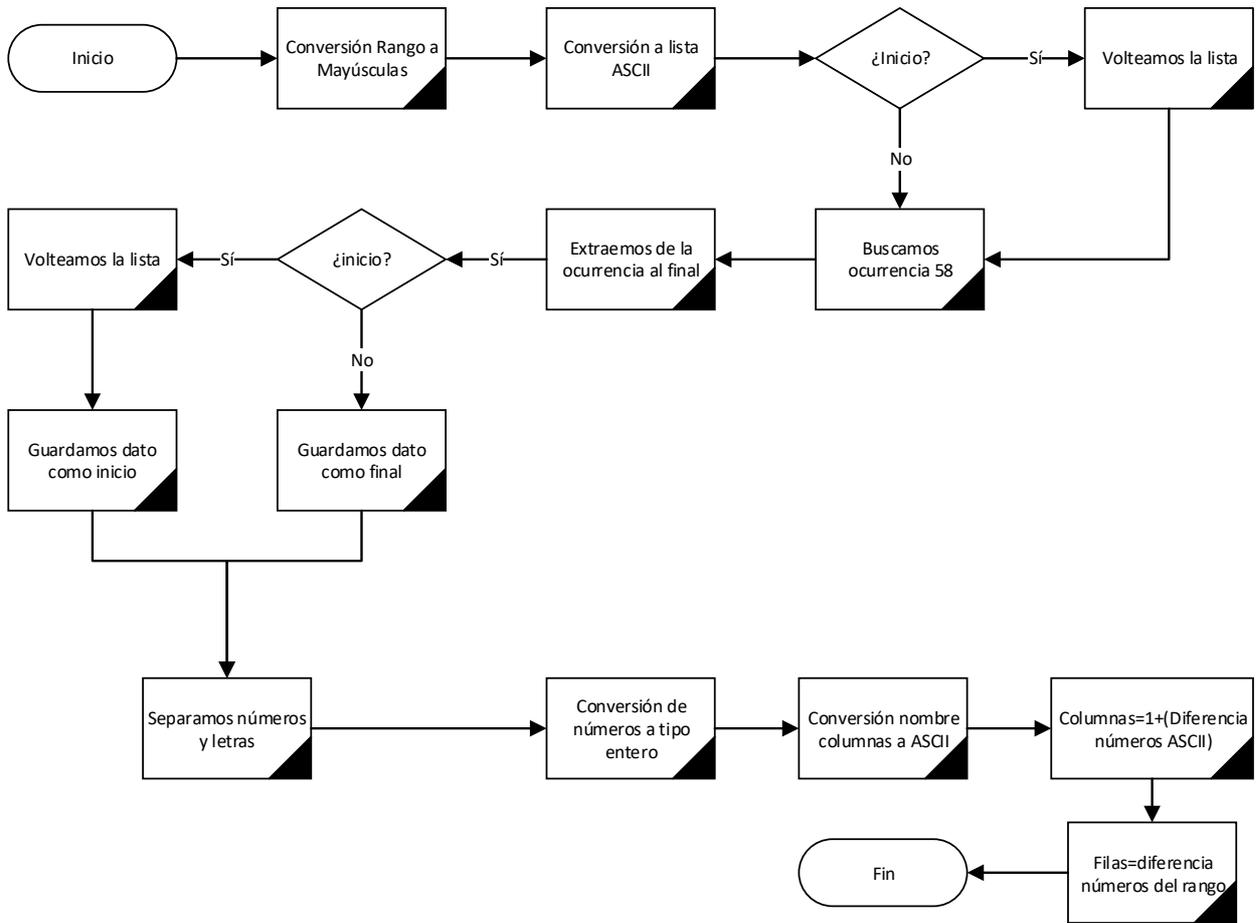
9.1 Programa principal



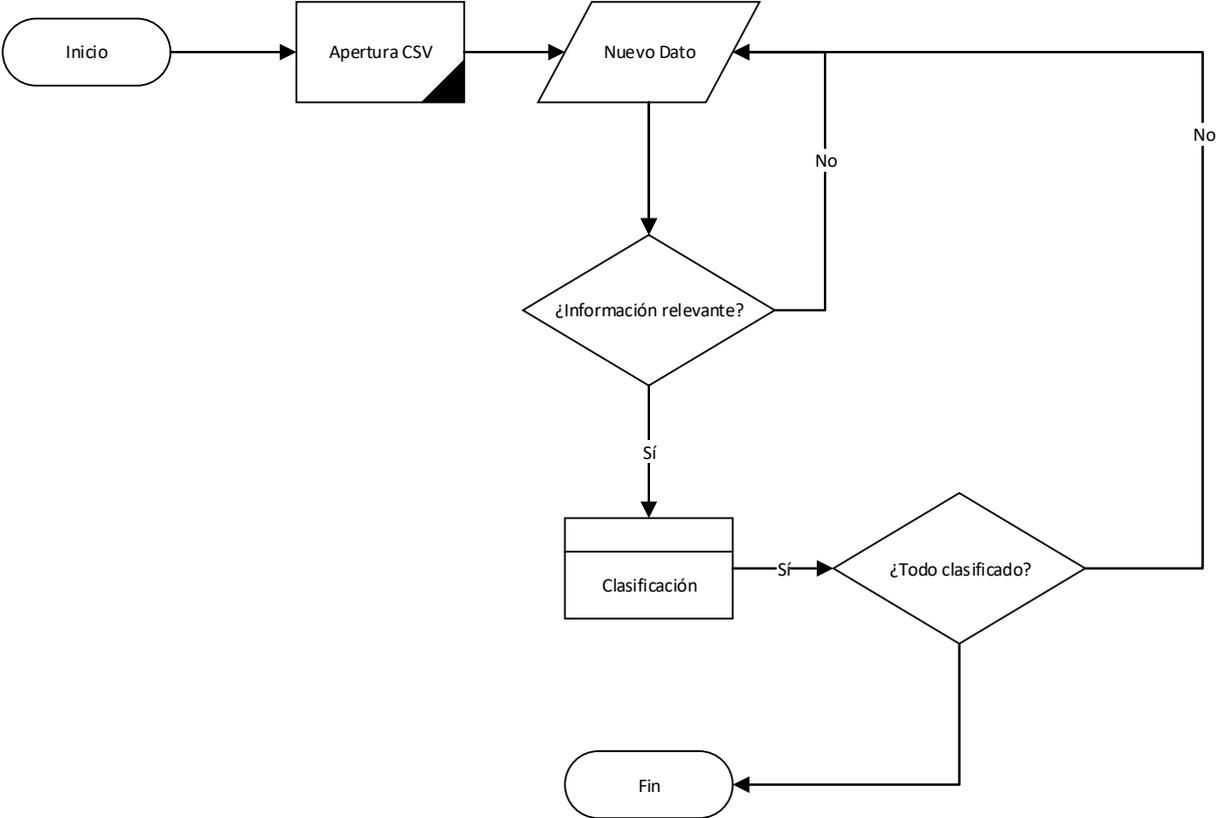
9.2 Toma de datos



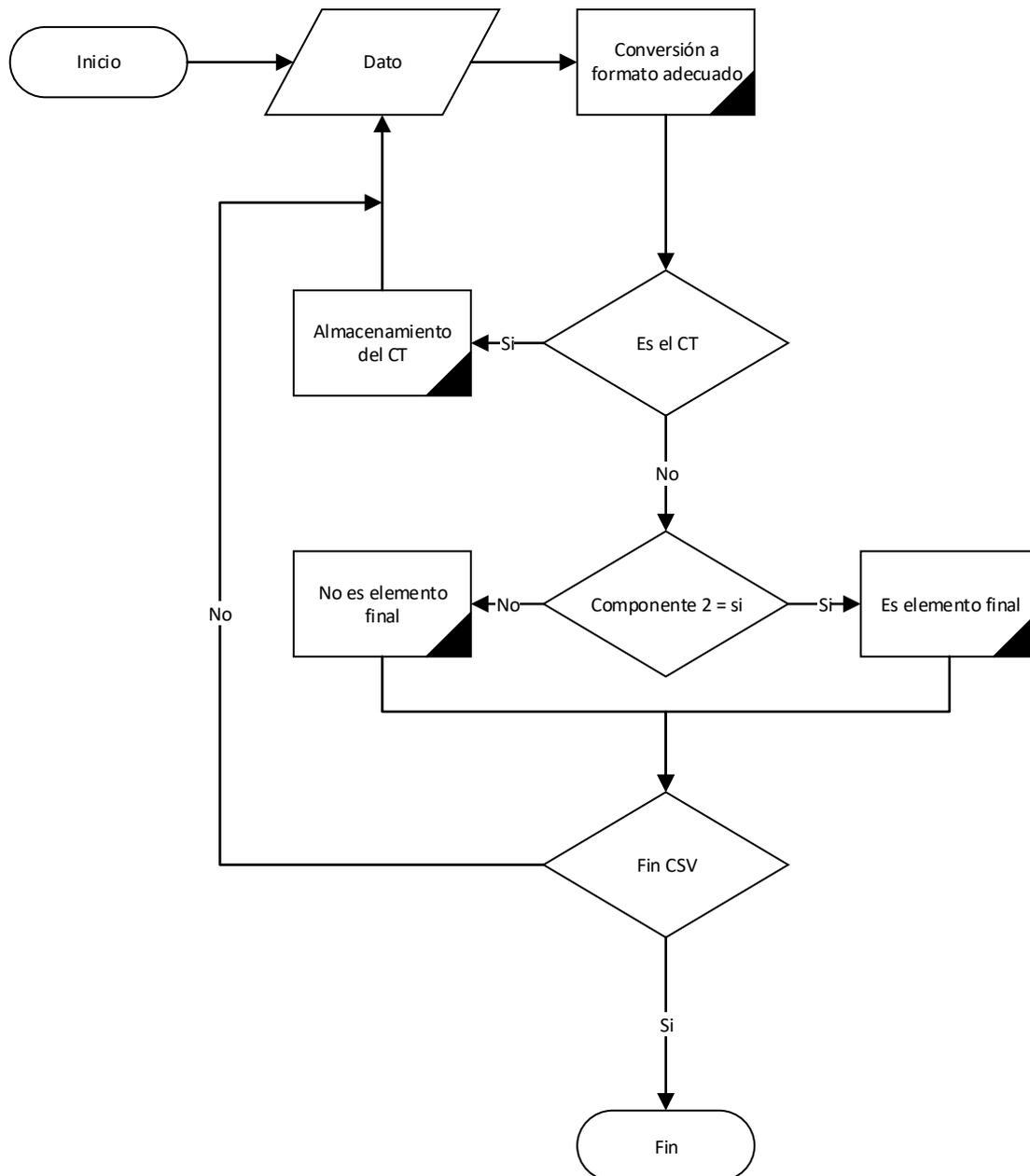
9.2.1 Obtención Rango



