



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

**Análisis, cálculo y diseño de la
instalación eléctrica de una planta de
construcción de transformadores de
distribución**

Autor:

GARCÍA PÉREZ, DAVID

Tutor:

MUÑOZ CANO, MANUEL

Dpto. de INGENIERÍA ELÉCTRICA

Valladolid, abril de 2024

RESUMEN

El siguiente trabajo de fin de grado tiene como objetivo el Análisis, cálculo y diseño de la instalación eléctrica de una planta de construcción de transformadores de distribución. Para ello se han definido los tipos de transformador a fabricar, el proceso productivo de la fabricación de los mismos, asignando una carga eléctrica a la maquinaria implicada en el proceso y al acondicionamiento de los edificios.

La instalación eléctrica partirá de un punto de enganche de media tensión a 13,2 kV, hasta un centro de transformación con un transformador de 1.250 kVA y la red de distribución de baja tensión que alimentará las cargas que suman una potencia total de 972 kW.

La planta se llevará a cabo en un emplazamiento de 5.400 m² ubicado en el Polígono Industrial de La Mora, La Cistérniga.

Se han realizado tres proyectos eléctricos: red de media tensión, centro de transformación y red de distribución en baja tensión.

PALABRAS CLAVE

- Instalación eléctrica
- Transformador
- Baja tensión
- Energía
- Media tensión

ABSTRACT

The following final degree essay has the objective of analyze, design and calculate the electrical installation of an electrical transformer manufacturing plant. To achieve this, the types of transformers to be manufactured have been defined, as well as the production process for their manufacture, assigning an electrical load to the machinery involved in the process and to the conditioning of the buildings.

The electrical installation will start from a 13,2 kV medium voltage connection point , a sub-station with a 1.250 kVA transformer and a low-voltage distribution network that will supply the loads with a combined power of 972 kW.

The plant will be built on a 5.400 m² site placed in the industrial state of La Mora, La Cistérniga.

Three electrical projects have been done: medium voltage network, transformer station and low voltage distribution network.

Keywords

- Electrical instalation
- Transformator
- Low voltaje
- Energy
- Medium voltaje

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1
2. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	4
3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	78
4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO	109
5. CONCLUSIONES	117
6. BIBLIOGRAFÍA	118
7. ANEXOS	DOCUMENTO EXTERNO



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

El transformador eléctrico es un elemento indispensable en el correcto funcionamiento de la red eléctrica. Principalmente está compuesto por un núcleo que se comporta como un circuito magnético y una serie de bobinados que se encuentran enrollados alrededor de él. Haciendo circular una corriente alterna por un bobinado se puede inducir una corriente en otro con tensión proporcional a la relación del número de espiras de ambos bobinados.

Las funciones del transformador son diversas y vitales para el correcto funcionamiento de la red eléctrica. Su capacidad para aumentar o reducir la tensión lo hace esencial para el transporte de la electricidad en grandes distancias. Esta capacidad permite reducir considerablemente las pérdidas de transporte asociadas al efecto Joule.

Otra función es la del aislamiento eléctrico. Los transformadores permiten aislar eléctricamente redes de igual o distinta tensión, previendo así la extensión de cortocircuitos y sobrecargas entre redes.

La relevancia de los transformadores en la industria eléctrica es de gran magnitud, acentuándose con el paso de los años. Estas máquinas tienen una importancia mayúscula a la hora de integrar las energías renovables en el sistema eléctrico, permitiendo aumentar el número de puntos que contribuyen a la generación distribuida. Con ello se consigue un sistema más sostenible y resiliente.

1.2. OBJETIVOS

El presente trabajo de fin de grado tiene por objeto definir el proceso constructivo de los transformadores de distribución, tanto secos como de aceite. Se determinará la maquinaria necesaria y la instalación eléctrica necesaria para el correcto funcionamiento de la planta de construcción.

El complejo industrial donde se realizará la instalación eléctrica está situado en el municipio de La Cistérniga. Se trata de un terreno de 90x60 m, contando con una superficie de 5.400 m².

La instalación constará de una red de distribución de baja tensión, un centro de transformación y una línea de media tensión.

La línea media tensión de 13,2 kV partirá de una Estación de Transformación y Distribución cercana, situada a 500 m. El conductor tendrá un diámetro suficiente para alimentar toda la instalación eléctrica, estando sobredimensionado para futuros incrementos de potencia de hasta un 30%.

El centro de transformación contará con un transformador seco de 1.250 kVA y tendrá unas dimensiones de 8x4 m, situado en el propio complejo industrial.

La red de distribución de baja tensión partirá del Cuadro General de Baja Tensión, donde se organizarán todo el cableado que conectará con los cuadros de niveles inferiores. La red contará con 8 salidas.

Los cuadros se situarán lo más próximos posible de las cargas que alimentarán. Se subdividirán aguas abajo para reducir el impacto de un posible fallo, contando con dispositivos de protección y mando necesarios.

En el diseño de la instalación, se tendrán en cuenta aspectos como el ahorro y la eficiencia energética, realizando una óptima distribución de la energía eléctrica y una buena elección de equipos.

La potencia total instalada es de 972,56 kW: 20.560 W alumbrado y 952.000 W fuerza.

En el desarrollo del proyecto se han elaborado los siguientes documentos:

- Memoria descriptiva
- Cálculos justificativos
- Mediciones y presupuesto
- Conclusiones
- Bibliografía
- Anexos

En la Memoria descriptiva describiremos toda la instalación eléctrica. Para ello necesitamos definir el proceso productivo de fabricación de los transformadores. Indicaremos cuál es la materia prima necesaria y el tipo de transformadores que se fabricarán. A continuación, se elegirá la maquinaria implicada en el proceso, obteniendo así un listado con las diferentes cargas eléctricas. Una vez definida la potencia instalada de la planta se realizará el diseño de la instalación de BT, con sus cuadros y redes de distribución, atendiendo a una mayor disponibilidad, calidad y control de la energía eléctrica. Posteriormente, se definirá el centro de transformación necesario y, por último, la red eléctrica de alimentación en MT desde una ETD de la Compañía distribuidora.

En el documento Cálculos justificativos, se detallarán los cálculos relativos a los tres proyectos necesarios, presentando los resultados obtenidos al final del apartado.

En el siguiente documento, Medición y presupuesto, se realizará el recuento de todos los materiales necesarios, obteniendo el coste total, desglosando el coste unitario y cantidad requerida de cada material.

A continuación, indicaremos las conclusiones más importantes alcanzadas en la realización del trabajo presentado.

En el documento Bibliografía, se citan todos los documentos, páginas web y software empleados en el desarrollo del proyecto.

El último documento lo hemos dedicado a los Anexos. El primero dedicado a los diferentes planos de los tres proyectos y los tres siguientes, a los respectivos estudios de Seguridad, Higiene y Salud en el Trabajo y los diferentes Pliegos de Condiciones.

Como apoyo para la realización de los diferentes cálculos, se utilizarán diferentes módulos de software de cálculo de instalaciones eléctricas.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE

2. MEMORIA DESCRIPTIVA	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. ALCANCE.....	4
2.3. REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA	4
2.4. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	6
2.5. FUNDAMENTO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES	6
2.5.1. Fundamento de los transformadores	6
2.5.2. Construcción de transformadores	11
2.6. TIPO DE TRANSFORMADORES A FABRICAR	36
2.6.1. Transformadores de distribución MT/BT	36
2.7. PRODUCTOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN	40
2.7.1. Materia prima principal.....	40
2.7.2. Otros materiales.....	41
2.7.3. Accesorios.....	42
2.8. LÍNEAS DE FABRICACIÓN	42
2.9. PROCESO PRODUCTIVO.....	43
2.9.1. Proceso productivo de transformadores en baño de aceite.....	43
2.9.2. Proceso productivo de transformadores secos.....	46
2.10. MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	47
LAS MÁQUINAS Y EQUIPOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO PRODUCTIVO SON LAS SIGUIENTES:.....	47
2.11. COMPLEJO INDUSTRIAL.....	47
2.11.1. Descripción de las diferentes zonas	47
2.12. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	49
2.12.1. Consideraciones y criterios técnicos.....	49
2.13. CARGAS ELÉCTRICAS	57
2.13.1. Cargas del proceso productivo	57
2.13.2. Cargas de los servicios auxiliares.....	57
2.13.3. Cargas de los almacenes	58
2.13.4. Cargas de las oficinas	58
2.14. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA A REALIZAR.....	59
2.14.1. Red de baja tensión	59
2.14.2. Centro de transformación	76
2.14.3. Red de alimentación en media tensión	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Imagen por satélite de la parcela. (Fuente: Google Maps)	6
Figura 2: Parcela. (Fuente: Catastro)	6
Figura 3: Transformador en baño de aceite [23].....	9
Figura 4: Transformador secos encapsulados en resina epoxi. [19].....	9
Figura 5: Comparativa transformadores. [18]	10
Figura 6: Núcleo armado de un transformador. [6]	11
Figura 7: Corte de chapas magnéticas [6].....	12
Figura 8: Bridas y bulones [6]	12
Figura 9: Tipo de núcleos magnéticos. [6]	13
Figura 10: Comparación de las dimensiones en los núcleos de tres y cinco columnas. [6]	13
Figura 11: Tipos de construcción núcleo. [6]	14
Figura 12: Corte de chapa step-lap. [6].....	15
Figura 13: Núcleo de sección escalonada. [6]	15
Figura 14: Tipos de secciones de columnas. [6]	16
Figura 15: Núcleo en sección escalonada [6]	16
Figura 16: Núcleo en sección escalonada [6]	16
Figura 17: Vistas de núcleos montados. [6].....	17
Figura 18: Bobinado cilíndrico de 1 capa. [6]	18
Figura 19: Bobinado cilíndrico de 2 capas [6]	19
Figura 20: Bobinado cilíndrico multicapa[6]	19
Figura 21: Bobinado tipo hélice.[6].....	19
Figura 22: Bobinado de discos tipo continuo.[6]	20
Figura 23: Bobinado de baja tensión en banda de aluminio [6].....	20
Figura 24: Bobinado de AT en bandas de aluminio formando bobinas individuales conectadas en serie [6]	21
Figura 25: Bobinas en bandas de AT cubierta con malla de fibra de vidrio dispuesta para ser introducida dentro de un molde metálico en la autoclave [6]	21
Figura 26: Calado de bobinas en el circuito magnético [6]	22
Figura 27: Estufa de secado de partes activas [6].....	23
Figura 28: Campana de vacío para el llenado de aceite [6]	23
Figura 29: Proceso de encapsulado en vacío [6].....	24
Figura 30: Autoclave y colada de resina llenando los moldes con las bobinas. [6]	25
Figura 31: Comparativa pasatapas de alta y baja tensión. [6].....	27
Figura 32: Transformador en baño de aceite [25].....	30
Figura 33: Elementos auxiliares del transformador [26]	30
Figura 34: Relé Buchholz [27]	31
Figura 35: Termómetro de esfera [22]	31
Figura 36: Termostato [39].....	31
Figura 37: Válvula de sobrepresión [27].....	32
Figura 38: Nivel magnético [33].....	32
Figura 39: Desecador de aire [34]	32
Figura 40: Dispositivo de toma de gases [24]	33
Figura 41: Imagen térmica [20].....	33
Figura 42: Cambiador de tomas sin carga [36]	34
Figura 43: Cambiador de tomas bajo carga [28].....	34
Figura 44: Bobinas de chapa de acero al silicio [32].....	40
Figura 45: Líneas de fabricación. (Fuente: Elaboración propia)	42

Figura 46: Diagrama del proceso trafos en aceite. (Fuente: Elaboración propia)
..... 43

Figura 47: Rollos y tiras de chapa [6] 44

Figura 48: Ensamblaje de chapas [6]..... 44

Figura 49: Solape múltiple step lap y bulones de apriete del núcleo [6] 44

Figura 50: Diagrama del proceso trafos secos. (Fuente: Elaboración propia) . 46

Figura 51: Plano en planta (Fuente: Elaboración propia) 48

Figura 52: Conductores aislados multipolares y unipolares [30] 52

Figura 53: Canalización eléctrica prefabricada [31] 52

Figura 54: Esquema de distribución TT [29] 53

Figura 55: Cuadro General de Distribución. (Fuente: Elaboración propia) 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de aprovechamiento del núcleo.....	17
Tabla 2: Clasificación de los aislantes. [6]	25
Tabla 3: Designación de la refrigeración de un transformador. [13]	26
Tabla 4: Elementos auxiliares de los transformadores en baño de aceite. [17] 29	
Tabla 5: Elementos auxiliares de los transformadores secos. [17]	29
Tabla 6: Características eléctricas y de dimensiones de los transformadores en aceite. (Fuente: Elaboración propia).....	38
Tabla 7: Características eléctricas y de dimensiones de los transformadores secos. (Fuente: Elaboración propia).....	40
Tabla 8: Tipos de maquinaria. (Fuente: Elaboración propia).....	47
Tabla 9: Cargas eléctricas. (Fuente: Elaboración propia).....	57
Tabla 10: Alimentación red de baja tensión. (Fuente: Elaboración propia)	60
Tabla 11: Interruptores del Cuadro General de Distribución. (Fuente: Elaboración propia)	60
Tabla 12: Datos salidas Cuadro General de Distribución. (Fuente: Elaboración propia)	61
Tabla 13: Datos Subcuadros Nivel 1. (Fuente: Elaboración propia)	66
Tabla 14: Datos consumo en ruta Subcuadros Nivel 1. (Fuente: Elaboración propia)	68
Tabla 15: Datos Subcuadros Nivel 2. (Fuente: Elaboración propia)	75
Tabla 16: Potencia total instalada. (Fuente: Elaboración propia)	75

2. MEMORIA DESCRIPTIVA

2.1. ANTECEDENTES

Como punto final al estudio del Grado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Valladolid, se realiza el presente Trabajo de Fin de Grado: “Análisis, cálculo y diseño de la instalación eléctrica de una planta de construcción de transformadores de distribución”.

Para la construcción de transformadores eléctricos de potencia se definirá la ubicación de la planta, la descripción del proceso de fabricación, los materiales a emplear, la maquinaria necesaria y su implantación y las superficies a ocupar.

Partiendo de las potencias eléctricas instaladas de la maquinaria y equipos, además de las de las instalaciones para el acondicionamiento de los edificios, se diseñará y calculará la instalación eléctrica que suministrará energía para el correcto funcionamiento de la planta, justificando las soluciones adoptadas.

2.2. ALCANCE

Partiendo de los productos a fabricar, que este caso son transformadores eléctricos de potencia, de acuerdo con las distintas fases del proceso, desde la materia prima que llega a la fábrica hasta el producto acabado que sale de ella, se distribuye, en un plano en planta, cada una de las instalaciones y equipos con sus dimensiones. Además de las instalaciones y los equipos del proceso, se tendrán en cuenta las instalaciones auxiliares de acondicionamiento de los edificios y los servicios centrales, que aseguren un buen funcionamiento de la fábrica.