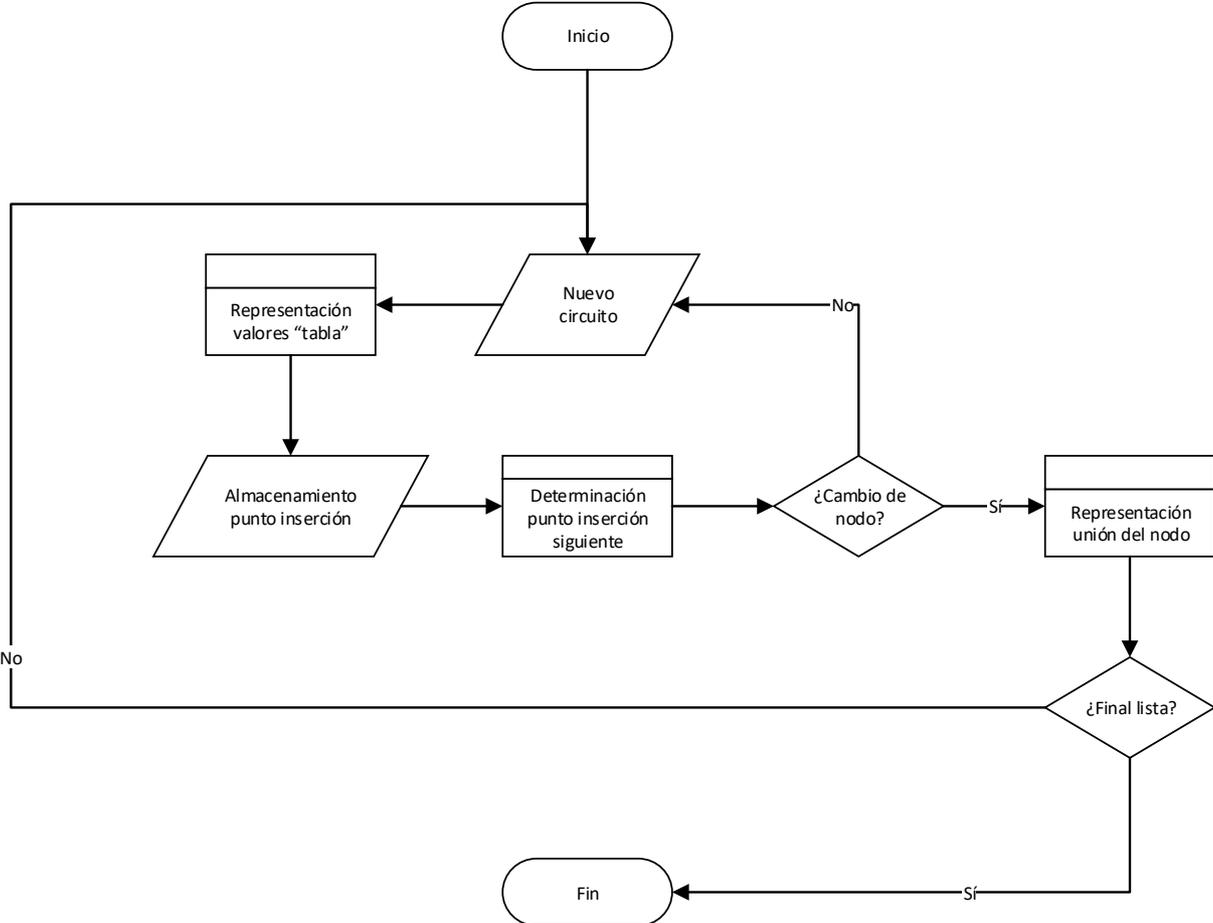
9.3 Filtro



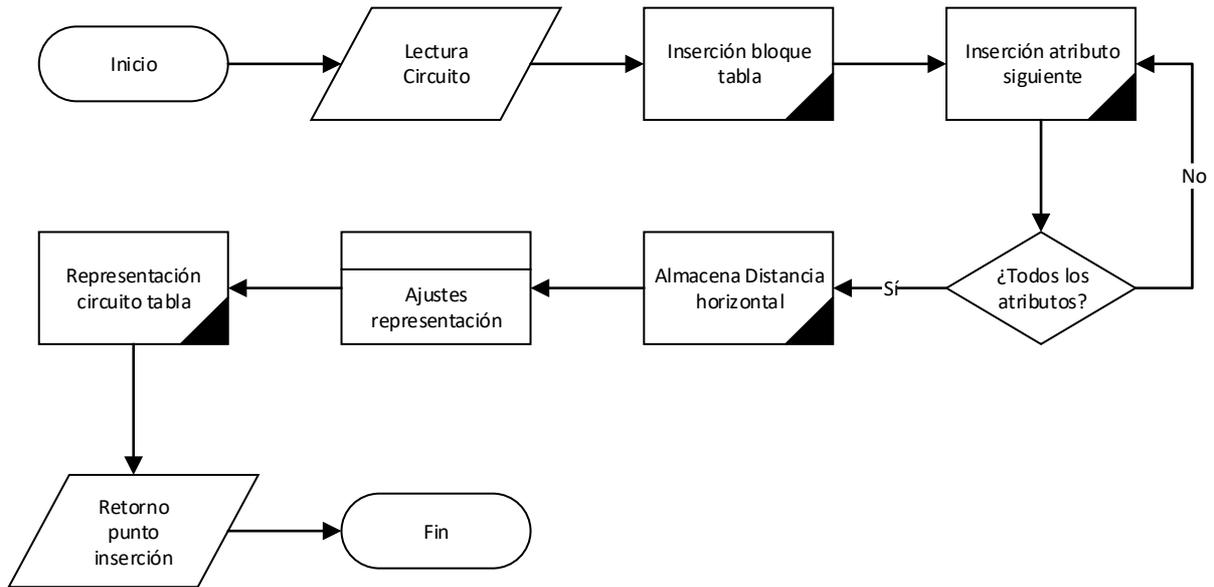
9.3.1 Clasificación



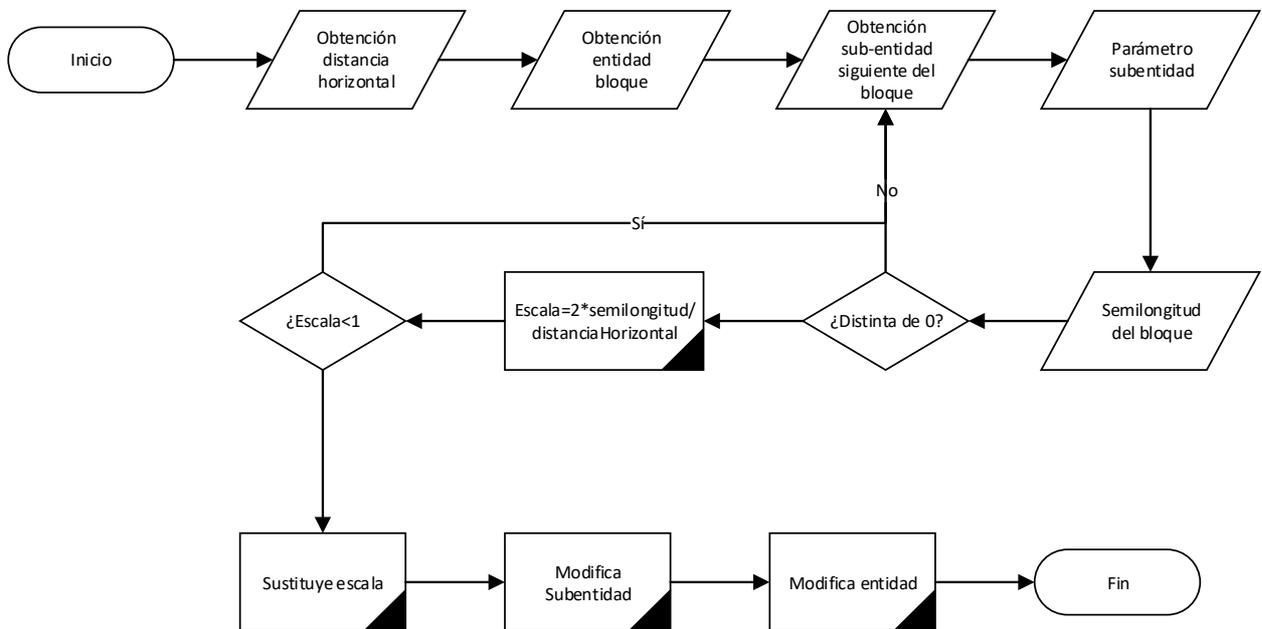
9.4 Representación Elementos Finales



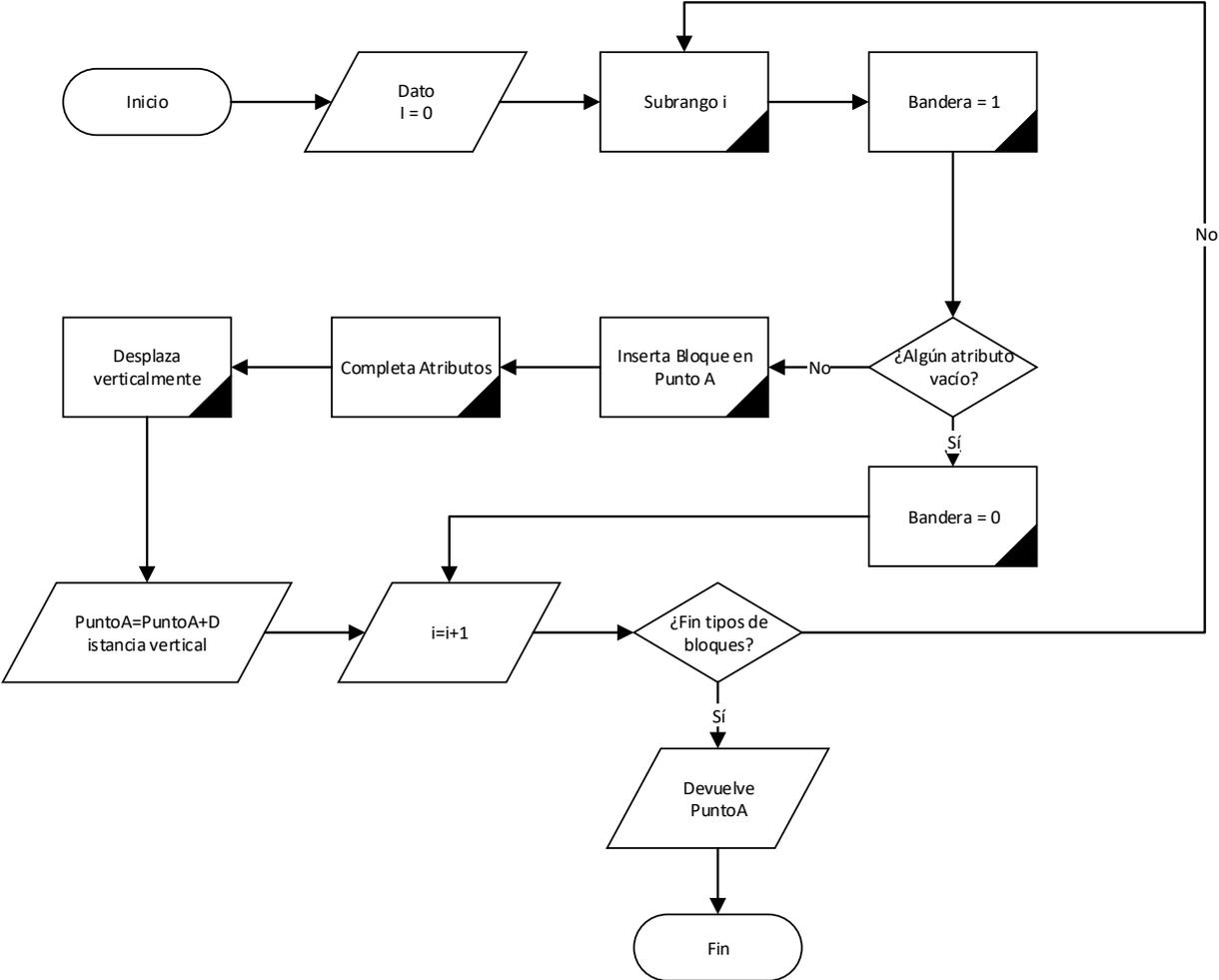
9.4.1 Representación Valores Tabla



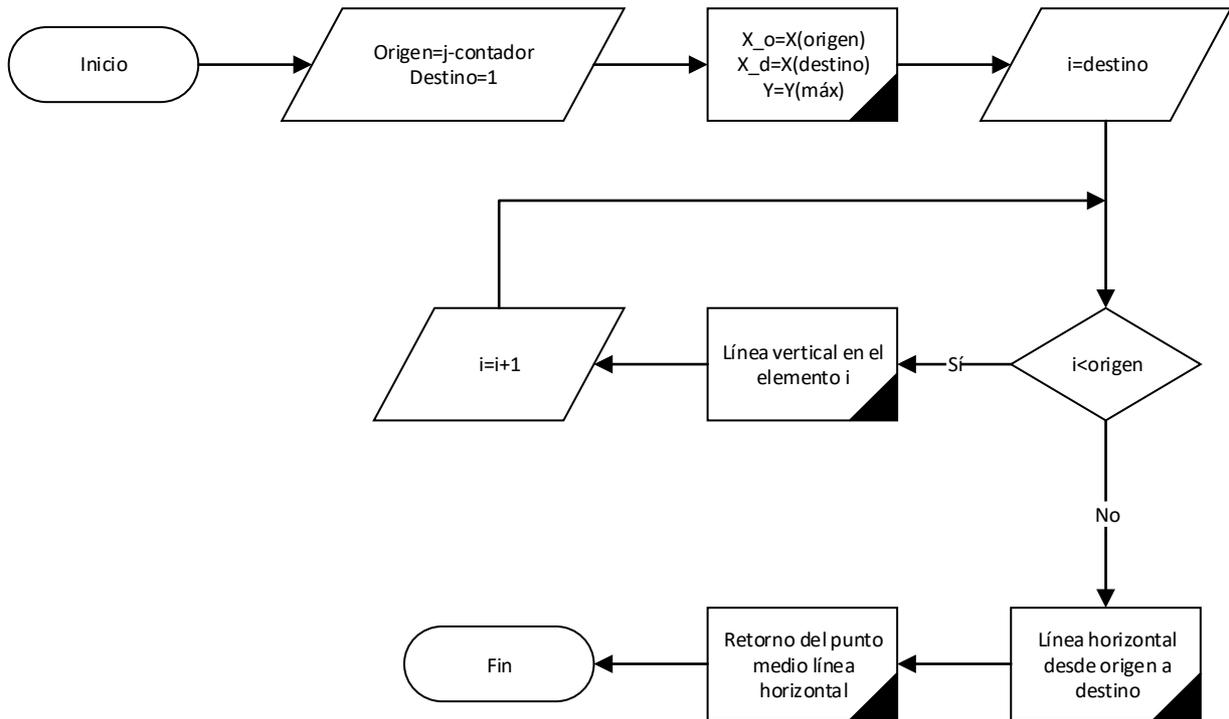
9.4.1.1 Ajustes Representación



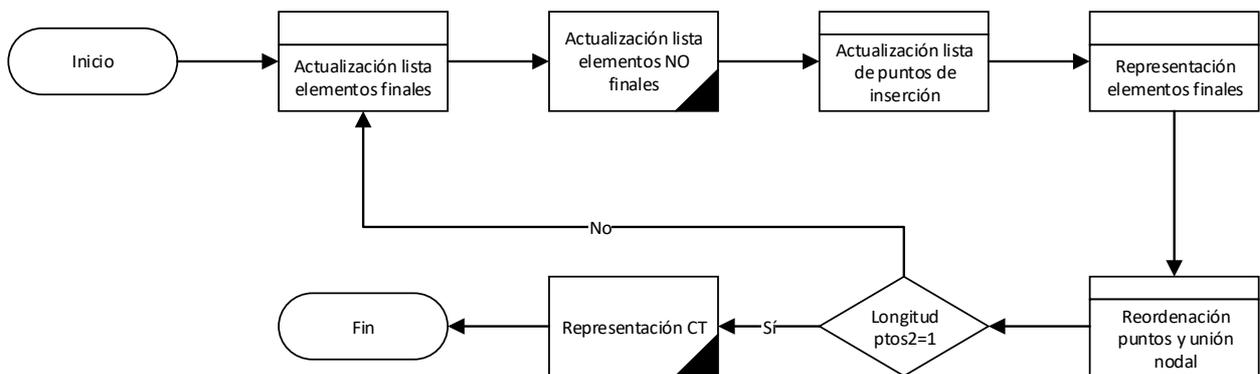
9.4.2 Determinación Punto Inserción Siguiete