Implantados los equipos, con sus dimensiones y características, se procederá al diseño y cálculo de la instalación eléctrica. Se partirá de un punto de enganche de media tensión, perteneciente a la compañía suministradora, hasta los consumidores finales en la fábrica, pasando por un centro de transformación que reduzca la tensión a la de utilización en baja tensión.

Este trabajo incluye los siguientes proyectos:

- Proyecto de la Red de Distribución de Baja Tensión.
- Proyecto del Centro de Transformación.
- Proyecto de la Línea Media Tensión.

2.3. REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Normas UNE y recomendaciones UNESA que sean de aplicación.

- Normas particulares y de normalización de la Compañía suministradora de energía eléctrica.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias ITC-BT 01 a 52. (Actualización 9 de enero de 2020).
- RD 314/2006 del Ministerio de Vivienda (BOE 28/3/2006). CTE HE 3 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- REGLAMENTO (UE) 2019/1781 DE LA COMISIÓN, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos y los variadores de velocidad.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Real Decreto 317/2006, de 17 de marzo. Código Técnico de la edificación.
- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- UNE-EN 60076-1: Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades.
- UNE-EN 60076-5: Transformadores de potencia. Parte 5: Aptitud para soportar cortocircuitos.
- UNE-EN 60076-10: Transformadores de potencia. Parte 10: Determinación de los niveles de ruido.
- UNE 21428-1: Transformadores trifásicos sumergidos en aceite, para distribución en Baja Tensión de 50 a 2500 kVA, 50 Hz, con tensión más elevada para el material de hasta 36 kV. Parte 1: Requisitos Generales.
- REGLAMENTO (UE) No 548/2014 DE LA COMISIÓN, de 21 de mayo de 2014, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los transformadores de potencia pequeños, medianos y grandes.
- UNE-EN 50588-1: Transformadores de media potencia a 50Hz, con tensión más elevada para el material no superior a 36kV. Parte 1: Requisitos Generales
- UNE-EN 61099: Líquidos aislantes. Especificaciones para ésteres orgánicos sintéticos nuevos para uso eléctrico.
- UNE-EN IEC 60296:2021 Fluidos para aplicaciones electrotécnicas. Aceites minerales aislantes para equipos eléctricos.
- UNE 207019 IN: Modelo único de protocolo de ensayos individuales para transformadores de distribución MT/BT.

- GUÍA RAT 07. Edición: Diciembre 2021 – Revisión: 2. Guía técnica de aplicación – Transformadores y autotransformadores de potencia. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

2.4. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La fábrica donde se pretende llevar a cabo la fabricación de transformadores de potencia se localiza en una parcela industrial, de tipo de terreno urbano, orientada al norte, situada en el Polígono Industrial de la Mora, en la Calle Haya, 47193, La Cisterniga, Valladolid.

Se trata de una parcela industrial de tipo de terreno urbano, orientada al norte, con acceso por carretera asfaltada, con una superficie de 5.400 m², de forma rectangular y unas dimensiones de 90 x 60 m.

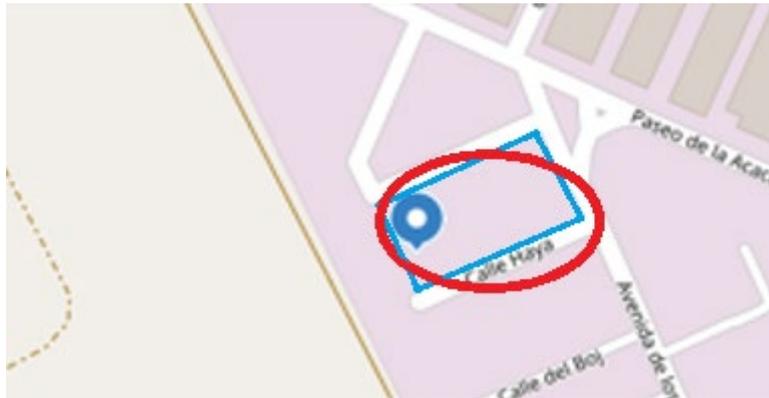


Figura 1: Imagen por satélite de la parcela. (Fuente: Google Maps)

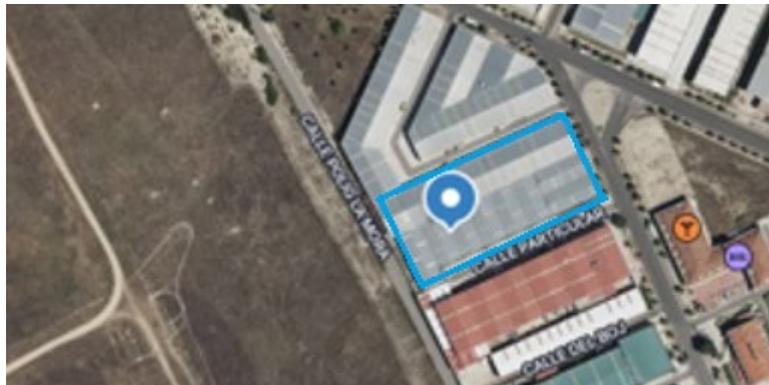


Figura 2: Parcela. (Fuente: Catastro)

2.5. FUNDAMENTO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES

2.5.1. Fundamento de los transformadores

Definición

Los transformadores son aparatos estáticos destinados a transferir la energía eléctrica de un circuito a otro, utilizando, como enlace principal entre ambos, un flujo común de inducción. Convierte energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión en energía eléctrica alterna de otro nivel de tensión.

Está constituido por dos o más bobinas aisladas entre si eléctricamente y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo, por lo tanto, hay que hacer notar que el transformador supone una discontinuidad, es decir, no se pueden unir directamente los dos circuitos.

Uno de los devanados se conecta a una fuente de potencia de corriente alterna y se denomina primario, mientras que el otro, que se conecta a la carga se denomina secundario. Si existiese un tercer arrollamiento, sería el devanado terciario.

Los arrollamientos de un transformador pueden estar provistos de tomas o derivaciones para variar su relación de transformación.

Características de los transformadores

Las principales características nominales de un transformador son las siguientes:

- Número de fases
- Potencia asignada
- Relación de transformación
- Tensiones asignadas de vacío
- Tensión de cortocircuito
- Tipo de refrigeración
- Grupo de conexión
- Frecuencia
- Calentamiento
- Altitud del emplazamiento sobre el nivel del mar
- Pérdidas en vacío
- Pérdidas en carga
- Margen de regulación
- Nivel de aislamiento devanado primario frecuencia industrial
- Nivel de aislamiento devanado secundario frecuencia industrial
- Nivel de aislamiento devanado primario onda choque
- Nivel de aislamiento devanado secundario onda choque
- Peso aproximado
- Peso del aceite

Tipos de transformadores

- ***Por la función que realizan y la clase de servicio a los que se destinan:***
 - ✓ Transformadores de potencia
 - ✓ Transformadores de distribución
 - ✓ Transformadores elevadores (monofásicos o trifásicos)
 - ✓ Autotransformadores de interconexión (monofásicos o trifásicos)
 - ✓ Transformadores reductores de 1er escalón: AT/72,5 kV (trifásicos)
 - ✓ Transformadores reductores de 2º escalón: 72,5 a 36-24-17,5 kV (trifásicos)
 - ✓ Transformadores usos especiales: rectificadores, hornos, tracción, etc. (monofásicos, bifásicos o en "V" y trifásicos)

Se consideran transformadores de potencia a aquellos que superan los 2.000-2.500 kVA y transformadores de distribución aquéllos con potencias inferiores a los 2.500 kVA y tensiones en AT iguales o menores de 30 kV.

Los transformadores elevadores son los destinados a elevar la tensión de salida del generador hasta el voltaje de transmisión del sistema que en muchos casos puede llegar a superar los 525 kV.

La conexión usual es la de Triángulo-Estrella, debido principalmente a que el arrollamiento primario conectado al generador (en triángulo) mantiene la impedancia de secuencia cero en valores razonablemente bajos y, por otra parte, reduce la corriente de fase en el arrollamiento en $\sqrt{3}$ veces.

Los transformadores reductores reducen la tensión hasta niveles apropiados para la distribución de la energía.

Los autotransformadores se utilizan frecuentemente en la transmisión de grandes potencias a sistemas ligados de distintas tensiones, ya que permiten el intercambio entre sistemas tanto de la potencia activa como reactiva. Generalmente se suelen construir para grandes potencias y presentan ventajas importantes respecto del transformador equivalente, puesto que reduce el tamaño, peso, pérdidas y coste.

➤ **Según el sistema de tensiones:**

- ✓ Transformadores monofásicos.
- ✓ Transformadores trifásicos.
- ✓ Transformadores trifásicos-exafásicos.
- ✓ Transformadores trifásicos-dodecafásicos.
- ✓ Transformadores trifásicos-monofásicos.
- ✓ Etc.

➤ **Según el medio para el que estén preparados:**

- ✓ De interior.
- ✓ De intemperie.

➤ **Por el elemento refrigerante:**

- ✓ En baño de aceite.
- ✓ Secos.

Los refrigerados en baño de aceite se pueden dividir en:

- Con depósito de expansión.
- Herméticos de llenado integral.

Transformadores en baño de aceite y transformadores secos

Transformadores en baño de aceite



Figura 3: Transformador en baño de aceite [23]

Transformadores inmersos en líquidos dieléctricos para Europa están fabricados de acuerdo al Reglamento Europeo N°548/2014 con bajas pérdidas, transformadores de alta eficiencia energética.

Principales aplicaciones

- Sector servicios (Hospitales, hoteles, escuelas, centros comerciales, etc.)
- Infraestructuras (Aeropuertos, instalaciones militares, puertos, etc.)
- Sector industrial (Industrias químicas, fábricas de papel, silos, etc.)
- Sector agrícola (Industria agrícola, maquinaria, iluminación, etc.)
- Elevación de energía (Parques eólicos, fotovoltaica, centrales hidroeléctricas, etc.)
- Tracción (Ferrocarriles, tranvías, etc.)
- Marítimo (Cruceiros, plataformas en alta mar, etc.)

Transformadores secos encapsulados en resina epoxi



Figura 4: Transformador secos encapsulados en resina epoxi. [19]

Gracias al desarrollo en técnicas de fabricación, así como los materiales que se utilizan (como la resina epoxi) son cada vez más usados debido a su alta fiabilidad y a su poca necesidad de planes de mantenimiento, así como el valor añadido de un menor impacto medioambiental en comparación con otros modelos de transformadores de distribución.

Los transformadores encapsulados en resina epoxi, responden a esta denominación al llevar el devanado de Media Tensión encapsulado en resina, utilizando un tratamiento tanto térmico como de vacío y un proceso de gelificación y polimerización muy específico y controlado, que permiten dar una consistencia dieléctrica y mecánica fundamental.

En condiciones ambientales particularmente desfavorables, como la presencia de humedad, la contaminación industrial y marina y el alto riesgo de incendio, los transformadores secos encapsulados cumplen todos los requisitos para su utilización.

Principales aplicaciones

- Sector servicios (Hospitales, hoteles, escuelas, centros comerciales, etc.)
- Infraestructuras (Aeropuertos, instalaciones militares, puertos, etc.)
- Sector industrial (Industrias químicas, fábricas de papel, silos, etc.)
- Elevación de energía (Parques eólicos, fotovoltaica, centrales hidroeléctricas, etc.)
- Tracción (Ferrocarriles, tranvías, etc.)
- Marítimo (Cruceiros, plataformas en alta mar, etc.)

Comparativa entre transformadores en baño de aceite y secos



Figura 5: Comparativa transformadores. [18]

Comparando ambas tecnologías, cada una presenta ventajas e inconvenientes tecnológicos, sin embargo, es el riesgo de incendio y la toxicidad de los gases emitidos en la combustión los que indudablemente restringen la utilización de los transformadores en baño de aceite en el interior de inmuebles. Han sido estos inconvenientes los que han dado lugar al creciente desarrollo de los transformadores secos por su buen comportamiento al fuego y fácil reciclado al final de su vida útil.

2.5.2. Construcción de transformadores

Los elementos esenciales de construcción de los transformadores son:

- Núcleo o circuito magnético
- Arrollamientos o circuito eléctrico
- Aislamientos
- Sistema de refrigeración
- Aisladores pasatapas
- Cuba o tanque
- Otros elementos constructivos

Núcleo o circuito magnético

La función del núcleo es la de conducir el flujo magnético que se genera al circular una corriente alterna por los devanados.

El circuito magnético está constituido esencialmente por un conjunto de chapas magnéticas provistas de tensores (piezas de apriete y bridas) fuertemente sujetas por bulones.

El núcleo se realiza con chapa magnética de cristales orientados y aisladas sobre las dos caras para tener pérdidas relativamente bajas por efecto de histéresis y corrientes de Foucault.

Partes que constituyen el circuito magnético

- Culatas o yugos: Unen entre sí las columnas para cerrar el circuito magnético.
- Ventana: Espacio entre las columnas y las culatas, por donde pasan los devanados.
- Columnas: Partes del núcleo donde se montan los devanados del transformador.
- Herrajes o bastidor: La armadura o herrajes de sujeción (también llamado bastidor) sujetan el núcleo usando tornillos opresores, que unen las chapas entre sí, y tornillos tensores que unen el yugo contra la columna eficazmente.

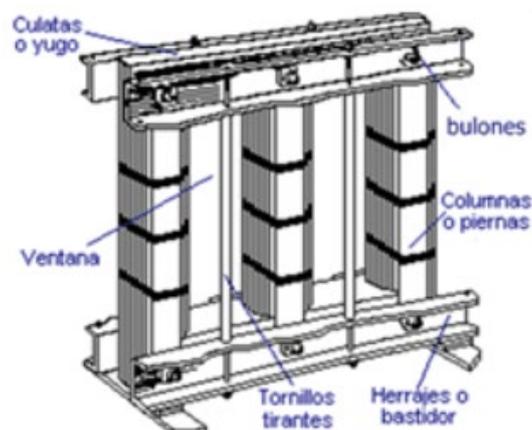


Figura 6: Núcleo armado de un transformador. [6]

Preparación para el montaje de las chapas magnéticas

Los núcleos utilizan chapa magnética de 0,30 mm de espesor constituida por aleación de acero y silicio en el que el porcentaje de silicio está cuidadosamente estudiado para obtener la máxima permeabilidad magnética.

La aportación de silicio tiene la finalidad de reducir las pérdidas por histéresis, así como aumentar la resistividad del acero, ya que al aumentar la resistividad del acero se logra disminuir las pérdidas por corrientes parásitas. El silicio también estabiliza la chapa, ayudando a evitar el envejecimiento.