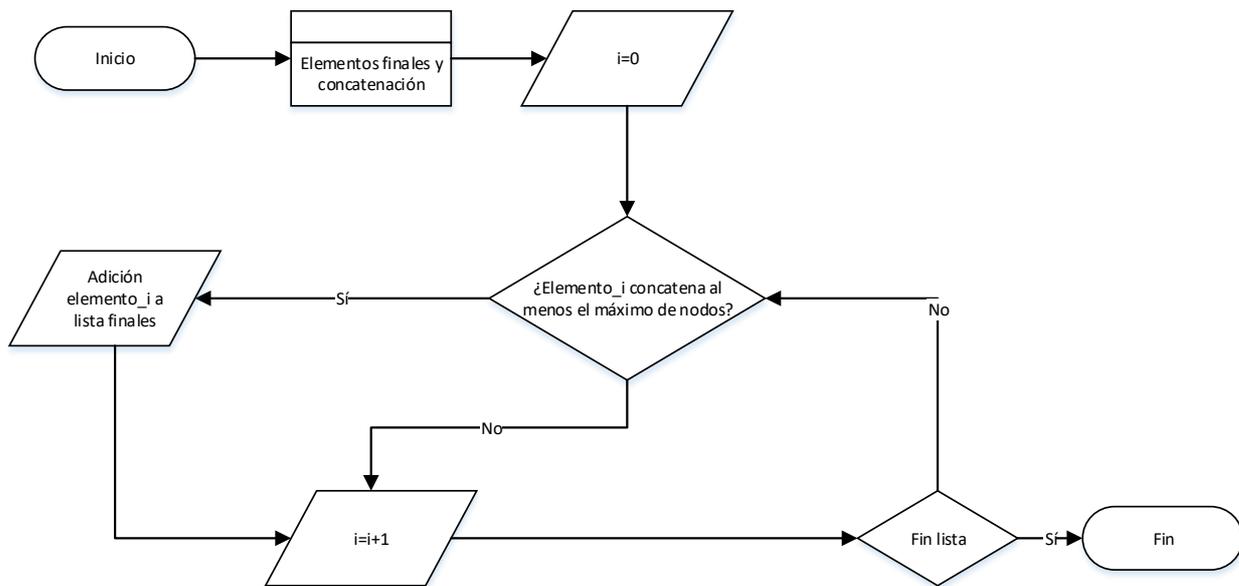
9.5 Representación Unión Nodal



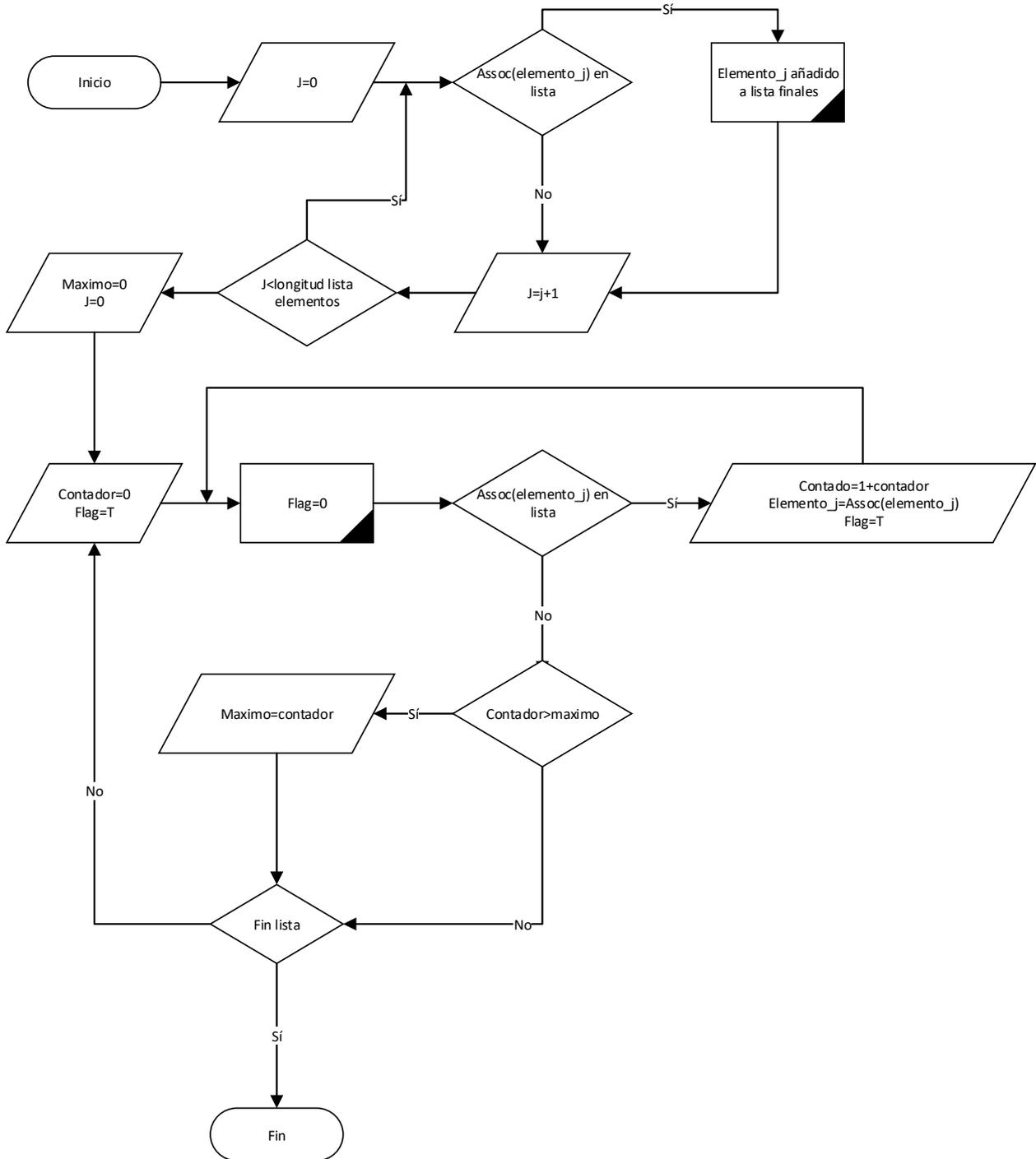
9.6 Niveles Superiores



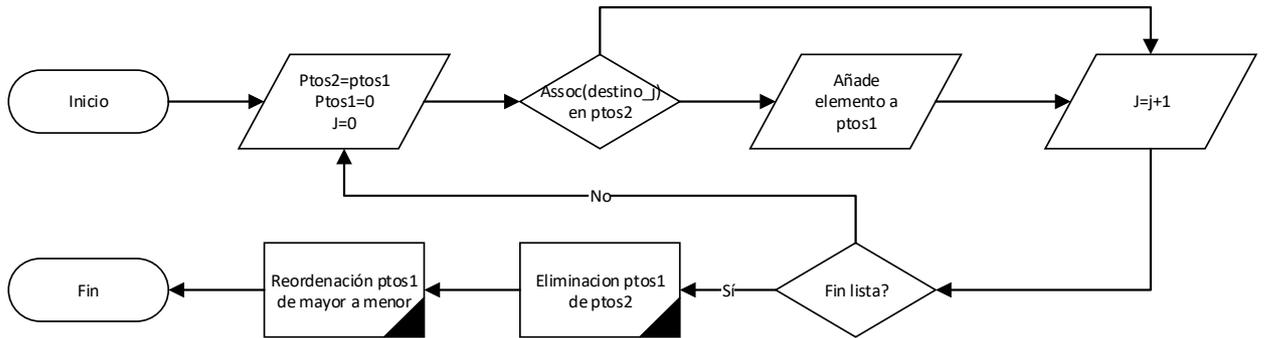
9.6.1 Actualización Lista Elementos Finales



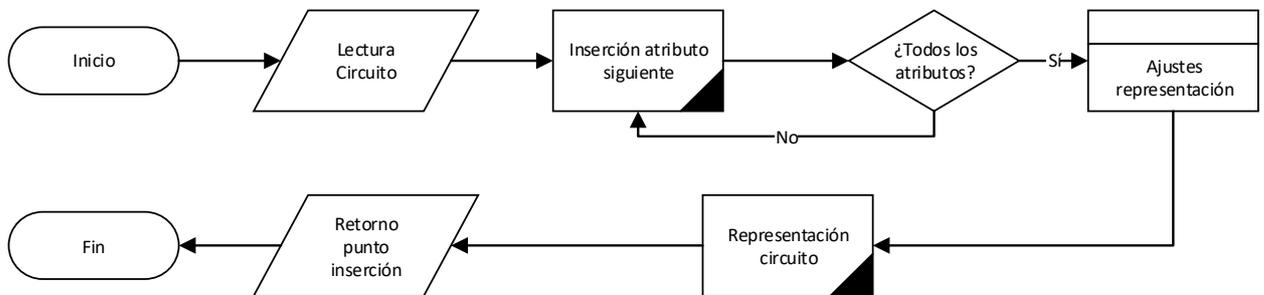
9.6.1.1 Elementos Finales y Nodos Concatenados