El corte de las chapas es objeto de una atención cuidadosa para evitar el más pequeño defecto, que se traduciría en el montaje en el consiguiente aumento de los entrehierros, eliminando las rebabas que pudieran quedar, una vez cortada y punzonada.



Figura 7: Corte de chapas magnéticas [6]

En la actualidad se utilizan chapas de grano orientado laminadas en frío que vienen preparadas mediante un tratamiento superficial a base de una pintura inorgánica de alta resistencia mecánica y que soporta temperaturas superiores a los 800 °C, temperatura superior a la que se alcanza durante el tratamiento térmico de estos materiales. Este tratamiento proporciona el aislamiento necesario para un mejor acabado y rendimiento de la chapa magnética, es resistente al aceite utilizado en los transformadores, tiene una buena adherencia y resiste las operaciones normales de cizallado y troquelado.

Montaje de núcleos

El corte y punzonado de la chapa debe ser vigilado cuidadosamente para evitar las rebabas que originarían pérdidas suplementarias.

Los conjuntos de chapas magnéticas se aprietan mediante bulones y bridas para darles rigidez mecánica y evitar sus vibraciones. Estos bulones y bridas de apriete estarán aislados del núcleo. Las bridas están formadas generalmente por perfiles de hierro soldados, utilizándose también la madera para transformadores de pequeña potencia.

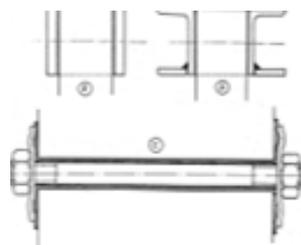


Figura 8: Bridas y bulones [6]

a) De madera b) De perfiles soldados c) Detalle de un bulón de apriete

Forma de los circuitos magnéticos

Las columnas son las partes de un circuito magnético sobre las que se montan los devanados y culatas las partes que realizan la unión entre las columnas.

Los circuitos magnéticos se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Acorazados
- De columnas

➤ Núcleo tipo acorazado:

En el núcleo de tipo acorazado las culatas están dispuestas alrededor de los devanados y parecen protegerlos, a modo de una coraza. Esto permite reducir el flujo de dispersión magnética.

➤ Núcleo tipo columna:

En el núcleo de tipo columnas los devanados rodean casi por completo al núcleo magnético.



Figura 9: Tipo de núcleos magnéticos. [6]

El circuito magnético de cinco columnas es empleado en el caso de unidades muy grandes, para reducir la altura de la culata y hacer el aparato más fácilmente transportable. A igualdad de potencia y tensiones, precisa más peso de chapa magnética y menos peso de cobre.

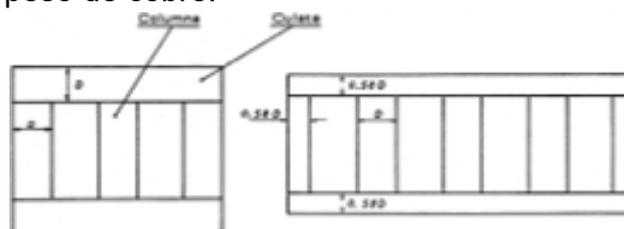


Figura 10: Comparación de las dimensiones en los núcleos de tres y cinco columnas. [6]

En determinados casos los de tipo acorazado presentan ventajas indudables sobre el transformador convencional de “columnas”. Entre ellas destacan las siguientes:

- Mejor resistencia a los esfuerzos de cortocircuito por tener una estructura más compacta.
- Mayor flexibilidad para conseguir determinadas combinaciones de impedancias en el caso de 3 arrollamientos, que en ciertos casos son difíciles (o imposibles) de conseguir en transformadores de columnas.
- Menores pérdidas totales a plena carga, ya que por tener más peso de chapa tendrá evidentemente más pérdidas de excitación, pero al precisar menos masa de cobre las pérdidas en los bobinados serán menores, y teniendo en cuenta que

éstas últimas pueden ser a plena carga del orden de 10-12 veces mayores de las de vacío, las pérdidas totales (vacío + bobinados) serán inferiores en el transformador acorazado.

- Por tanto, el transformador tipo acorazado está especialmente indicado en transformadores de generador, o en aquellos casos donde el transformador vaya a funcionar muchas horas a plena carga o próximo a la plena carga.
- Menor cantidad de aceite.

Sin embargo, presentan el inconveniente de un mayor costo de fabricación que los equivalentes de columnas, en transformadores con potencias inferiores a los 150 MVA, así como un mayor importe del desmontaje para reparación.

La unión entre una columna y una culata (junta) debe tener el menor espesor posible, reduciendo así el mínimo el valor de la reluctancia en el núcleo. Para insertar los devanados y aisladores en el núcleo es necesario que la culata superior pueda abrirse.

Los núcleos se forman con la chapa ya aislada y cortada con tres procedimientos:

- Núcleo a tope
- A solape
- Corte a 45°

➤ Núcleo a tope

En la construcción a tope o plana, las columnas y las culatas se montan separadamente y, una vez instalados los devanados, se coloca la culata sobre las columnas y con ayuda de piezas de sujeción se unen.

➤ A solape

En la construcción a tope o entrelazada, el yugo inferior y las columnas se ensamblan con un desfase de posición, par-impar, dejando el espacio del yugo superior. Una vez instalados los devanados se finaliza el laminado del yugo superior.

En estas dos construcciones el flujo no se establece longitudinalmente en relación con la dirección del laminado lo cual origina un aumento de pérdidas.

➤ Corte a 45°

En la construcción a 45° permite que el flujo circule prácticamente en la dirección de la laminación de la chapa lo cual se transforma en menores pérdidas y mínima intensidad de vacío.

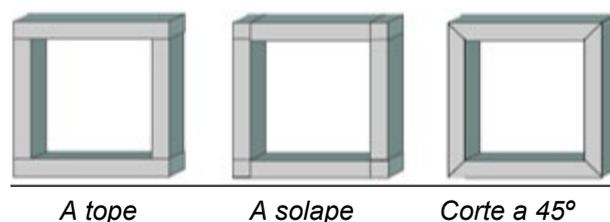


Figura 11: Tipos de construcción núcleo. [6]

En los núcleos de tres columnas, la optimización del corte y apilado de las chapas permite obtener un mínimo de perturbaciones del flujo magnético al nivel del paso de las columnas hacia las culatas. Las chapas se cortan con un ángulo de 45°, permitiendo que el flujo magnético circule lo más próximo posible al sentido de la laminación, disminuyendo de esta forma las pérdidas.

La técnica de apilado de las chapas puede ser:

- Simple (butt-lap)
- Múltiple (step-lap)

El método de apilado múltiple, step-lap, incrementa la eficacia de la unión, acortando el solape, lo que reduce las pérdidas del núcleo, la corriente de excitación y el nivel de ruido.



Figura 12: Corte de chapa step-lap. [6]

Por razones de tipo económico y también para equilibrar los esfuerzos electrodinámicos que puedan presentarse entre los conductores, es conveniente que los devanados de las bobinas tengan forma circular.

Para conseguir esto sería lógico que la sección del núcleo ferromagnético fuese a su vez circular. Sin embargo, esto resultaría costoso de cara al corte de la chapa y al montaje del núcleo.

Una solución técnica intermedia y económica, consiste en utilizar columnas con secciones en escalones. Este tipo de secciones permite un mayor aprovechamiento del área interior de los devanados.



Figura 13: Núcleo de sección escalonada. [6]

La sección escalonada de las columnas facilita la adopción de bobinas circulares y al mismo tiempo asegura la circulación del fluido refrigerante por los canales que quedan entre el núcleo y el arrollamiento.

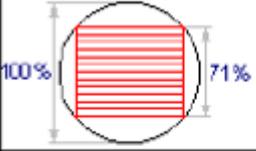
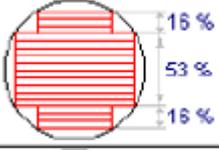
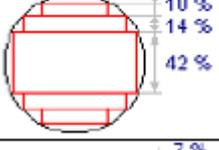
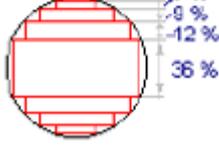
Potencia de utilización	Número de escalones	Sección de las columnas
1 KVA	1	 100% 71% SECCIÓN CUADRADA
10 KVA	2	 16% 53% 16% SECCIÓN CRUCIFORME
100 KVA	3	 10% 14% 42% SECCIÓN DE ESCALONES
500 KVA	4	 7% 8% 12% 36% SECCIÓN DE ESCALONES

Figura 14: Tipos de secciones de columnas. [6]

En los grandes transformadores para favorecer la evacuación del calor producido, se prevén unos canales interiores longitudinales que permiten mantener en el interior del núcleo temperaturas convenientes según normas.



Figura 15: Núcleo en sección escalonada [6]



Figura 16: Núcleo en sección escalonada [6]

La rigidez mecánica de las columnas se obtiene en máquinas de mediana y gran potencia mediante placas de presión y tornillos pasantes aislados con manguitos de papel bakelizado ya que de no ser así se producirían calentamientos por dispersión de flujos que podrían poner en peligro la vida del transformador al producirse una elevación de temperatura motivada por pérdidas suplementarias.



Figura 17: Vistas de núcleos montados. [6]

El factor de aprovechamiento es el cociente de dividir la sección del hierro en el núcleo por la totalidad del mismo hierro más aislamiento.

	Espesor nominal	Naturaleza del aislamiento	Coefficiente de relleno
Chapa de silicio ordinario	35/100	Papel	0,84
	35/100	Esmalte	0,89
	40/100	Papel	0,845
	40/100	Esmalte	0,895
Chapa de cristales orientados	35/100	Esmalte	0,94
	35/100	“Carlite”	0,965

Tabla 1: Factores de aprovechamiento del núcleo

Arrollamientos o circuito eléctrico (devanados)

Conductores

Se pueden emplear conductores de cobre electrolítico recocido, o de aluminio, de sección circular para pequeñas intensidades y en forma de banda o de pletina rectangular con aristas redondeadas para las corrientes más intensas.

Se deben considerar las características particulares de ambos materiales a la hora de afrontar el diseño del transformador eléctrico.

Las ventajas que presentan los devanados de cobre son la resistencia mecánica y una buena conductividad eléctrica (lo que supone una bobina de menor tamaño). Por otro lado, las principales ventajas del aluminio son una eficiente disipación de calor y una considerable reducción en peso.

En el caso de los conductores de cobre, existen en forma de hilos redondos (para diámetros inferiores a 4 mm) o de sección rectangular (denominados pletinas de cobre) para secciones mayores. Los conductores están recubiertos por una capa aislante, que suele ser de barniz en pequeños transformadores y que para pletinas está formado de una o varias capas de fibra de algodón o cinta de papel.

Cobre

Se emplea metal completamente puro, en forma de hilos o rectangulares, sometidos a un recocido para restituirles las propiedades modificadas por las operaciones mecánicas.

El cobre puede ser estirado en hilos del orden de 0,1 mm de diámetro, se le puede recubrir de una fina capa de esmalte y es muy buen conductor de la electricidad y del calor.

Aluminio

También puede ser estirado en hilos, sin embargo, sus características mecánicas impiden obtener un diámetro menor de 0,6 mm. El aluminio al aire se recubre de una delgada capa de alúmina que dificulta la ejecución de los empalmes por contacto y por ello se recubren los terminales con estaño.

Arrollamientos

Las bobinas de baja tensión van montadas en la parte interior junto al núcleo y las de alta tensión concéntricas y exteriores a las anteriores, van montadas sobre cilindros aislantes de papel baquelizado de alta resistencia.

Tipos de bobinados

Existen diferentes tipos de bobinados, dependiendo de las diferentes tensiones e intensidades de los transformadores. Para transformadores de columnas tenemos:

- Bobinados tipo cilíndrico de 1 capas:
Se utilizan para arrollamientos de BT y terciarios para intensidades bajas y medias, así como para algunos tipos de regulación. Las espiras se disponen unas sobre otras, y pueden estar formadas por uno o varios conductores. Tienen una buena resistencia mecánica, pero al carecer de separadores entre las espiras presentan una escasa refrigeración.



Figura 18: Bobinado cilíndrico de 1 capa. [6]

- Bobinados tipo cilíndrico de 2 capas:
Se utilizan para arrollamientos de BT y muy fuertes intensidades. Cada capa está formada por varios conductores en paralelo dispuestos axialmente; cada capa se bobina en un sentido, y al pasar de una capa a otra es preciso transponer los conductores. El principio y final de bobinado queda siempre en la parte superior del arrollamiento.

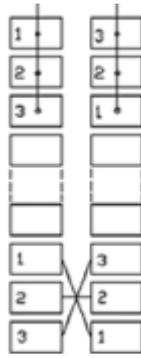


Figura 19: Bobinado cilíndrico de 2 capas [6]

- Bobinados tipo cilíndrico multicapa:

Se utilizan para arrollamientos de AT. Son bobinados con alta resistencia mecánica, entre capas llevan separadores y varios extractos de papel para subdividir el espacio entre capas y obtener tanto un buen aislamiento como una eficaz refrigeración.

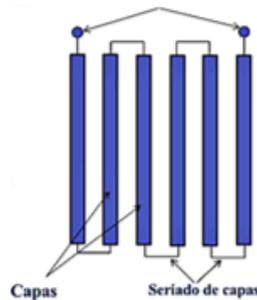


Figura 20: Bobinado cilíndrico multicapa[6]

- Bobinados tipo hélice:

Se utilizan para arrollamientos de BT y grandes intensidades. Pueden fabricarse con uno o dos mazos de conductores y disponen de separadores entre espiras y mazos. Para muy altas intensidades se fabrican con dos hélices, el paso de una hélice a otra se realiza en la parte inferior del bobinado.

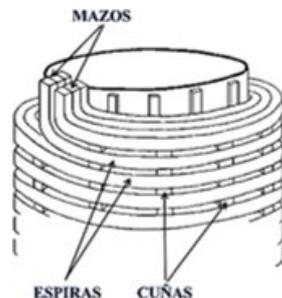


Figura 21: Bobinado tipo hélice.[6]

- Bobinados de disco tipo continuo:

Se utilizan para arrollamientos de MT, presenta buena resistencia mecánica y de refrigeración. Pueden fabricarse con uno o dos mazos de conductores y disponen de separadores entre espiras y mazos. Para muy altas intensidades se fabrican con dos hélices, el paso de una hélice a otra se realiza en la parte inferior del bobinado.

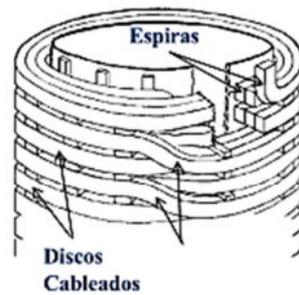


Figura 22: Bobinado de discos tipo continuo.[6]

Finalizada la fabricación de bobinas, estas se comprimen entre placas metálicas y se introducen en una estufa donde se les aplica calor y vacío con objeto de extraer la humedad contenida en los aislantes; en una prensa se comprimen hasta llevarlas a la dimensión axial requerida. Comprimidas, se mantienen hasta el momento de ser montadas en el circuito magnético.

Sobre los cilindros aislantes de papel baquelizado de alta resistencia, en los bobinados en hélice y discos, se colocan longitudinalmente tiras aislantes de separación sobre las cuales se arrollan las bobinas quedando entre éstas y el cilindro un canal axial de circulación del fluido refrigerante.

Ensambladas con tiras que forman los canales axiales se colocan arandelas prensadas de cartón aislante especial que proporciona la línea de fuga para garantizar el perfecto aislamiento de las bobinas contiguas.

En los bobinados por capas, se sitúan entre éstas papeles aislantes y canales de aceite que cumplan la doble función de aislamiento y refrigeración.

Debido a los esfuerzos axiales a que pueden estar sometidos los arrollamientos a causa de las sacudidas de corriente pueden tener consecuencias graves si las bobinas no están sólidamente apretadas.

En los transformadores de distribución, el arrollamiento de baja tensión se realiza mediante una bobina en banda, permitiendo obtener esfuerzos axiales nulos en cortocircuitos.



Figura 23: Bobinado de baja tensión en banda de aluminio [6]

Las espiras están separadas por una película aislante de clase térmica A para transformadores en baño de aceite y F o H para los transformadores secos encapsulados. En estos últimos, una vez ensamblada y fijadas las bobinas sobre el circuito magnético, se impregna el conjunto de ambos con una resina de clase F o H, a continuación tiene lugar la polimerización de la resina.

Este proceso garantiza una excelente resistencia a las agresiones ambientales y una excelente resistencia dieléctrica.

Los devanados de los transformadores secos encapsulados

En los transformadores secos encapsulados, el arrollamiento de alta tensión se realiza empleando cinta de cobre o de aluminio y lámina aislante de alta calidad entre espiras. Varias bobinas individuales se conectan en serie y forman una rama del arrollamiento, que se seca y luego se embebe bajo vacío con resina colada. Los extremos del arrollamiento y las derivaciones se conectan a terminales con rosca interna que también se embeben en la masa de resina.



Figura 24: Bobinado de AT en bandas de Al formando bobinas individuales conectadas en serie [6]

El bobinado en banda en el arrollamiento de AT reúne simplicidad y alta seguridad a nivel eléctrico. La tensión de los bobinados en bandas de una sola espira por capa no sobrepasa la simple tensión de espira. Al reducirse las diferencias de potencial entre espiras, disminuyen considerablemente los niveles de descargas parciales en este tipo de transformadores.



Figura 25: Bobinas en bandas de AT cubierta con malla de fibra de vidrio dispuesta para ser introducida dentro de un molde metálico en la autoclave [6]

En los transformadores de distribución, debido a su menor potencia, se emplea hilo redondo de cobre o aluminio esmaltado en el arrollamiento de AT, con bobinado continuo de gradiente lineal sin entrecapas, este procedimiento permite obtener un gradiente de tensión entre espiras muy débil y una capacidad en serie más uniforme en la bobina, con lo que se consigue reforzar las características dieléctricas, con niveles de descargas parciales particularmente bajos, lo que supone un factor determinante en cuanto al aumento de la vida útil del transformador y una mayor resistencia a las ondas de choque tipo rayo.

Montaje de bobinas, conexionado y tratamiento de los transformadores en baño de aceite

Una vez el circuito magnético levantado, se procede a calar en las columnas los distintos bobinados con los aislantes entre bobinas que precisen.

La disposición normal de los bobinados, contados desde el más próximo al núcleo magnético hacia el exterior, es la siguiente:

- Terciario (caso de existir)
- Baja Tensión
- Alta Tensión
- Regulación (en caso de llevarla)

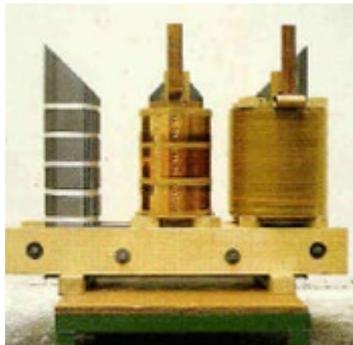


Figura 26: Calado de bobinas en el circuito magnético [6]

Una vez montadas todas las bobinas se procede a la colocación de las piezas de apriete de culata superiores y al ensamblaje con las columnas de la chapa magnética de la chapa superior. Una vez montada la tapa se comprimen las bobinas para dejarlas a la altura conveniente.

El siguiente paso consiste en el montaje del bastidor aislante que soporta el conexionado interno y el cableado a bornas, cierre de estrellas, cierre de triángulos y conexiones a los cambiadores de tomas.

Finalizadas las operaciones anteriores se procede al tratamiento de secado de la parte activa; para ello se introduce todo el conjunto (parte activa + tapa) en una estufa donde se somete al siguiente proceso:

- En una primera etapa se aplica calor y vacío con objeto de extraer la humedad al aislante. Este proceso puede durar algunos días, ya que debe conseguirse que la humedad extraída durante tres horas consecutivas se mantenga por debajo de un cierto valor, generalmente $< 0,1$ litros/hora.
- Una vez conseguido lo anterior se inunda la estufa con aceite caliente debidamente tratado, con objeto de que los poros aislantes dilatados por el calor se impregnen de aceite y se evite la absorción de humedad.

Encubado y montaje de accesorios

Finalizado el proceso de secado, y en el periodo de tiempo más corto posible, se encuba el transformador, se atornilla la tapa, se montan las bornas, equipo de refrigeración, conservador y tuberías, y en general se procede a cerrar cualquier abertura en cuba y tapa con objeto de iniciar seguidamente el llenado de aceite.

Con el aceite ya tratado previamente, comienza el llenado del transformador bajo vacío; generalmente se realizan dos o tres pasadas por el filtro hasta que se consigan los valores prefijados de rigidez dieléctrica, contenido de humedad y recuento de partículas en suspensión.



Figura 27: Estufa de secado de partes activas [6]



Figura 28: Campana de vacío para el llenado de aceite [6]

Seguidamente se montan el resto de accesorios: termómetros, sondas termométricas, cabinas de control de la refrigeración y mandos a motor de los cambiadores de tomas en carga, cableado interior de los aparatos de protección, etc.

Tras un periodo de reposo con objeto de que el posible aire ocluido pueda aflorar a las partes más altas del transformador, se efectúa una purga de todos los elementos susceptibles de almacenar aire en la parte superior: bornas, torretas, cabezas de cambiadores, etc.

Así queda el transformador dispuesto para los ensayos finales.

Sistema de encapsulado de MT de transformadores secos

Se trata de un encapsulado por moldeado en vacío con una resina cargada e ignífuga.

El sistema de encapsulado de clase F se compone de:

- Bobinado continuo de MT a gradiente lineal con hilo esmaltado.
- Resina epoxi a base de bisfenol A, cuya viscosidad está adaptada a una alta impregnación de los arrollamientos.
- Un endurecedor anhídrico modificado por un flexibilizador. El endurecedor asegura una gran resistencia térmica y mecánica. El flexibilizador confiere al sistema de

encapsulado la necesaria elasticidad para suprimir cualquier riesgo de fisura en la explotación.

- Una carga activa pulverulenta compuesta de alúmina trihidratada y de sílice, los cuales son íntimamente mezclados con la resina y el endurecedor.

Proceso de encapsulado de arrollamientos de MT

El proceso de encapsulado es una operación fundamental en el procedimiento de fabricación y deberá realizarse y controlarse en las condiciones más estrictas a fin de garantizar un aislamiento y características mecánicas óptimas.

Las bobinas de AT se colocan en un molde, dentro de una autoclave en la que se ha hecho el vacío, previamente, en un mezclador, la resina se mezcla, se agita y desgasifica, bajo vacío, se cuele y se llenen los moldes que contienen las bobinas, sometiéndolas después a un proceso de endurecimiento, el vacío hace posible que en el recubrimiento no aparezcan burbujas de aire. La viscosidad de la mezcla de resina cuando se vierte en los moldes, es muy baja, llenando los espacios y permitiendo alcanzar el nivel más bajo de descargas parciales.

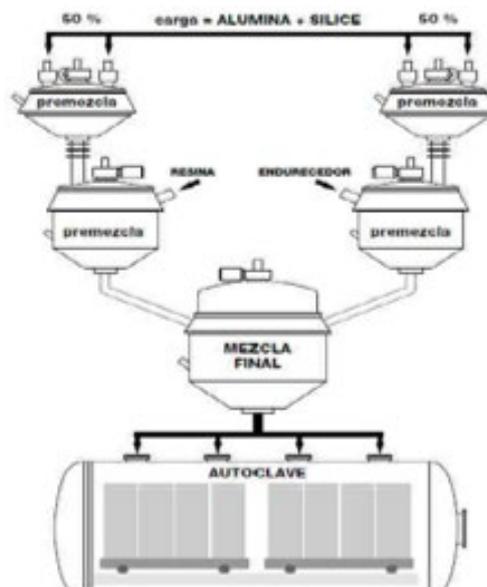


Figura 29: Proceso de encapsulado en vacío [6]

La alúmina deshidratada y el sílice son secados y desgasificados en vacío, con objeto de eliminar cualquier resto de humedad y de aire que pudiera perjudicar las características dieléctricas del sistema de encapsulado.

Su incorporación repartida, una mitad en la resina y la otra en el endurecedor, permite obtener, siempre bajo el más rigurosos vacío y en temperatura óptima, dos premezclas homogéneas.

Un nuevo desgasificador en capa fina precede a la mezcla final. Se efectúa a la colada en vacío en moldes previamente secados y precalentados a la temperatura óptima de impregnación. El ciclo de polimerización comienza por una gelificación a 80° C y termina por una polimerización de larga duración a 140° C.



Figura 30: Autoclave y colada de resina llenando los moldes con las bobinas. [6]

Aislantes

Las características que deberá tener un material para cumplir con las funciones de aislamiento sólido son las siguientes:

- Alta rigidez dieléctrica.
- Constante dieléctrica lo más cercana posible a la del aceite.
- Tangente de delta lo más baja posible (pérdidas dieléctricas bajas).

Los aislantes en la construcción de transformadores se clasifican en:

CLASE	AISLANTE	TRATAMIENTO
A	Sustancias orgánicas, algodón, seda, papel y análogas, así como esmaltes para hilos.	Impregnados o sumergidos en aceite.
E	Fibras sintéticas resistentes al calor, papel con laca, esmalte para hilos.	No impregnado
B	Cintas y telas de micanita y micafolio	Impregnado
F	Sustancias orgánicas, mica, asbesto, resinas, productos a base de vidrio y materiales minerales parecidos.	Impregnado/Encapsulado
H	Materiales tales como la silicona, elastómeros y combinaciones de materiales tales como la mica, la fibra de vidrio, asbestos, etc.	Con sustancias aglutinantes como son las resinas y las siliconas apropiadas.

Tabla 2: Clasificación de los aislantes. [6]

Sistemas de refrigeración

Los principales refrigerantes que se utilizan, encontrándose en contacto inmediato con los devanados, son el aire y el aceite mineral.

➤ **Transformadores de refrigeración seca**

En los transformadores de pequeñas potencias la superficie externa de la máquina es suficiente como para lograr la evacuación de calor deseada, lo que se denomina refrigeración en seco.

Habitualmente en un rango de potencia asignada no superior a 2.500 kVA, con tensiones de hasta 36 kV.

Este tipo de transformador presenta grandes ventajas en instalaciones que requieren de gran seguridad: interiores, locales públicos, centros comerciales, hospitales, fábricas con productos inflamables o combustibles, ferrocarriles metropolitanos...

Entre sus principales ventajas se encuentran el no propagar las llamas y no derramar materiales inflamables o contaminantes, como pasa en el caso de los transformadores de aceite. Además, no requieren de mucho mantenimiento al no existir niveles que controlar y no requieren equipos para evitar incendios. Es por eso por lo que es uno de los transformadores más seguros que existen en el mercado actualmente.

➤ **Transformadores de refrigeración líquida**

En el caso de potencias elevadas se emplea aceite como refrigerante, dando lugar a los denominados transformadores en baño de aceite o refrigeración líquida. En este último tipo de transformadores el aceite desempeña un doble trabajo: actúa como refrigerante y como aislante.

En estos transformadores la parte activa se introduce en un tanque o cuba de aceite mineral, realizándose la disipación de calor a través de los mecanismos de convección y radiación. La cuba puede tener una superficie de refrigeración considerable, construyéndola a base de ondas, con tubos, o con radiadores adosados (normalmente desmontables para facilitar el transporte). La refrigeración externa de la cuba (ondas, tubos o radiadores), puede efectuarse por convección natural o forzada (esto último se obtiene a través de ventiladores que activen la circulación de aire).

El transformador es una máquina que apenas necesita de mantenimiento, el elemento que mayor atención requiere es el aceite. Esto es debido a que el aceite mineral empleado es susceptible de sufrir un proceso de envejecimiento (oxidación y polimerización), perdiendo sus propiedades refrigerantes y aislantes, debido a la temperatura, la humedad y el contacto con el oxígeno del aire, formando lodos y productos ácidos. Para atenuar este proceso de degeneración se utilizan depósitos de expansión o conservadores de aceite y productos químicos inhibidores.

A este desgaste hay que sumarle dos inconvenientes importantes que tiene el aceite mineral: es inflamable y sus vapores pueden llegar a generar en contacto con el aire explosiones.

El tipo de refrigeración de un transformador se designa mediante cuatro letras. Las dos primeras se refieren al refrigerante primario (el que está en contacto directo con la parte activa de la máquina) y las dos últimas se refieren al refrigerante secundario (que enfría al refrigerante primario). De cada par de letras, la primera indica de qué fluido se trata y la segunda señala su modo de circulación.

Tipo de Fluido	Símbolo	Tipo de circulación	Símbolo
Aceite mineral, vegetal o líquido sintético inflamable	O	Natural	N
Líquido sintético no inflamable	L		
Gas	G	Ventilación forzada	F
Agua	W	Circulación dirigida	D
Aire	A		
Aislante sólido	S		

Tabla 3: Designación de la refrigeración de un transformador. [13]

Así, un transformador ONAN es un transformador en baño de aceite en el que el aceite es el refrigerante primario y se mueve por convección natural. El refrigerante secundario es, en este ejemplo, el aire que rodea a la cuba del transformador, el cual circula también por convección natural.

Un transformador ONAF es un transformador en baño de aceite similar al ONAN, salvo que en este caso el aire se envía hacia la cuba mediante ventiladores (circulación forzada del aire).