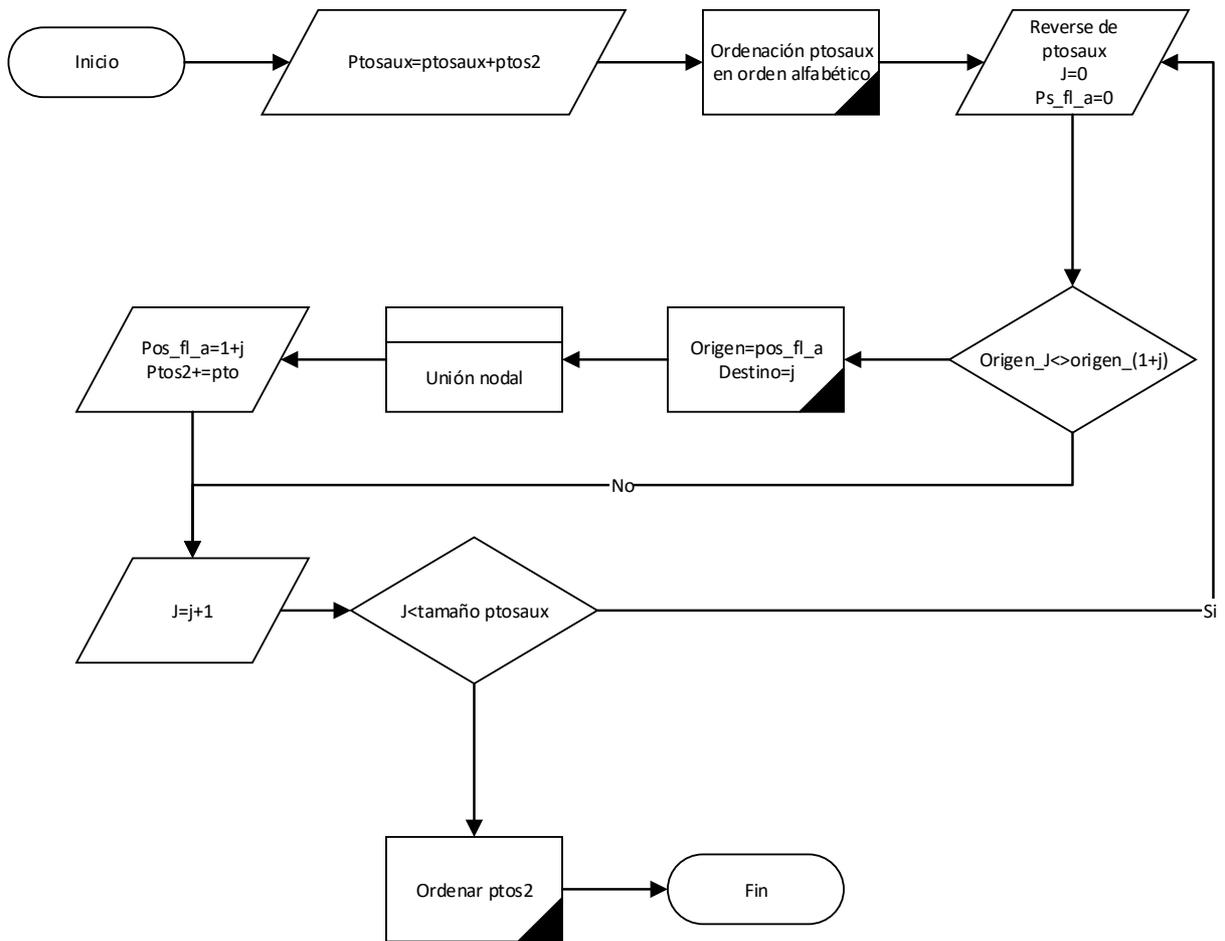
9.6.2 Actualización Puntos Inserción



9.6.2.1 Representación Nuevos Elementos Finales



9.6.3 Reordenación Puntos y Unión Nodal



10 ANEXO IV: CÓDIGO AUTOLISP

En este anexo se expone el código desarrollado a lo largo del proceso de identificación de la solución. Este código no incluye la opción de la existencia de dos embarrados como lo pueda ser el de red y el de grupo en una instalación eléctrica de tamaño grande. Para incluirlo bastaría repetir el código otra vez donde para cada una de las sentencias donde se referencia al embarrado, incluir el de red y grupo.

10.1 Librería

A continuación se exponen las funciones que se han determinado necesarias para el desarrollo del código que permite obtener la solución adoptada.

```
(vl-load-com)

(defun getCellsFunction(fileName sheetName cellName / myXL myBook mySheet myRange cellValue)

  (setq myXL(vlax-get-or-create-object "Excel.Application"))

  (vla-put-visible myXL :vlax-false)

  (vlax-put-property myXL 'DisplayAlerts :vlax-false)

  (setq myBook (vl-catch-all-apply 'vla-open (list (vlax-get-property myXL "WorkBooks") fileName)))

  (setq mySheet (vl-catch-all-apply 'vlax-get-property (list (vlax-get-property myBook "Sheets") "Item"
sheetName)))

  (vlax-invoke-method mySheet "Activate")

  (setq myRange (vlax-get-property (vlax-get-property mySheet 'Cells) "Range" cellName))

  (setq cellValue(vlax-variant-value (vlax-get-property myRange 'Value2)))

  (vl-catch-all-apply 'vlax-invoke-method (list myBook "Close"))

  (vl-catch-all-apply 'vlax-invoke-method (list myXL "Quit"))

  (if (not (vlax-object-released-p myRange))(progn(vlax-release-object myRange)(setq myRange nil)))

  (if (not (vlax-object-released-p mySheet))(progn(vlax-release-object mySheet)(setq mySheet nil)))

  (if (not (vlax-object-released-p myBook))(progn(vlax-release-object myBook)(setq myBook nil)))

  (if (not (vlax-object-released-p myXL))(progn(vlax-release-object myXL)(setq myXL nil)))

  (if(= 'safearray (type cellValue))
```

```

(progn
  (setq tempCellValue(vlax-safearray->list cellValue))
  (setq cellValue(list))
  (if(= (length tempCellValue) 1)
    (progn
      (foreach a tempCellValue
        (if(= (type a) 'LIST)
          (progn
            (foreach b a
              (if(= (type b) 'LIST)
                (setq cellValue(append cellValue (list (vlax-variant-value (car b))))))
                (setq cellValue(append cellValue (list (vlax-variant-value b))))))
              (setq cellValue(append cellValue (list (vlax-variant-value a))))))
            (progn
              (foreach a tempCellValue
                (setq tmpList(list))
                (foreach b a
                  (setq tmp(vlax-variant-value b))
                  (setq tmpList(append tmpList (list tmp))))
                  (setq cellValue(append cellValue tmpList))))))
    cellValue
  )

(defun convierte (str pat / i j n lst)
  (cond
    ((/= (type str)(type pat) 'STR))
    ((= str pat)(''))
  (T

```

```

(setq i 0 n (strlen pat))

(while (setq j (vl-string-search pat str i))

  (setq lst (cons (substr str (1+ i)(- j i)) lst)

    i (+ j n)))

(reverse (cons (substr str (1+ i)) lst))))

(defun :sort-by-letter-mid-max (lst / l a)

  (foreach e lst

    (setq l (if (setq a (assoc (car e) l))

      (subst (append a (cdr e)) a l)

      (cons e l))))

(vl-sort (mapcar '(lambda (x)

  (list (car x)

    (list (/ (apply '+ (mapcar 'car (cdr x)))

      (- (length x) 1.))

    (apply 'max (mapcar 'cadr (cdr x)))))) l) '(lambda (a b) (< (car a) (car b))))

(defun LM:col->num (c / n)

  (if (= 1 (setq n (strlen c)))

    (- (ascii c) 64)

    (+ (* 26 (LM:col->num (substr c 1 (1- n)))) (LM:col->num (substr c n))))

(defun rangoCSV (rango)

  (setq inicio (reverse (cdr (member 58 (reverse (vl-string->list (strcase rango)))))))

  fin (cdr (member 58 (vl-string->list (strcase rango))))

  (setq inicio_l nil inicio_n nil fin_l nil fin_n nil)

  (foreach n inicio

```

```

(if (AND (>= n 65) (<= n 90))

  (setq inicio_l (cons (chr n) inicio_l))

  (setq inicio_n (cons (chr n) inicio_n))))

(setq inicio_l (apply 'strcat (reverse inicio_l)))

(setq inicio_n (atoi (apply 'strcat (reverse inicio_n))))

(foreach n fin

  (if (AND (>= n 65) (<= n 90))

    (setq fin_l (cons (chr n) fin_l))

    (setq fin_n (cons (chr n) fin_n))))

(setq fin_l (apply 'strcat (reverse fin_l)))

(setq fin_n (atoi (apply 'strcat (reverse fin_n))))

(setq rango (list(- fin_n inicio_n) (1+ (- (LM:col->num fin_l) (LM:col->num inicio_l))))))

(defun LM:writcsv ( lst csv / des sep )

  (if (setq des (open csv "w"))

    (progn

      (setq sep (cond ((vl-registry-read "HKEY_CURRENT_USER\\Control Panel\\International" "sList")) (",")))

      (foreach row lst (write-line (LM:lst->csv row sep) des))

      (close des)

      t)))

(defun LM:lst->csv ( lst sep )

  (if (cdr lst)

    (strcat (LM:csv-addquotes (car lst) sep) sep (LM:lst->csv (cdr lst) sep))
  )