Aisladores pasatapas

Los aisladores pasantes sirven para llevar los bornes de los transformadores al exterior de la cuba. Suelen ser de porcelana y estar rellenos de aire o aceite.

Su forma y dimensionamiento dependen básicamente de dos factores:

- Nivel de aislamiento de la red
- Intensidad nominal del transformador

La parte superior tiene un cierto número de aletas o campanas, dependiendo de la tensión. Estas aletas permiten agrandar la línea de fuga para evitar descargas por la superficie, especialmente en condiciones de humedad o lluvia.



Figura 31: Comparativa pasatapas de alta y baja tensión. [6]

Cuba o tanque

En los transformadores en baño de aceite, la parte activa se introduce en una cuba de aceite mineral, cuyo aspecto externo puede tener forma plana, ondulada, con tubos o con radiadores adosados y aletas, provocando una eliminación del calor por radiación y convección natural.

La refrigeración externa de la cuba puede efectuarse por convección natural o forzada, esto último a través de ventiladores que activen la circulación de aire.

El aceite mineral empleado es susceptible de sufrir un proceso de envejecimiento (oxidación y polimerización), perdiendo sus propiedades refrigerantes y aislantes, debido a la temperatura, la humedad y el contacto con el oxígeno del aire, formando lodos y productos ácidos. Para atenuar este proceso de degeneración se utilizan depósitos de expansión o conservadores de aceite y productos químicos inhibidores.

El depósito de expansión se trata de un depósito de forma cilíndrica que se encuentra sobre la tapa en un nivel superior. Tiene una doble misión, por una parte, se logra que la cuba principal esté totalmente llena de aceite, provocando que solo exista una pequeña superficie de contacto con el aire en el depósito, y por otra parte este depósito es el que absorbe las dilataciones del aceite al calentarse. Cuando el transformador se enfría, el aire penetra por él, y como el aire arrastra humedad, que es absorbida por el aceite, para evitarlo se coloca a la entrada un desecador.

La cuba debe tener elementos que faciliten el transporte: ganchos para el izado mediante eslingas, anillas para fijación a la plataforma de transporte, anillas para arrastre, ruedas orientables en dos direcciones transversales, soportes para levantamiento mediante gatos hidráulicos, etc.

La cuba y la tapa sirven de soporte a los accesorios de protección del transformador tales como relé Buchholz, termómetro, termostato, desecador, etc. Dispone igualmente de una o varias cajas de conexiones para embornado de estos accesorios y su conexión con el exterior.

El aceite de un transformador cumple principalmente dos funciones: servir como aislante eléctrico y como medio refrigerante. Reunirá las siguientes características:

- Baja viscosidad.
- Elevada conductividad térmica.
- Baja temperatura de congelación.
- Alta temperatura de inflamación.
- Bajas pérdidas dieléctricas.
- Alta tensión de ruptura dieléctrica.
- Ausencia de compuestos corrosivos.
- Buena estabilidad química.
- Elevada estabilidad a la oxidación.
- Ausencia de humedad y sólidos en suspensión.
- Mínima formación de lodos y barros durante el servicio.
- Totalmente exento de PCBs y PCTs.

Los aceites minerales utilizados como aislantes eléctricos proceden de la destilación fraccionada del petróleo bruto y están constituidos por una mezcla de hidrocarburos que le confieren unas propiedades físicas y químicas adecuadas.

Esta mezcla se somete a un proceso de refinado para eliminar los compuestos inestables y corrosivos, además de cierto tipo de hidrocarburos.

El constituyente principal es el carbono (83 al 87%) y el hidrógeno (11 al 14%).

Estos aceites deben cumplir con la Norma: UNE-EN IEC 60296:2021 Fluidos para aplicaciones electrotécnicas.

Otros elementos constructivos

Se trata de elementos auxiliares de los transformadores tales como:

1	Dispositivo para levantar o izar
2	Indicador externo del nivel del líquido refrigerante sin contactos
3	Dispositivo para puesta a tierra del tanque
4	Puesta a tierra del terminal neutro de baja tensión
5	Pasatapas de alta tensión y su terminal
6	Pasatapas de baja tensión y su terminal
7	Dispositivo de alivio de sobrepresión sin contactos
8	Marcación de los pasatapas de alta, baja tensión, de la potencia nominal y puesta a tierra
9	Placa de características
10	Conmutador de derivaciones para operación sin carga
11	Dispositivo para recirculación y drenaje del líquido refrigerante
12	Dispositivo para izar la tapa del tanque principal
13	Ruedas planas orientables 90°
14	Válvulas de mariposa para radiadores desmontables (a partir de 2500 kVA)
15	Respirador de silicagel (a partir de 2500 kVA)
16	Termómetro de temperatura de aceite sin contactos
17	Tanque de expansión

Tabla 4: Elementos auxiliares de los transformadores en baño de aceite. [17]

Accesorios opcionales

- Termómetro de temperatura de aceite con dos contactos
- Válvula de sobrepresión con dos contactos
- Nivel de aceite flotador horizontal con dos contactos
- Relé Buchholz con dos contactos
- Termómetro de temperatura de los devanados
- Relé de presión súbita
- Medidor de presión y vacío: manovacúmetro sin contactos
- Ventiladores

1	Bornes de tierra
2	Aislador de media tensión
3	Regulación de media tensión
4	Devanado de media tensión
5	Devanado de baja tensión
6	
7	Confinamientos
8	Barras de salida de baja tensión
9	Núcleo magnético
10	
11	Placa de características
12	Termosondas control de temperatura
13	Brida
14	Argollas de traslado
15	Ruedas orientables ortogonales

Tabla 5: Elementos auxiliares de los transformadores secos. [17]

Accesorios opcionales

- Caja de centralización de sondas
- Predisposición para conexión con enchufe
- Conexión con enchufe
- Gabinete de protección
- Ventilación forzada axial
- Juego de amortiguadores
- Termómetro con contactos



Figura 32: Transformador en baño de aceite [25]

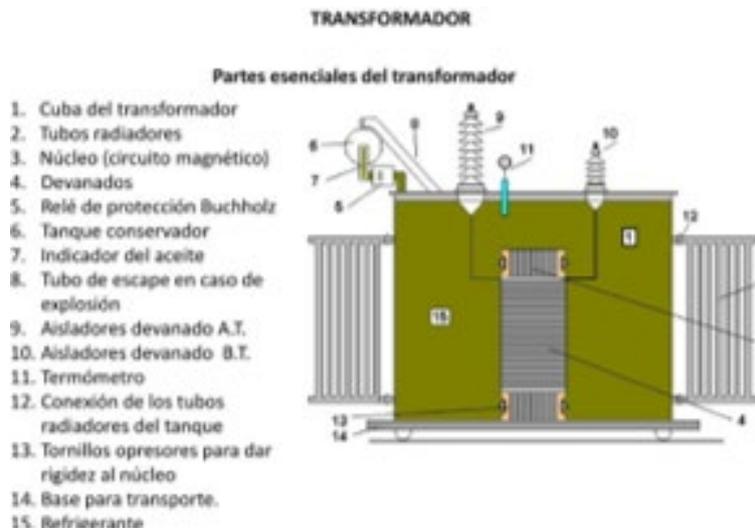


Figura 33: Elementos auxiliares del transformador [26]

Elementos auxiliares o accesorios de los transformadores

➤ Relé Buchholz

Actúa en caso de acumulación de gases procedentes de la descomposición de aislamientos sólidos y líquidos en caso de fallo y de arco eléctrico. También actúa por falta de dieléctrico. Llevan contactos de alarma y disparo. Soportan 2 kV a masa y 1 kV entre contactos. Su instalación se coloca entre el depósito de expansión y la tapa del transformador.

Hoy día los transformadores en baño de aceite son frecuentemente de llenado integral, en los cuáles la cuba es hermética y está completamente llena de aceite.



Figura 34: Relé Buchholz [27]

➤ Termómetro de esfera

El termómetro sirve para leer la temperatura del aceite superior. Puede tener contactos de alarmas y disparo y además aguja de máxima. Los contactos soportan 2 kV a masa y 1 kV entre contactos.



Figura 35: Termómetro de esfera [22]

➤ Termostato

Los termostatos son utilizados para:

- La puesta en marcha de la ventilación de los radiadores o de los aerorefrigerantes de los transformadores de potencia.
- La señalización de alarma y disparo por exceso de temperatura máxima del aceite.



Figura 36: Termostato [39]

➤ Válvula de sobrepresión

Sensibles a una variación súbita de presión en el interior del transformador, actúan con gran rapidez (algunos milisegundos). Pueden dar señal óptica y eléctrica.

Actuación: 0,35 kg/cm² (trafos grandes) y 0,25 kg/cm² (trafos pequeños). Pueden llevar contactos. Soportan 2 kV a masa y 1 kV entre contactos. Se instalan en la tapa del transformador.



Figura 37: Válvula de sobrepresión [27]

➤ Nivel magnético

Indica la altura de aceite en el conservador de los transformadores de potencia. Tiene contactos de mínima y máxima. Soportan 2 kV a masa y 1 kV entre contactos. Se pueden colocar niveles circulares y tubulares que simplemente indican el nivel.



Figura 38: Nivel magnético [33]

➤ Desecador de aire

Realiza dos funciones:

- Absorbe la humedad del aire aspirado por el transformador en fase de enfriamiento.
- Prohíbe la entrada de aire durante las pequeñas variaciones de carga del transformador, de forma que evita el contacto permanente del producto deshidratante con el aire atmosférico.



Figura 39: Desecador de aire [34]

➤ Dispositivo de toma de gases

Este dispositivo tiene por objeto recoger los gases concentrados en el relé Buchholz para proceder a su análisis.



Figura 40: Dispositivo de toma de gases [24]

➤ Imagen térmica

Este equipo sirve para indicar la temperatura de los arrollamientos. Mide la temperatura más elevada del arrollamiento. Comprende un equipo termómetro asociado a una resistencia radiante recorrida por una corriente que es el reflejo de la corriente que pasa por el arrollamiento al que se quiere controlar la temperatura.



Figura 41: Imagen térmica [20]

➤ Cambiador de tomas sin tensión

Son dispositivos empleados en los transformadores para lograr que la tensión del arrollamiento coincida, lo más aproximadamente posible, con la de la red a la cual se conecta.

Como su nombre indica, su actuación debe ser realizada exclusivamente con el transformador sin tensión.

Existen varios tipos de dispositivos, uno de los más frecuentemente empleados es el de cremallera, que resulta fiable y no requiere mantenimiento.

Su dimensionamiento y distancias dependen de la intensidad nominal que deben soportar, de la tensión entre fases y de la tensión en cada escalón.



Figura 42: Cambiador de tomas sin carga [36]

➤ Regulador en carga

La posibilidad de ajustar la tensión del arrollamiento a la existente en cada momento en la red, es una necesidad que se evidenció desde los primeros transformadores que se fabricaron. Era totalmente necesario poder variar la tensión del arrollamiento sin corte de suministro, para lograr una buena calidad de servicio. Para ello se idearon varios dispositivos, pero ninguno tuvo el éxito que alcanzó el patentado por el Dr. Jansen en 1926 y en el cual están basados todos los reguladores en carga que se fabrican hoy en día.

Este dispositivo está basado en la idea de realizar el cambio de un escalón al siguiente mediante el empleo de unas resistencias intermedias que limiten la corriente de cortocircuito que se genera al conectar dos escalones consecutivos sin interrupción de la corriente.



Figura 43: Cambiador de tomas bajo carga [28]

Pruebas y control de calidad

Cada núcleo individual, bobinado, tanque y otras piezas, están sujetos a la inspección mecánica y eléctrica antes del montaje.

La evaluación final de los transformadores se realiza en el laboratorio los siguientes tipos de ensayo:

- Ensayos de rutina
 - Medida de la relación de transformación y comprobación del acoplamiento
 - Ensayo de tensión aplicada a frecuencia industrial
 - Ensayo de tensión inducida
 - Medida de las descargas parciales
 - Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío
 - Medida de la resistencia de los arrollamientos
 - Medida de las pérdidas debidas a la carga y tensión de cortocircuito

- Ensayos de tipo
 - Ensayo de calentamiento
 - Ensayo de impulso tipo rayo
 - Medida del nivel sonoro

- Ensayos especiales
 - Medida de la resistencia de aislamiento
 - Medida de la impedancia homopolar
 - Medida de los armónicos de la corriente de vacío
 - Medida de la capacidad paralelo y la tag δ
 - Ensayo de la protección anticorrosiva

Ruidos y vibraciones

El transformador es generalmente un generador de vibraciones. El núcleo sometido a un campo magnético creado por una corriente alterna de 50 periodos, se alarga y contrae (efecto magnetostrictivo) 50 veces por segundo originando una vibración cuya frecuencia es de 100 Hz, doble de la alimentación.

El núcleo al vibrar, origina ondas sonoras de la misma frecuencia, que se transmiten al aire se alrededor.

Si las dimensiones del núcleo son pequeñas comparadas con la longitud de onda de una determinada componente (3,2 m, para 104 Hz) parte del núcleo vibrará fuera de fase por lo que habrá más transmisión de vibraciones que de radiación acústica. Esta es una de las razones por la que los pequeños transformadores tienen zumbidos de más altas componentes que los grandes transformadores.

Son varios los parámetros que influyen en la magnetostricción además de la calidad del material, como es el tratamiento de la chapa, la sollicitación mecánica, la dirección del flujo con respecto a la orientación del material.

La consideración primaria consiste en reducir el ruido en su fuente, es decir, en el circuito magnético. Para un transformador determinado, ello significa que es necesario disminuir los valores de inducción, lo que conduce a costos de material más elevados.

La magnetostricción también depende fuertemente de la uniformidad del flujo, de la dirección del mismo y de la calidad de los ensamblados del circuito magnético, manifestándose más intensamente en los yugos que en las columnas.

La mayor parte del ruido transmitido a la cuba del transformador proviene de los yugos, en particular del inferior que tiene un contacto mecánico con la cuba. La mayoría de las veces es posible aumentar la sección del yugo sin que ello implique un aumento del tamaño de la cuba del transformador.

El transformador debe ser ensayado, con objeto de explorar el nivel sonoro a lo largo de todo el espectro de frecuencias en diversos puntos del mismo, con el fin de determinar si los índices en decibelios obtenidos están dentro de normas.

2.6. TIPO DE TRANSFORMADORES A FABRICAR

2.6.1. Transformadores de distribución MT/BT

La misión de estos transformadores es la de realizar las transformaciones pertinentes para llevar la energía desde el inicio de la red de distribución, punto de conexión con la red de reparto, en alta tensión hasta el inicio de la red de distribución en media tensión, transformadores de AT/MT o hasta los consumidores finales, transformadores de MT/BT.

Dentro de la amplia gama de transformadores que hay en el mercado, nos vamos a centrar en la producción de transformadores de distribución de Media Tensión a Baja Tensión (MT/BT).

Los transformadores de distribución desempeñan un papel crucial en la transmisión y distribución de energía eléctrica. Los transformadores de distribución tienen la función principal de convertir la energía eléctrica de una tensión elevada a una tensión más baja, apta para su uso en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Permite que los consumidores utilicen la electricidad a niveles más bajos y más seguros.

Los transformadores de distribución se consideran aquéllos con potencias inferiores a los 2.500 kVA y tensiones en AT iguales o menores de 30 kV.

En nuestro caso se trata sobre todo de transformadores trifásicos, que de acuerdo con el tipo de aislamiento en el que están inmersos los devanados tendremos:

- ✓ Transformadores en baño de aceite
- ✓ Transformadores secos encapsulados en resina epoxi

Transformadores en baño de aceite

Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica alimentados en media tensión en el primario y en baja tensión en el secundario. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Tendremos dos tipos de transformadores en baño de aceite:

- ✓ Transformadores en baño de aceite con depósito de expansión
- ✓ Transformadores en baño de aceite herméticos de llenado integral

Características

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE										
Nivel de aislamiento 17,5 kV										
Características eléctricas										
Potencia kVA		250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Tensión asignada	Primaria	13,2 kV								
	Secundaria vacío	420 V								
Regulación de la tensión		± 2,5% ± 5%								
Grupo de conexión		Dyn11								

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE										
Nivel de aislamiento 17,5 kV										
Dimensiones estándar										
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	
Largo	1.120	1.430	1.510	1.780	1.860	1.870	2.080	2.140	2.140	
Ancho	880	890	910	1.080	1.160	1160	1.250	1.290	1.290	
Alto a tapa	820	910	995	1.010	1.065	1120	1.398	1.501	1.501	
Alto a MT	1.205	1.295	1.380	1.395	1.450	1.505	1.783	1.886	1.886	
Alto a BT	996	1.086	1.269	1.335	1.390	1.445	1.758	1.861	1.861	
Volumen de aceite (litros)	240	300	400	540	565	590	1.050	1.400	1.500	
Peso total (Kg)	980	1.390	1.790	2.260	2.445	2.575	3.860	5.450	5.750	

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE										
Nivel de aislamiento 24 kV										
Características eléctricas										
Potencia kVA		250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Tensión asignada	Primaria	20 kV								
	Secundaria vacío	420 V								
Regulación de la tensión		± 2,5% ± 5%								
Grupo de conexión		Dyn11								

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE									
Nivel de aislamiento 24 kV									
Dimensiones estándar									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Largo	1.120	1.430	1.510	1.780	1.860	1.870	2.080	2.140	2.140
Ancho	880	890	910	1.080	1.160	1.160	1.250	1.290	1.290
Alto a tapa	820	910	995	1.010	1.065	1.120	1.398	1.501	1.501
Alto a MT	1.205	1.295	1.380	1.395	1.450	1.505	1.783	1.886	1.886
Alto a BT	996	1.086	1.269	1.335	1.390	1.445	1.758	1.861	1.861
Volumen de aceite (litros)	240	300	400	540	565	590	1.050	1.400	1.500
Peso total (Kg)	980	1.390	1.790	2.260	2.445	2.575	3.860	5.450	5.750

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE									
Nivel de aislamiento 36 kV									
Características eléctricas									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Tensión asignada	Primaria		30 kV						
	Secundaria vacío		420 V						
Regulación de la tensión	± 2,5% ± 5%								
Grupo de conexión	Dyn11								

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN BAÑO DE ACEITE									
Nivel de aislamiento 24 kV									
Dimensiones estándar									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Largo	1.120	1.430	1.510	1.780	1.860	1.870	2.080	2.140	2.140
Ancho	880	890	910	1.080	1.160	1.160	1.250	1.290	1.290
Alto a tapa	820	910	995	1.010	1.065	1.120	1.398	1.501	1.501
Alto a MT	1.305	1.395	1.480	1.495	1.550	1.605	1.883	1.986	1.986
Alto a BT	996	1.086	1.269	1.335	1.390	1.445	1.758	1.861	1.861
Volumen de aceite (litros)	240	300	400	540	565	590	1.100	1.450	1.550
Peso total (Kg)	990	1.400	1.800	2.270	2.455	2.585	3.920	5.520	5.830

Tabla 6: Características eléctricas y de dimensiones de los transformadores en aceite. (Fuente: Elaboración propia)

Transformadores secos

Se utilizan en interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, en lugares donde los espacios reducidos y los requerimientos de seguridad en caso de incendio imposibilitan la utilización de transformadores refrigerados en aceite. Son de aplicación en grandes edificios, hospitales, industrias, minería, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Mucho más accesibles para el usuario final, los transformadores secos pueden instalarse cerca del lugar de utilización, lo que permite optimizar el diseño de instalación reduciendo al máximo los circuitos de baja tensión, con el consiguiente ahorro en pérdidas y conexiones de baja tensión.

Características

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA EPOXI									
Nivel de aislamiento 17,5 kV									
Características eléctricas									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Tensión asignada	Primaria	13,2 kV							
	Secundaria	230/400 V (420 V en vacío)							
Regulación de la tensión	± 2,5% ± 5%								
Grupo de conexión	Dyn11								

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA EPOXI									
Nivel de aislamiento 17,5 kV									
Dimensiones estándar									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Largo	1.140	1.260	1.365	1.380	1.440	1.530	1.630	1.630	1.785
Ancho	670	800	800	800	800	950	950	1.200	1.200
Alto	1.190	1.400	1.550	1.700	1.850	1.960	2.000	2.270	2.350
Peso total (Kg)	800	1.100	1.450	1.700	2.000	2.350	2.800	3.400	4.000

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA EPOXI									
Nivel de aislamiento 24 kV									
Características eléctricas									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Tensión asignada	Primaria	20 kV							
	Secundaria	230/400 V (420 V en vacío)							
Regulación de la tensión	± 2,5% ± 5%								
Grupo de conexión	Dyn11								

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA EPOXI									
Nivel de aislamiento 24 kV									
Dimensiones estándar									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Largo	1.275	1.320	1.470	1.500	1.560	1.650	1.695	1.755	1.870
Ancho	690	800	800	800	950	950	950	1.200	1.200
Alto	1.280	1.480	1.570	1.720	1.870	1.980	2.020	2.290	2.560
Peso total (Kg)	950	1.150	1.550	1.800	2.150	2.600	3.050	3.650	4.300

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA EPOXI									
Nivel de aislamiento 36 kV									
Características eléctricas									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Tensión asignada	Primaria	30 kV							
	Secundaria	230/400 V (420 V en vacío)							
Regulación de la tensión	± 2,5% ± 5%								
Grupo de conexión	Dyn11								

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SECOS ENCAPSULADOS EN RESINA EPOXI									
Nivel de aislamiento 36 kV									
Dimensiones estándar									
Potencia kVA	250	400	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500
Largo	1.410	1.380	1.575	1.620	1.680	1.770	1.760	1.880	1.955
Ancho	700	800	800	800	1.100	950	950	1.200	1.200
Alto	1.370	1.560	1.590	1.740	1.890	2.000	2.040	2.310	2.770
Peso total (Kg)	1.100	1.200	1.650	1.900	2.300	2.850	3.300	3.900	4.600

Tabla 7: Características eléctricas y de dimensiones de los transformadores secos. (Fuente: Elaboración propia)

2.7. PRODUCTOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN

2.7.1. Materia prima principal

Las dos partes principales de un transformador eléctrico son el núcleo magnético y los devanados. El núcleo magnético está compuesto por láminas de acero al silicio, aisladas entre sí, dispuestas en forma de apilamiento, y su función principal es proporcionar un camino de baja reluctancia para el flujo magnético. Los devanados son conductores eléctricos aislados, de cobre o de aluminio, enrollados alrededor del núcleo magnético que forman los bobinados primarios y secundarios.

- **Acero al silicio:** Acero especial fabricado para poseer determinadas propiedades magnéticas, aisladas sobre las dos caras para tener pérdidas relativamente bajas por efecto de histéresis y corrientes de Foucault y una alta permeabilidad magnética. El material se importa en forma de bobinas las cuales serán cortadas a la forma necesaria para posteriormente apilarse formando así el núcleo.



Figura 44: Bobinas de chapa de acero al silicio [32]

Dos son los tipos de conductores empleados en los devanados:

- **Cobre:** Es un metal de alta conductividad eléctrica, ductilidad, maleabilidad y blando que se puede utilizar de diferentes formas:
 - Hilo
 - Pletina o banda
- **Aluminio:** Caracterizado por su alta conductividad eléctrica y ligereza que se puede utilizar de diferentes formas:
 - Hilo
 - Pletina o banda

Existen una serie de condicionantes tanto técnicos como económicos a la hora de la elección entre la utilización del cobre o la del aluminio. Cuando el peso es la consideración de diseño, el Al es una excelente opción. Cuando el espacio es una limitación crítica, el Cu puede ser requerido.

Es más ventajoso para el cliente dejar abierta la elección del material de fabricación al fabricante, el cual siempre va a tratar de optimizar los diseños no solo de acuerdo a las características del cliente, sino también teniendo en cuenta los materiales disponibles en el mercado.

2.7.2. Otros materiales

- **Aceite dieléctrico:** Es un lubricante estable a elevadas temperaturas y con buenas propiedades aislantes y refrigerantes dada su baja viscosidad. Se vierte en la cuba del transformador donde después se introducen los elementos a aislar.
- **Resina epoxi, endurecedor y carga activa:** Resina perteneciente al grupo de los polímeros empleada para el aislamiento del bobinado de los transformadores secos. Se vierte sobre los devanados al vacío extrayendo toda posible burbuja de aire, para así evitar fallos en el aislamiento.
- **Barniz:** El barniz se usa para los siguientes propósitos:
 - Para sellar todos los materiales fibrosos o higroscópicos en el devanado contra la absorción de humedad.
 - Para unir todo el devanado y el aislamiento mecánicamente, en una masa cohesiva sólida, de modo que se haga más resistente a los golpes, vibraciones y tensiones mecánicas.
 - Para proteger el devanado contra los efectos destructivos del aceite, el ácido y otros productos químicos.
 - Para mejorar las propiedades eléctricas de los aislantes fibrosos u otros que no deben verse afectados por ninguna de las diversas influencias destructivas durante un período al menos tan largo como la vida útil del componente bajo los ciclos normales de calor y frío.
- **Aislamientos:** Tanto para Cu o Al se utilizan los mismos aislamientos, papel termoestabilizado en los conductores y presspan, pressboard y madera en los demás aislamientos. Los hilos o pletinas pueden ser esmaltados o encintados con papel. El aislamiento entre capas debe ser exclusivamente papel o cartón provisto de resina termoendurecible y se puede utilizar tanto en AT como en BT. El aislamiento entre arrollamientos debe ser básicamente de papel baquelizado. Las cuñas y elementos de apriete deben estar contruidos y fijados para que en ningún caso pierdan su posición o puedan extraerse aun contando con un posible aflojamiento fortuito.

2.7.3. Accesorios

Se trata de aquellos elementos que van a formar parte del transformador pero que se adquirirán de suministradores externos. No estamos refiriendo entre otros:

Cuba, con sus radiadores, depósito de expansión, valvulería, tornillería, bulones, pernos, perfiles metálicos, ventiladores, relé Buchholz, termómetro de esfera, termostato, válvula de sobrepresión, nivel magnético, desecador de aire, dispositivo de toma de gases, imagen térmica, cambiador de tomas, etc.

2.8. LÍNEAS DE FABRICACIÓN

El producto a fabricar son transformadores de distribución MT/BT, que dividimos en dos líneas principales de fabricación, una para transformadores en baño de aceite y otra para transformadores secos encapsulados en resina epoxi.

Cada una de estas dos líneas las dividimos a su vez en tres líneas de fabricación: para transformadores de tensiones de aislamiento de 17,5 kV, 24 kV y 36 kV.



Figura 45: Líneas de fabricación. (Fuente: Elaboración propia)

2.9. PROCESO PRODUCTIVO

2.9.1. Proceso productivo de transformadores en baño de aceite

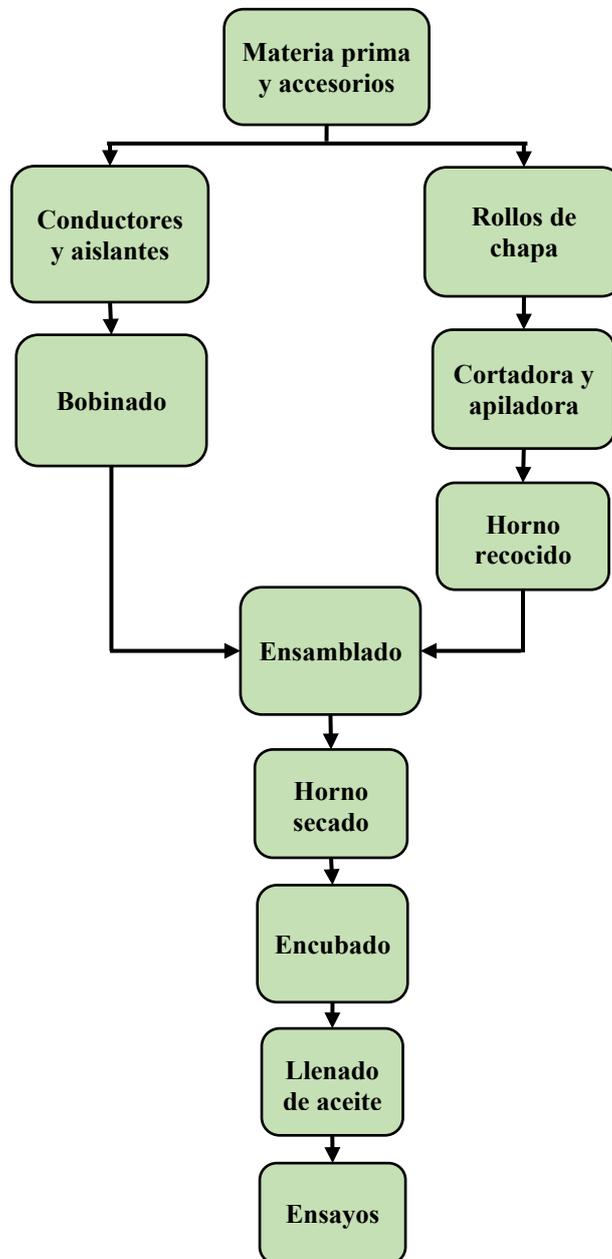


Figura 46: Diagrama del proceso trafos en aceite. (Fuente: Elaboración propia)

La fabricación del circuito magnético se compone de varias etapas; partiendo de un rollo de chapa, en primer lugar se obtienen tiras de distinto ancho que conformaran las piezas para a partir de ellas fabricar las chapas de columnas y culatas en sus distintos anchos.