```

```
(LM:csv-addquotes (car lst) sep)))
```

```
(defun LM:csv-addquotes ( str sep / pos )
```

```
(cond
```

```
( ( wcmatch str (strcat "*[" sep "\"]*")
```

```
(setq pos 0)
```

```
(while (setq pos (vl-string-position 34 str pos))
```

```
(setq str (vl-string-subst "\"\" \"\" str pos)
```

```
pos (+ pos 2)))
```

```
(strcat "\" str "\"))
```

```
( str )))
```

```
(defun LM:sublst ( lst idx len )
```

```
(cond
```

```
( ( null lst) nil)
```

```
( (< 0 idx) (LM:sublst (cdr lst) (1- idx) len))
```

```
( ( null len) lst)
```

```
( (< 0 len) (cons (car lst) (LM:sublst (cdr lst) idx (1- len))))))
```

```
(defun pto&lines (puntos inicio fin / ptod i xo)
```

```
(setq xo(caadr (nth inicio puntos)) xd(caadr (nth fin puntos)) xf(/ (+ xo xd) 2.0)
```

```
yf(apply 'max (mapcar '(lambda (x) (cadadr x)) puntos)) i fin nodo (car (nth fin puntos)))
```

```
(while (<= i inicio)
```

```
(setq x (caadr (nth i puntos))
```

```
y (cadadr (nth i puntos)))
```

```
(entmakex (list (cons 0 "line") (cons 10 (list x y)) (cons 11 (list x yf)) (cons 62 4)))
```

```
(setq i (1+ i))
```

```
(entmakex (list (cons 0 "line") (cons 10 (list xo yf)) (cons 11 (list xd yf)) (cons 62 4)))
```

```
(setq ptof(list nodo (list xf yf)))
```

```
ptof)
```

```
(defun pto&lines2 (puntos inicio fin dist / pto d i xo)
```

```
(setq xo(caadr (nth inicio puntos)) xd(caadr (nth fin puntos)) xf(/ (+ xo xd) 2.0)
```

```
yf(+ (apply 'max (mapcar '(lambda (x) (cadadr x)) puntos)) (/ dist 2.0)) i inicio
```

```
nodo (car (nth fin puntos)))
```

```
(while (<= i fin)
```

```
(setq x (caadr (nth i puntos)) y (cadadr (nth i puntos)))
```

```
(entmakex (list (cons 0 "line") (cons 10 (list x y)) (cons 11 (list x yf)) (cons 62 4)))
```

```
(setq i (1+ i))
```

```
(entmakex (list (cons 0 "line") (cons 10 (list xo yf)) (cons 11 (list xd yf)) (cons 62 4)))
```

```
(setq ptof(list nodo (list xf yf)))
```

```
ptof)
```

```
(defun nds_conc (elemento lista / origen flag contador)
```

```
(setq contador 0 flag T)
```

```
(while flag
```

```
(setq flag nil)
```

```
(if (assoc (cadr elemento) lista)
```

```
(setq elemento (assoc (cadr elemento) lista) flag T contador (1+ contador))))
```

```
contador)
```

```
(defun esfinal (destino lista / k destino_f origen_i)
```

```
(setq control T) (if (assoc destino lista)(setq control nil))
```

```
control)
```

```
(defun inserta (punto elemento)
```

```
(setq a T)
```

```
(foreach n (list (nth 7 elemento) (nth 8 elemento) (nth 9 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))
```

```
(if a
```

```
(progn
```

```
(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\magneto"
```

```
atts (list (nth 7 elemento) (nth 8 elemento) (nth 9 elemento)))
```

```
(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)
```

```
(foreach n atts (command n))
```

```
(setq ename(entlast));Nos devuelve la entidad insertada
```

```
(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))
```

```
(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))
```

```
(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))
```

```
(setq a T)
```

```
(foreach n (list (nth 10 elemento)(nth 11 elemento)(nth 12 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))
```

```
(if a
```

```
(progn
```

```
(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\diferencial"
```

```
atts (list (nth 10 elemento)(nth 11 elemento)(nth 12 elemento)))
```

```
(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)
```

```
(foreach n atts (command n))
```

```
(setq ename(entlast))
```

```
(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))
```

```
(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))
```

```

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

(setq a T)

(foreach n (list (nth 13 elemento)(nth 14 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\int-corte"

atts (list (nth 13 elemento)(nth 14 elemento)))

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(foreach n atts (command n))

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

(setq a T)

(foreach n (list (nth 15 elemento)(nth 16 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\guardamotor"

atts (list (nth 15 elemento)(nth 16 elemento)))

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(foreach n atts (command n))

(setq ename(entlast));Nos devuelve la entidad insertada

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

```

```

(setq a T)

(foreach n (list (nth 17 elemento)(nth 18 elemento)(nth 19 elemento)(nth 20 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq
a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\magneto-dif"

atts (list (nth 17 elemento)(nth 18 elemento)(nth 19 elemento)(nth 20 elemento)))

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(foreach n atts (command n))

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

```

```

(setq a T)

(foreach n (list (nth 21 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\analizador")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

```

```

(setq a T)

(foreach n (list (nth 22 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

```

```

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\pulsadorparo")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(setq ename(entlast));Nos devuelve la entidad insertada

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

(setq a T)

(foreach n (list (nth 23 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\selector")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

(setq a T)

(foreach n (list (nth 24 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\pulsadormarcha")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

```

```

(setq a T)

(foreach n (list (nth 25 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\contactocerrado")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

```

```

(setq a T)

(foreach n (list (nth 26 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\contactoabierto")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

```

```

(setq a T)

(foreach n (list (nth 27 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\bobinacontactor")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0)

```

```

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

(setq a T)

(foreach n (list (nth 28 elemento)) (if (or (= nil n)(= "" n))(setq a nil)))

(if a

(progn

(setq ud "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\contactor")

(command "insert" ud (cadr punto) 10 10 0 (nth 31 elemento))

(setq ename(entlast))

(setq dist1 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance1"))

(setpropertyvalue ename "Position/Y" (+ (cadr (cadr punto)) dist1))

(setq punto (list (car actual)(list (caadr punto)(+ (cadadr punto) dist1))))))

(if (= (car punto) nil)(setq punto(subst (car actual)(car punto) punto)))

punto

)

(defun ajustatexto (ename / dist2 T1 E)

(setq dist2 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance2"))

(setq der (entget ename))

(setq der (entget (entnext (cdr (assoc -1 der)))))

(while (/= (cdr (assoc 0 der)) "SEQEND")

(setq T1 (abs (- (cadr (assoc 10 der)) (cadr (assoc 11 der)))))

(if (/= T1 0)(setq E (- (/ dist2 (abs (* 2 T1))) 0.1)))

(if (< E 1)

(setq der (subst (cons 41 E)(assoc 41 der) der)))

```

```
(entmod der)
(setq der (entget (entnext (cdr (assoc -1 der))))))
```

10.2 Programa

Finalmente se adjunta el código del programa principal donde se ejecutan las funciones y se implementa el algoritmo que acomete la tarea principal del proyecto.

```
(defun C:diagrama ()
  (gc) (command "attdia" 0) (command "osnap" "none") (command "erase" "all" "")
  (load "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\Libreria18.LSP")
  (setq emb (list) emb_f (list) lista (list) origen "")
  archivo (getfiled "Seleccione archivo Excel" "" "*" 16)
  hoja (getstring T "Nombre de la hoja: ") rango (getstring T "Nombre del rango: ")
  f 0 valores (getcellsfunction archivo hoja rango)
  filas (car (rangoCSV rango)) columnas (cadr (rangoCSV rango))

  (while (<= f filas)
    (setq lista (cons (LM:sublst valores (* f columnas) columnas) lista) f (1+ f)))
  (setq lista (reverse (mapcar '(lambda (x) (subst "" nil x)) lista)))
  (vl-file-delete "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\cuadros.CSV")
  (LM:writcsv lista "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\cuadros.CSV")

  (setq file (open "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\cuadros.CSV" "r"))
  (while (setq leido (read-line file))
    (if (read leido)
      (progn
        (setq value (convierte leido ";"))

        origen (vl-string-trim " ( ) " (vl-princ-to-string (car value))))
```

```

destino (vl-string-trim " ( ) " (vl-princ-to-string (cadr value))))

  (if (vl-string-search "CT" origen)(setq CT value))

  (if (= (nth 2 value) "si")

(setq emb_f (cons value emb_f))

(setq emb (cons value emb))))))

(close file)

(setq emb (reverse (vl-remove (assoc "Trafo" emb) emb)) emb_f (reverse emb_f))

(setq pto (list 0 0) fin nil j 0 dist2 0 contador 0 pto_t (list nil pto) pto_m (list nil pto)

  pto1 (list);(nodo x y) pto2 (list) pos_fl_a 0 pos_fl 0 pto_l nil pto_o nil pto_d nil)

(while (< j (length emb_f))

  (setq actual (nth j emb_f) pto_t (list (car pto_t) (list(+ (caadr pto_t) dist2) (cadadr pto_t)))

    pto1 (cons pto_t pto1) pto_m pto_t)

  (setq atts (list (nth 3 actual) (nth 4 actual) (nth 5 actual)(nth 6 actual)))

  (command "insert"

    "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\tabla" (cadr pto_t) 10 10 0)

  (foreach n atts (command n))

  (setq ename (entlast)

    dist2 (* 1.25 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance2")))

  (ajustatexto ename)

  (setq pto_m (inserta pto_m actual) pto1 (subst pto_m (nth 0 pto1) pto1))

  (if (AND (/= j 0)(/= (car (nth 0 pto1))(car (nth 1 pto1))))

    (setq pto2 (cons (pto&lines pto1 (- j contador) 1) pto2) contador j))

  (if (= j (1- (length emb_f)))

```

```

(setq ptos2 (cons (pto&lines ptos1 (- j contador) 0) ptos2)))

(setq j (1+ j))

)

(setq ptos1 (reverse ptos1) ptos2 (reverse ptos2))

(while (not fin)

(setq j 0 lista (list))

(foreach n emb

(if (esfinal (cadr n) emb) (setq lista (cons n lista))))

(setq lista (reverse lista) maximo 0 emb_f (list))

(foreach n lista

(setq a (nds_conc n emb))

(if (<= maximo a)(setq maximo a)))

(foreach n lista

(setq a(nds_conc n emb))

(if (<= maximo a)(setq emb_f(cons n emb_f))))

(setq emb(foreach n emb_f(setq emb(vl-remove n emb))))

(setq ptos1 (list))

(foreach n (mapcar 'cadr emb_f)

(setq ptos1 (cons (assoc n ptos2) ptos1)))

(foreach n ptos1 (setq ptos2 (vl-remove n ptos2)))

(setq ptos1 (vl-sort ptos1

(function (lambda (e1 e2)

(< (caadr e1) (caadr e2))))))

```

```

(setq j 0 emb_f (reverse emb_f) pto_m (list) ptosaux (list))

(while (< j (length emb_f))

  (setq actual (nth j emb_f) pto_m (assoc (cadr actual) ptos1)

    ptosaux (cons (inserta pto_m actual) ptosaux) j (1+ j)))

  (setq ptosaux (append ptos2 (reverse ptosaux)))

  (setq pp ptosaux ptosaux (list))

  (foreach n (vl-sort-i (mapcar 'car pp) '<))

  (setq ptosaux (cons (nth n pp) ptosaux)))

(setq ptosaux (reverse ptosaux) j 0 pos_fl_a 0)

(while (< j (length ptosaux))

  (if (/= (car (nth j ptosaux))(car (nth (1+ j) ptosaux)))

    (setq ptos2 (cons (pto&lines2 ptosaux pos_fl_a j dist2) ptos2) pos_fl_a (1+ j)))

    (setq j (1+ j)))

  (setq ptos2(:sort-by-letter-mid-max ptos2))

  (if (= (length ptos2) 1)

    (setq pto_m (inserta (car ptos2) CT) fin T)))

(gc)

)

```

10.3 Alternativa

```

(defun C:diagrama2 ()

  (gc) (command "attdia" 0) (command "osnap" "none") (command "erase" "all" "")

  (load "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\Libreria18.LSP")

```

```

(setq emb (list) emb_f (list) lista (list) origen "")

archivo (getfiled "Selecccione archivo Excel" "" "*" 16)

hoja (getstring T "Nombre de la hoja: ") rango (getstring T "Nombre del rango: ")

f 0 valores(getcellsfunction archivo hoja rango)

filas (car (rangoCSV rango)) columnas (cadr (rangoCSV rango))

(while (<= f filas)

  (setq lista (cons (LM:sublst valores (* f columnas) columnas) lista) f (1+ f))

  (setq lista (reverse (mapcar '(lambda (x) (subst "" nil x)) lista)))

  (vl-file-delete "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\cuadros.CSV")

  (LM:writcsv lista "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\cuadros.CSV")

  (setq file (open "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\cuadros.CSV" "r"))

  (while (setq leido(read-line file))

    (if (read leido)

      (progn

        (setq value (convierte leido ";"))

        origen (vl-string-trim " ( ) " (vl-princ-to-string (car value)))

        destino (vl-string-trim " ( ) " (vl-princ-to-string (cadr value))))

      (if (vl-string-search "CT" origen)(setq CT value))

      (if (= (nth 2 value) "si")

        (setq emb_f (cons value emb_f))

        (setq emb (cons value emb))))))

  (close file)

  (setq emb (reverse (vl-remove (assoc "Trafo" emb) emb)) emb_f (reverse emb_f))

  (setq pto (list 0 0) fin nil j 0 dist2 0 contador 0 pto_t (list nil pto) pto_m (list nil pto)

```

```

ptos1 (list);(nodo x y) ptos2 (list) pos_fl_a 0 pos_fl 0 pto_l nil pto_o nil pto_d nil

(while (< j (length emb_f))

(setq actual (nth j emb_f) pto_t (list (car pto_t) (list(+ (caddr pto_t) dist2) (cadadr pto_t)))

      ptos1 (cons pto_t ptos1) pto_m pto_t)

(setq atts (list (nth 3 actual) (nth 4 actual) (nth 5 actual)(nth 6 actual)))

(command "insert"

        "C:\\Users\\User\\Documents\\tfg\\bloques\\tabla" (cadr pto_t) 10 10 0)

(foreach n atts (command n))

(setq ename (entlast)

      dist2 (* 1.25 (getpropertyvalue ename "AcDbDynBlockPropertyDistance2")))

(ajustatexto ename)

(setq pto_m (inserta pto_m actual) ptos1 (subst pto_m (nth 0 ptos1) ptos1))

(if (AND (/= j 0)(/= (car (nth 0 ptos1))(car (nth 1 ptos1))))

    (setq ptos2 (cons (pto&lines ptos1 (- j contador) 1) ptos2) contador j))

(if (= j (1- (length emb_f)))

    (setq ptos2 (cons (pto&lines ptos1 (- j contador) 0) ptos2)))

    (setq j (1+ j))

(setq ptos1 (reverse ptos1) ptos2 (reverse ptos2))

(setq i 0)

(while (< i (length ptos2))

    (setq destino (car (nth i ptos2)) flag T)

    (while flag

        (setq j 0 flag nil)

```

```
(while (< j (length emb))  
  (if (= destino (cadr (nth j emb)))  
    (progn  
      (setq flag T destino (car (nth j emb))  
            ptos2 (subst (inserta (nth i ptos2) (nth j emb)) (nth i ptos2) ptos2)  
            j (1+ (length emb))))))  
    (setq j (1+ j))))  
  (setq i (1+ i))  
)
```

11 ANEXO V: DIAGRAMAS UNIFILARES

A continuación se adjunta el diagrama unifilar tipo, así como su leyenda, del cual se ha extraído la información de cómo se habían de representar cada uno de los elementos que definen un circuito.

Es necesario notar, que para el desarrollo de la solución se han tenido que redefinir estos bloques a los cuales se les han añadido los parámetros:

- *Punto base o de inserción* como punto que sirve de referencia a la hora de insertar el bloque.
- *Distancia1*: longitud vertical de cada uno de los bloques que permiten desplazar el punto de inserción correspondiente al siguiente bloque a colocar dentro de un mismo circuito
- *Distancia2*: longitud horizontal del bloque “tabla” que permite desplazar horizontalmente el punto de inserción de cara al próximo circuito. Además permite realizar un escalado del atributo texto dentro del bloque, resultando perfectamente legible.

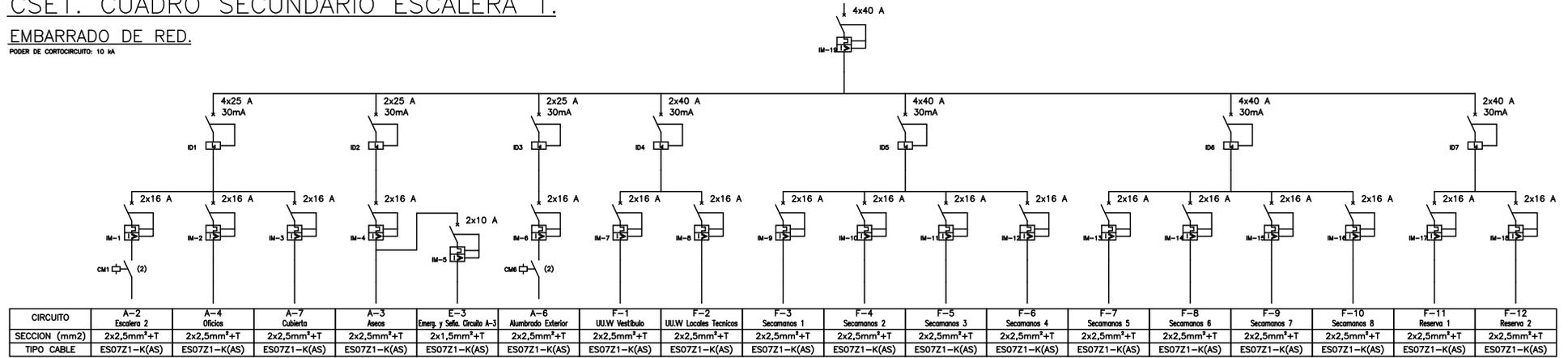
De igual manera, se ha tenido que redefinir la naturaleza de los bloques empleados, teniendo que definirlos como bloques dinámicos con el fin de poder emplearlos en diferentes documentos y poder ser referenciados en cualquier ordenador en el que se use siempre y cuando éstos estén previamente cargados en un archivo.

11.1 Diagramas unifilares de referencia

CSE1. CUADRO SECUNDARIO ESCALERA 1.

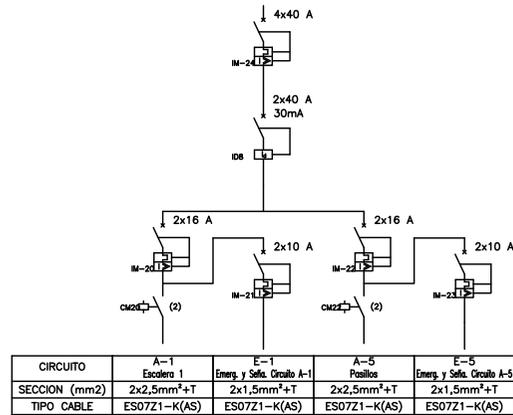
EMBARRADO DE RED.