Figura 47: Rollos y tiras de chapa [6]

A partir de estas tiras, se cortan las distintas chapas y se clasifican según forma y dimensiones, para finalmente en un dispositivo de apilado de las chapas ir formando horizontalmente el circuito magnético, columnas y culata inferior. Una vez sujetas éstas mediante las piezas de apriete de culata y zunchos de material especial, se procede al levantamiento del circuito magnético quedando éste dispuesto para el montaje de las bobinas.



Figura 48: Ensamblaje de chapas [6]

Los extremos de las chapas se cortan en ángulo de 45° con objeto de minimizar las pérdidas en las uniones entre columnas y culatas (entrehierros); para obtener una buena resistencia mecánica se suelen disponer con dos solapes o con solapes múltiples (step lap).

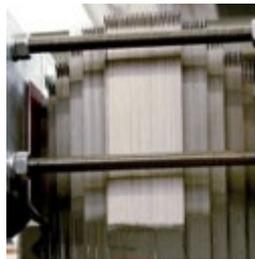


Figura 49: Solape múltiple step lap y bulones de apriete del núcleo [6]

El método de apilado múltiple “step-lap” incrementa la eficiencia de la unión, acortando el solape, lo que reduce las pérdidas del núcleo, la corriente de excitación y el nivel de ruido.

Se procede a continuación a un proceso de recocido del núcleo o un calentamiento del núcleo para mejorar las condiciones del núcleo y extraer la humedad que se lleva a cabo en una atmosfera inerte.

Paralelamente se van realizando los bobinados de baja y alta tensión. Los bobinados pueden ser realizados con distintos tipos de materiales conductores (aluminio o cobre)

de diferente forma (hilo, pletina o banda) y empleando materiales aislantes de separación entre las distintas capas del bobinado.

Posteriormente, con el circuito magnético formado por las columnas y culata inferior, se comienza a ensamblar el transformador, y una vez colocadas las bobinas en los núcleos, se procede al acoplamiento de las chapas que forman la culata superior. Este proceso de ensamblado básicamente consiste en integrar el núcleo a la bobina y agregar algunos aislamientos físicos.

Una vez terminado el ensamblado del circuito magnético y de las bobinas se introduce en una estufa donde se les aplica calor y vacío con objeto de extraer la humedad contenida en los aislantes.

Ya armada la parte activa (núcleo + bobina), se realizan todos los ajustes y conexiones requeridas para que el transformador quede con todos sus accesorios requeridos para que el mismo pueda ser encubado.

El proceso de encubado como tal consiste en meter la parte activa al interior del transformador. En este proceso, después de fijar el transformador e instalar los demás accesorios, se le realiza un proceso de vacío previo al llenado del aceite dieléctrico, con el fin de retirar restos de humedad que haya podido acumular el equipo mientras fue encubado al igual que la eliminación de burbujas de aire y garantizar la adecuada impregnación de la totalidad de la parte activa con aceite.

Finalmente, el equipo se tapa y se pasa al laboratorio donde se le realizan los ensayos de rutina. De ser satisfactorias las pruebas, y después de realizar los últimos controles de calidad se redactan los documentos que acreditan las pruebas y el equipo queda dispuesto para pasar a la zona de expedición o almacenaje en espera de ser liberado.

2.9.2. Proceso productivo de transformadores secos

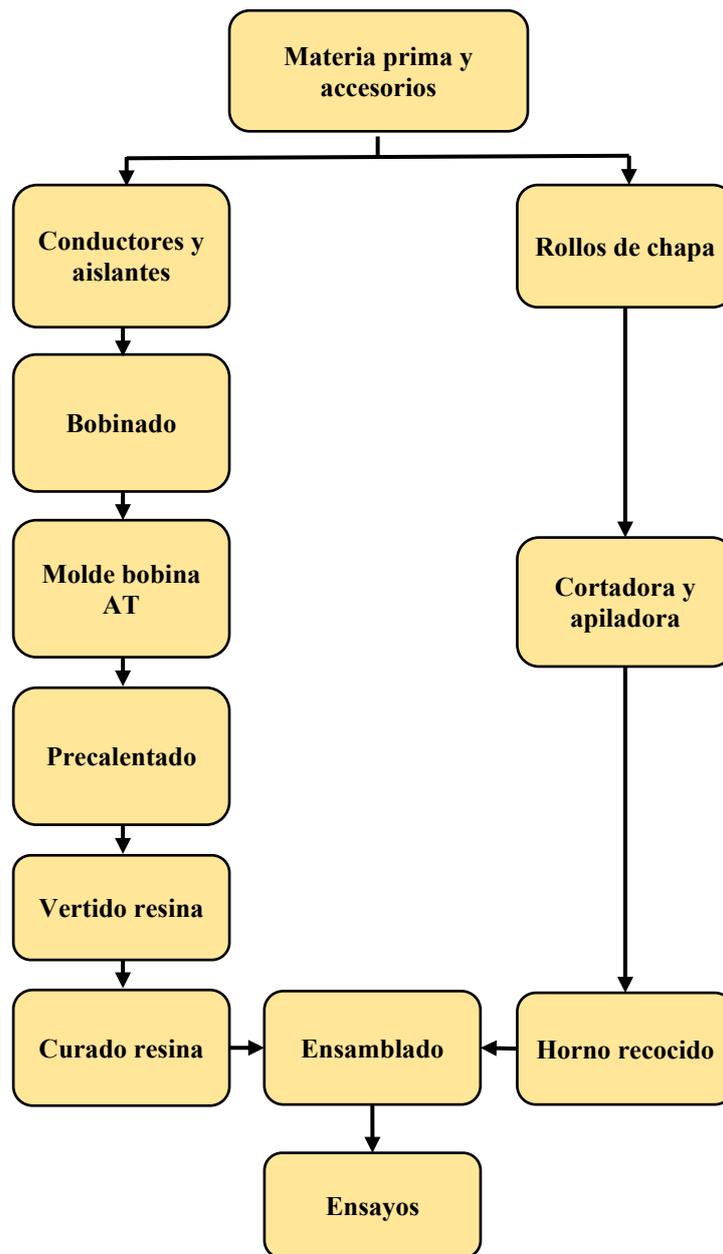


Figura 50: Diagrama del proceso trafo secos. (Fuente: Elaboración propia)

El proceso de fabricación de los transformadores secos encapsulados en resina epoxi, en lo que respecta a la parte del circuito magnético, es el mismo que la de los transformadores en aceite.

El proceso es diferente desde el momento en que los bobinados están realizados, en ese momento la bobina de alta tensión es introducida en un molde y sometida a un proceso de precalentamiento en un horno antes de proceder al vertido de la resina.

El vertido de la resina se realiza en cámara de vacío pasando después a su curado en un horno y finalmente se retira se retira el molde.

A continuación, se produce el ensamblaje del núcleo magnético con las bobinas de alta encapsuladas y las bobinas de baja y el cierre del circuito magnético con la culata superior y se incorporan el resto de los componentes.

Al igual que con los transformadores en aceite el proceso finaliza con el ensayo del transformador en el laboratorio, los acabados finales como la pintura y los últimos controles de calidad.

2.10. MAQUINARIA Y EQUIPOS

Las máquinas y equipos que intervienen en el proceso productivo son las siguientes:

Máquina de corte y apilado del circuito magnético	Bobinadora	Horno recocido de núcleos	Horno secado por vacío	Autoclave para secado de transformadores en resina
				
Dimensiones: (LxAxH) 17,5 x 4,2 x 2,5 m	Dimensiones: (LxAxH) 2,8 x 0,75 x 1,4 m	Dimensiones: (LxAxH) 2,5 x 1,6 x 1,6 m	Dimensiones: (LxAxH) 4 x 3 x 3 m	Dimensiones: (LxAxH) 4,2 x 2,75 x 3,75 m
Potencia eléctrica: 30 kW	Potencia eléctrica: 5,5 kW	Potencia eléctrica: 7,5 kW	Potencia eléctrica: 10 kW	Potencia eléctrica: 20 kW

Tabla 8: Tipos de maquinaria. (Fuente: Elaboración propia)

2.11. COMPLEJO INDUSTRIAL

Para el desarrollo de la actividad disponemos de una parcela, de forma rectangular, con una superficie de 5.400 m² y unas dimensiones de 90 x 60 m, con un acceso a través de cuatro calles. El edificio donde se va a desarrollar la actividad constará de una única planta.

2.11.1. Descripción de las diferentes zonas

La superficie de la nave está dividida en distintas zonas:

- **Almacén de materia prima:** en esta zona se encuentra, además del almacén de la materia prima, la recepción administrativa y técnica de los materiales y productos adquiridos y necesarios para la producción de los transformadores. Tiene unas dimensiones totales de 25x10 m de los cuales la recepción administrativa y técnica ocupan 5x5 m cada una.
- **Zona de los Servicios Generales Centrales:** alberga las instalaciones que son necesarias para satisfacer los requerimientos tanto del proceso productivo como

del acondicionamiento del complejo industrial. Cuenta con unas dimensiones de 20 x 10 m y está dividida en seis zonas:

- ✓ Centro de transformación
- ✓ Central de producción de calor
- ✓ Central de compresores
- ✓ Grupos de bombeo de agua
- ✓ Taller de mantenimiento
- ✓ Laboratorio
- ✓ Zona de carga de baterías de carretillas

- **Vestuarios y servicios:** para el cambio de ropa y aseo personal. Ocupa un espacio de 5x10 m.
- **Oficinas:** destinadas a la realización de diferentes tareas administrativas de la empresa. También en esta zona se encontrarán unos servicios para los administrativos. Las oficinas se encontrarán divididas en diferentes zonas destinadas a reuniones, despachos... La superficie total ocupada es de 10x10 m.
- **Zona del proceso productivo:** zona donde se encuentra la diferente maquinaria para la realización del proceso productivo. Aquí es donde se encuentran las ocho líneas de fabricación de los diferentes productos fabricados. Cuenta con una superficie de 60x70 m.
- **Almacén de producto terminado:** zona donde se almacenan los transformadores construidos a la espera para salir a la entrega al cliente. Además de la zona de expediciones que tiene una superficie de 5x10 m, aquí se encuentra también el laboratorio de ensayos de 10x10 m. y en el otro extremo la zona de carga de baterías de carretillas de 5x10 m. Tiene unas dimensiones totales de 60x10 m.

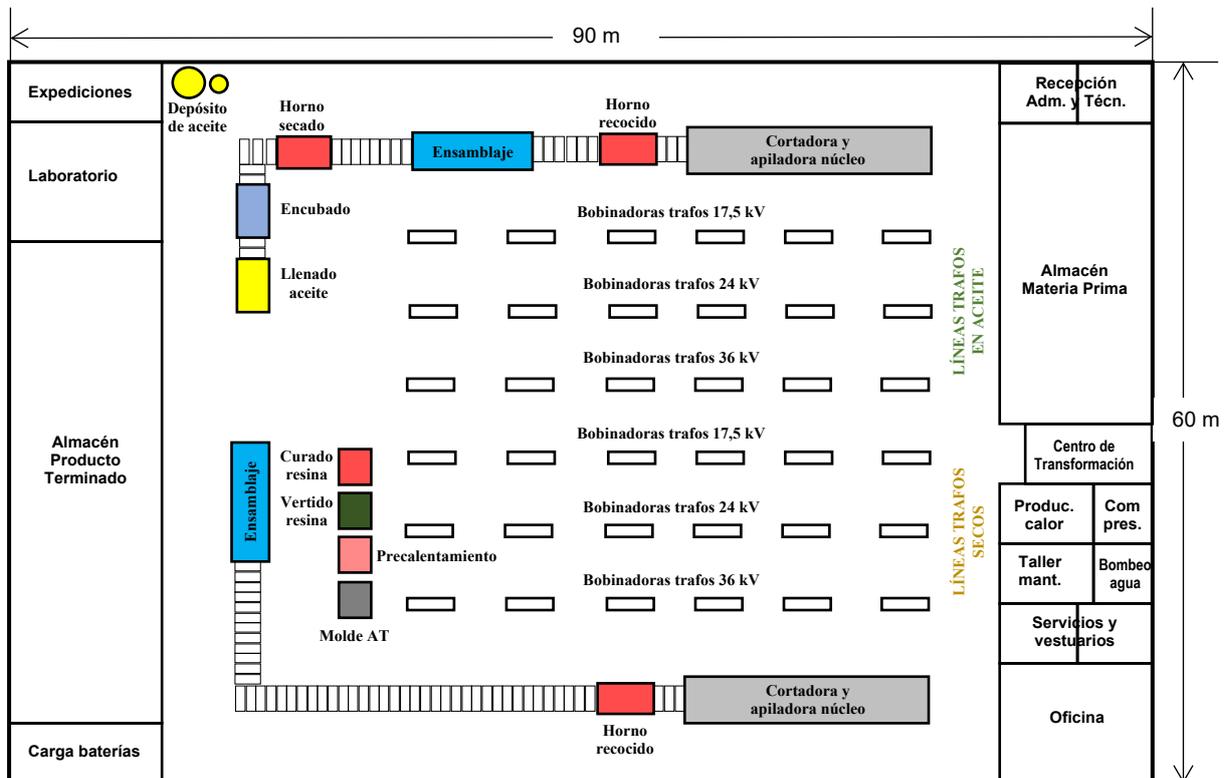


Figura 51: Plano en planta (Fuente: Elaboración propia)

2.12. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

2.12.1. Consideraciones y criterios técnicos

Previo al diseño de la instalación eléctrica se van a tener en cuenta una serie de consideraciones y criterios técnicos de tal manera que la instalación puede irse adaptando a la evolución tecnológica que se vaya produciendo, a las modificaciones que haya que acometer o a nuevas necesidades, mediante pequeños, manteniendo siempre una instalación eficiente en cuanto a recursos energéticos utilizados.

Punto de enganche y red eléctrica de alimentación

Teniendo en cuenta de que la planta está ubicada en un polígono industrial donde ya existe infraestructura de redes eléctricas de distribución, partiendo de los datos de la potencia total instalada en la planta, el primer paso es ponerse en contacto con la compañía distribuidora.

La compañía distribuidora de la zona nos propone un suministro de energía eléctrica a la tensión normalizada de 13,2 kV y 50 Hz, desde una Estación de Transformación y Distribución (ETD) cercana a nuestra instalación y nos fija el punto de enganche.

La red eléctrica de alimentación, discurrirá por una canalización enterrada bajo tubo. La sección de los conductores se calculará en función de la potencia total instalada, considerando la posibilidad de que en un futuro esta pueda sufrir un incremento de potencia de al menos un 30%. En esa misma canalización se incluirán tubos de reserva.