PODER DE CORTOCIRCUITO: 10 KA



EMBARRADO DE GRUPO.

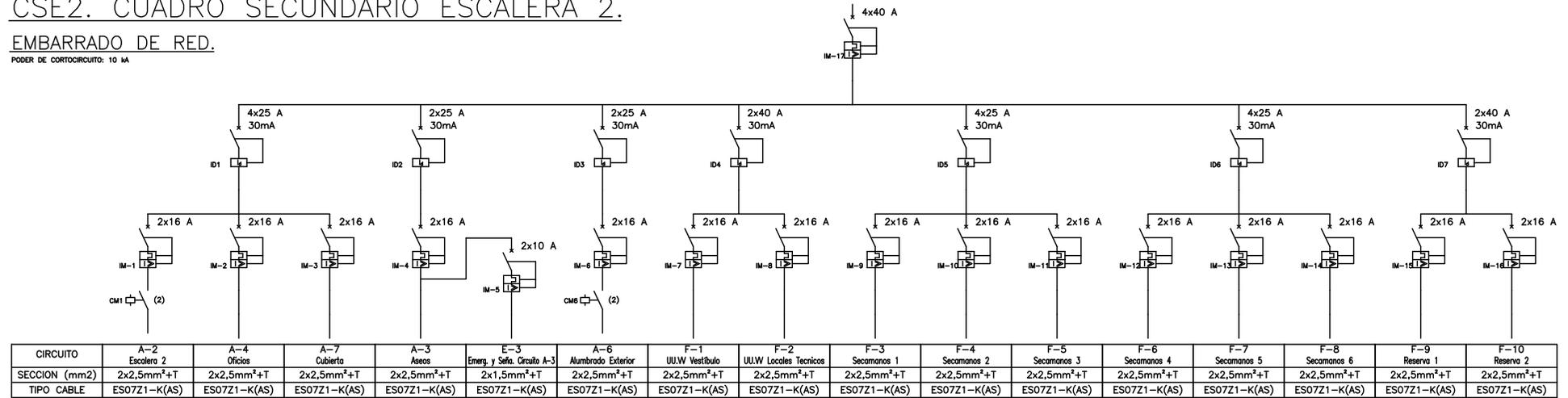
PODER DE CORTOCIRCUITO: 10 KA



CSE2. CUADRO SECUNDARIO ESCALERA 2.

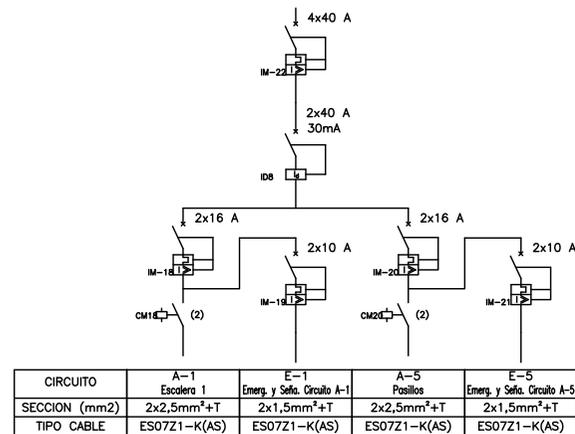
EMBARRADO DE RED.

PODER DE CORTOCIRCUITO: 10 KA



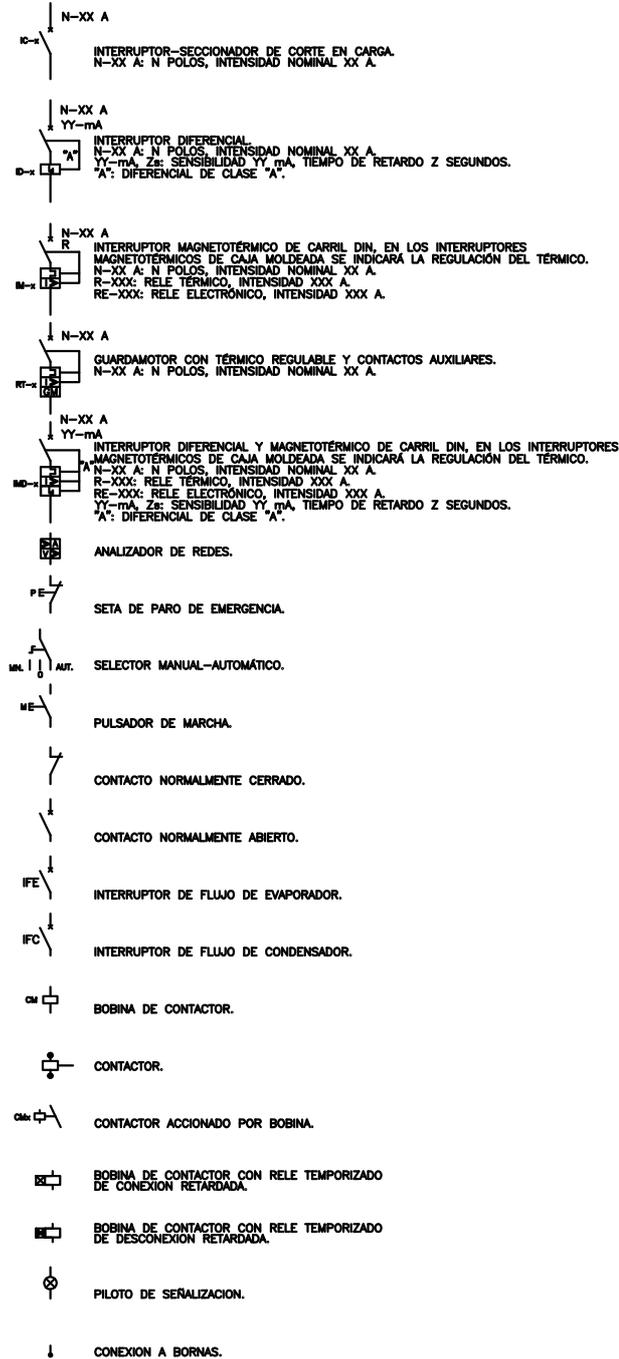
EMBARRADO DE GRUPO.

PODER DE CORTOCIRCUITO: 10 KA



11.4 Leyenda diagramas unifilares

LEYENDA



NOTAS: SALVO INDICACION CONTRARIA TODOS LOS CUADROS TENDRAN LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:

- TODOS LOS INTERRUPTORES MAGNETOTERMICOS SERAN DE CARRIL DIN, SALVO EL CGBT QUE SERAN DE CAJA MOLDEADA Y UN PODER DE CORTE DE 10KA, SALVO INDICACION CONTRARIA.
- LOS CUADROS SE EJECUTARAN CON UNA RESERVA DE ESPACIO DEL 30%.
- TODOS LOS CIRCUITOS DE E/S DEL CUADRO ESTARAN CABLEADOS A REGLETERO DE BORNAS AL IGUAL QUE LAS BOBINAS DE LOS CONTACTORES Y DEBIDAMENTE SEÑALIZADOS.
- LA CONEXION DE TODA LA APARATURA SE EFECTUARA CON TERMINALES A TRAVES DE CANALETA DE PVC FLUJADA AL BASTIDOR.
- LOS ELEMENTOS SE DISPONDRAN DE FORMA QUE SEA FACILMENTE IDENTIFICABLE LA RELACION ENTRE LOS INTERRUPTORES DIFERENCIALES Y SUS INTERRUPTORES MAGNETOTERMICOS ASOCIADOS.
- TODOS LOS CONTACTORES TENDRAN SELECTOR PARA ELECCION DEL MODO DE FUNCIONAMIENTO MANUAL-PARO-AUTOMATICO.
- (1) ALIMENTACION A CONTROL DE ALUMBRADO DE ZONA PARKING SEGUN ESQUEMA TIPO BT-28
- (2) ALIMENTACION A CONTROL DE ALUMBRADO GENERALES SEGUN ESQUEMA TIPO BT-28
- (3) ALIMENTACION A CONTROL DE VENTILADORES EXTRACCION SEGUN ESQUEMA TIPO BT-28
- (4) ALIMENTACION A CONTROL DE VENTILADORES PRESURIZACION SEGUN ESQUEMA TIPO BT-28
- (5) ALIMENTACION A CONTROL DE VENTILADORES ADMISION SEGUN ESQUEMA TIPO BT-28
- (6) ALIMENTACION A CONTROL DE GENERAL DE EQUIPOS SEGUN ESQUEMA TIPO BT-28

REFERENCIAS

- [1] P. C. López, Desarrollo de una Metodología y Herramienta de Cálculo de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2015.
- [2] L. M. Díaz, Análisis comparativo de Herramientas de Cálculo de Instalaciones de Baja Tensión, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2015.
- [3] M. B. Marabotto, Estudio de aplicación de blindobarras en edificios no industriales, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2018.
- [4] Autodesk, AutoLISP Developer's Guide, 2012.
- [5] Autodesk, AutoLISP Reference Guide, 2012.
- [6] Autodesk, DXF Reference, 2011.
- [7] *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias 01 a 52. Real Decreto 842/2002, 2002.*
- [8] D. i. E. d. I. U. d. Sevilla, Apuntes Instalaciones y Máquinas Eléctricas, Sevilla: Universidad de Sevilla, -.
- [9] AENOR, UNE 20434: Sistema de designación de los cables, 1999.
- [10] Schneider, Manual Teórico Práctico Schneider Instalaciones en Baja Tensión, -: Schneider Electric, 2009.