La instalación de la línea se hará de acuerdo a la Reglamentación vigente y las normas particulares fijadas por la empresa suministradora. Teniendo en cuenta que la línea va a discurrir por terrenos ajenos a la fábrica, una vez realizada la instalación y la puesta en servicio se entregará a la empresa suministradora para que se encargue del su mantenimiento y conservación.

Centro de transformación

El centro de transformación será de abonado y del tipo interior de obra, en la zona de servicios auxiliares centrales, lo más centrado posible con la distribución de las cargas, disminuyendo así las pérdidas y los costes de la instalación.

Sus características constructivas y los elementos que lo integran son:

➤ **Local del centro de transformación**

- ✓ Instalado en el perímetro del edificio con puertas que den al exterior.
- ✓ Dimensiones que permitan la ejecución de las maniobras propias de la explotación en condiciones óptimas de seguridad para las personas.

- Pasillos de maniobra: 1m para el caso de la existencia de elementos en tensión a un solo lado y 1,2 m en el caso de que existan en ambos lados.
- Pasillos inspección: 0,8 m para el caso de la existencia de elementos en tensión a un solo lado y 1 m en el caso de que existan en ambos lados.
- Pasillos libres de todo obstáculo hasta una altura de 2,30 m.
- ✓ Celdas de los transformadores protegidos por tabiques o muros y rejillas.
- ✓ Los transformadores deben tener acceso directo al exterior.
- ✓ Rejillas de ventilación que comunicarán el local con el exterior.
- ✓ Canaletas y conducciones cerradas con material cortafuego 2 horas.
- ✓ Cable de puesta a tierra y equipotencialidad de las masas.
- ✓ Ventilación natural para la renovación del aire. La altura entre la entrada y salida del aire será la máxima posible.
- **Transformadores**
 - ✓ Aislamiento seco encapsulados en resina epoxi.
 - ✓ Tensión: 13,2 kV/400-230 V
 - ✓ Tomas de regulación de la tensión sin carga: $\pm 2.5\%$.
- **Cabinas de media tensión**
 - ✓ Cabina de entrada de SF6 con seccionador de corte en carga y seccionador de p.a.t.
 - ✓ Cabina de medida.
 - ✓ Cabinas con interruptor automático para la protección del transformador.
- **Cuadro General de Distribución de baja tensión**
 - ✓ Tipo modular y extensible.
 - ✓ Interruptores automáticos en las entradas y en las salidas.
 - ✓ Interruptores dotados de dispositivos candables en posición de abierto.
 - ✓ Conexiones de consumidores sin interrupción de la alimentación.
 - ✓ Prever como mínimo un 20% de espacio disponible.
 - ✓ Contaje de energía eléctrica en cada acometida y en cada salida a través de tres transformadores de intensidad (In/5).
- **Cuadros secundarios de baja tensión**
 - ✓ Resto de cuadros de baja tensión que estén ubicados en el propio centro de transformación, y alimentados desde el Cuadro General de Distribución.
- **Batería estacionaria de corriente continua**
 - ✓ Alimentación de protecciones y maniobra del Centro de Transformación.
- **Batería automática de condensadores**
 - ✓ Corrección del factor de potencia.

Red eléctrica de distribución de baja tensión

En un plano en planta de los edificios se sitúan, lo más cerca posible de las cargas y de sus necesidades de agrupamiento, los cuadros de distribución secundarios, que se alimentaran de las redes eléctricas de distribución que parten del Cuadro General de Distribución (CGD) del centro de transformación. Cada línea de salida dispondrá de un dispositivo de mando y protección y discurren por canalizaciones compuestas por los conductores aislados o por canalizaciones eléctricas prefabricadas y sus medios de fijación y protección mecánica.

La red eléctrica de distribución de baja tensión se calcula partiendo de la relación de consumidores de la fábrica teniendo en cuenta su potencia, su factor de potencia y el coeficiente de simultaneidad, así como de la ubicación de los cuadros eléctricos que alimentan dichos consumidores.

Las distintas redes eléctricas de distribución se dividen para:

- Limitar las consecuencias de un defecto al circuito que concierne.
- Facilitar la localización de un defecto.
- Realizar las operaciones de mantenimiento de un circuito, manteniendo el resto de la instalación en tensión.
- Conseguir una mayor disponibilidad de la energía.

Las redes se realizarán atendiendo a criterios de suministrar la mejor calidad y de permitir una buena gestión energética. Para ello se deben realizar tantos circuitos como sea necesario, teniendo en cuenta, entre otros los siguientes criterios:

- Redes de proceso separadas de las de acondicionamiento de edificios.
- Realización de redes separadas con cargas más contaminantes.
- Circuitos de fuerza por línea de proceso o área de trabajo.
- Alimentación a los circuitos de control y a los de potencia independiente.
- Alimentación de equipos especialmente sensibles a las perturbaciones mediante fuentes de alta calidad.
- Para garantizar el mayor equilibrado posible de las cargas, en el caso de cargas monofásicas, éstas se repartirán uniformemente entre las tres fases o conductores polares a lo largo de la instalación.
- Redes que permitan medir la energía eléctrica consumida por cada línea de proceso y de acondicionamiento de edificios.

Las bandejas y canalizaciones serán de dimensiones suficientes para permitir la refrigeración de los cables que soportan sin alcanzar la temperatura máxima admisible y en los pasos de las paredes y el suelo tendrá un recubrimiento cortafuego de 2 horas.

Conductores eléctricos

Utilizaremos dos tipos de conductores

- Conductores aislados (cables).
- Canalizaciones eléctricas prefabricadas.
 - ✓ *Distribución con conductores aislados*
La sección del conductor neutro será igual a la de los conductores de fase.
Se utilizarán cables no propagadores del incendio, con emisión de humos y opacidad reducida y libre de halógenos.
 - ✓ *Distribución con canalizaciones eléctricas prefabricadas*
Las canalizaciones prefabricadas se distinguen por su facilidad de puesta en servicio y flexibilidad de instalación y modificación.

Las cargas centralizadas en los cuadros eléctricos se alimentarán mediante redes con cables aislados. Para las cargas, donde su emplazamiento no esté perfectamente definido, y se encuentren distribuidas por la nave se utilizarán canalizaciones eléctricas prefabricadas.



Figura 52: Conductores aislados multipolares y unipolares [30]



Figura 53: Canalización eléctrica prefabricada [31]

Los cables discurrirán por bandejas, dentro de tubos de acero o en canaletas. Los cables de corrientes fuertes y corrientes débiles irán en caminos separados. Las canalizaciones eléctricas prefabricadas se montarán apoyadas o suspendidas de la estructura de la nave.

Las secciones de los conductores se calcularán en base a las caídas de tensión máximas admisibles y a la intensidad máxima admisible del cable y resistirá las corrientes de cortocircuito que puedan darse en cualquier punto del recorrido del cable hasta que actúe el dispositivo de protección, sin que alcance la temperatura máxima admisible.

Caídas de tensión admisibles

De acuerdo con el Apartado 2.2.2 de la ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, las caídas de tensión máximas admisibles serán de:

- 4,5% para alumbrado
- 6,5% para otros usos

Puestas a tierra

La red de puestas a tierra se establece para limitar la diferencia de tensión entre las masas metálicas y la tierra y para garantizar la actuación de las protecciones.

Esquema de distribución

El esquema de distribución debe garantizar la correcta actuación de las protecciones dadas las características de la instalación y de las puestas a tierra; por tanto, el

esquema de distribución se escogerá siguiendo las exigencias y recomendaciones de la instrucción ITC-BT-08 del Reglamento Electrotécnico para Baja tensión.

Elegimos un sistema de distribución TT. Neutro conectado a la tierra del transformador (Re) y conductor de puesta a tierra de las masas independiente (RE).

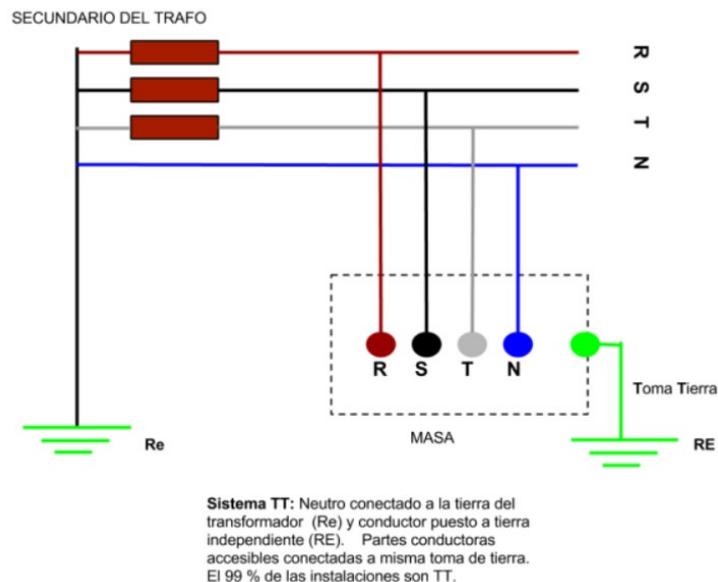


Figura 54: Esquema de distribución TT [29]

Dispositivos de mando y protección

Cada línea dispondrá de su propio dispositivo de seccionamiento omnipolar en el origen destinado a protegerle frente a sobrecargas y cortocircuitos. La intensidad nominal de las protecciones deberá corresponder a la sección de los conductores. Los dispositivos de protección de cada circuito estarán convenientemente coordinados, siendo selectivos con otros dispositivos generales que les precedan.

- *Protección contra contactos directos.*
Mediante un dispositivo aislante que impida el acceso a las partes bajo tensión.
- *Protección contra contactos indirectos.*
Mediante la puesta a tierra de las masas y los elementos conductores a los que se acceda simultáneamente y estará asociada a la utilización de dispositivos de protección con corte automático de la alimentación.

En los circuitos de alumbrado y tomas de corriente se instalarán interruptores diferenciales de gran sensibilidad. En los circuitos de las líneas del proceso se instalarán interruptores diferenciales de baja sensibilidad.

Si debido a que el ambiente de la zona industrial puede dar lugar a pequeñas derivaciones a tierra que individualmente no dispararían el interruptor diferencial, sin embargo, la suma de todas ellas si hicieran disparar un interruptor diferencial puesto en cabecera, se instalará en cada una de las salidas del Cuadro General de

Distribución relés diferenciales regulables con un nivel de alarma y otro de disparo, de tal manera que cuando se llegue al nivel de alarma se compruebe la corriente de defecto a tierra y se busque aguas abajo si alguna de las salidas secundarias tiene una corriente de defecto demasiado elevada y, si es necesario, repararla.

Todos los elementos de protección se seleccionarán e instalarán acorde a las ITC-BT-22, ITC-BT-23 y ITC-BT-24 del Reglamento Electrotécnico para Baja tensión.

Receptores

Motores

Los motores deben cumplir con el Reglamento (UE) 2019/1781 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos y los variadores de velocidad de conformidad con la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

El consumo de energía de los sistemas accionados por motor puede reducirse si los motores que se utilizan en aplicaciones de velocidad y de carga variables se equipan con variadores de velocidad, y también si dichos variadores se rigen por sus propios requisitos mínimos de eficiencia energética. En las aplicaciones de velocidad constante (carga constante), los variadores de velocidad suponen costes adicionales y pérdidas de energía.

Iluminación

La sección HE-3 del Código Técnico de la Edificación establece como exigencia básica que los edificios dispongan de instalaciones de iluminación, adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente.

Para obtener óptimos resultados, es necesario disponer de elementos que controlen y regulen la iluminación de la que disponemos en nuestro edificio. Toda zona dispondrá de un sistema de encendidos por horario centralizado en cada cuadro eléctrico. Cada zona dispondrá de un sistema de control y regulación que incluya:

- Un sistema de encendido y apagado manual externo al cuadro eléctrico
- Un sistema de encendidos por horario centralizado en cada cuadro eléctrico

Las zonas de uso esporádico, dispondrán de un sistema de encendido y apagado de las dos siguientes opciones:

- Un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia, o
- Un sistema de pulsador temporizado

Tipos de alumbrados:

- Ambiente: alumbrado normal del edificio
- Proceso: alumbrado específico de los procesos
- Emergencia:
 - ✓ Antipánico: alumbrado de seguridad anti-pánico
 - ✓ Evacuación: alumbrado de seguridad evacuación
- Exterior: alumbrado de viales

- Alumbrado normal del edificio:

El edificio se concebirá favoreciendo la utilización máxima de la iluminación natural. Las zonas iluminadas por lucernarios o ventanales dispondrán de sensores lumínicos que podrán encender y apagar las luminarias en función de la iluminación que se reciba del exterior, además de los interruptores externos al cuadro eléctrico.

Cuando haya iluminación natural, la iluminación artificial se mandará gradualmente, con arreglo al nivel de alumbrado natural, con 3 niveles (1/3, 2/3 y 3/3 del nominal).

Las zonas situadas a lo largo de los ventanales se tratarán específicamente. El edificio se dividirá en zonas, acorde con las zonas de división del proceso.

- Alumbrado de procesos:

Asegurará un nivel de iluminación óptimo sobre el plano de trabajo y el mejor confort visual para que los trabajadores lleven a cabo su labor de forma segura y cómoda.

El alumbrado de ambiente por encima del proceso no será necesario.

El apagado y encendido estará condicionado a la marcha del proceso productivo.

- Alumbrado de emergencia:

Entrará en funcionamiento cuando se produzca un fallo en la alimentación del alumbrado normal. Debe garantizar la correcta instalación y funcionamiento de los servicios de seguridad, en especial las dedicadas al alumbrado que faciliten la evacuación segura de las personas o la iluminación de puntos viales de los edificios.

Hay dos tipos de alumbrado de emergencia:

- ✓ Antipánico: Permite la identificación y accesos a las rutas de emergencia. Debe proporcionar 0,5 lux en todo el espacio hasta 1 metro de altura durante un tiempo mínimo de 1 hora.
- ✓ Evacuación: Permite reconocer y utilizar las rutas de evacuación. Debe proporcionar 5 lux en los cuadros de distribución y en los puntos de los servicios contra incendios, además de 1 lux en el suelo de las zonas principales de paso.

- Alumbrado exterior

Situados sobre brazos murales adosados a las fachadas.

Las redes eléctricas de alimentación de los alumbrados generales de la nave se realizarán mediante canalizaciones eléctricas prefabricadas o mediante cable en bandeja para el resto.

Otros usos

En otros usos se incluyen todo tipo de receptores que no sean iluminación ni motores, como pueden ser tomas de corriente, climatizadores, etc. y todo tipo de consumidores que no estén implícitamente definidas el tipo de cargas.

Compensación del factor de potencia

En la planta se encuentran presentes muchos consumidores que absorben energía reactiva. Este consumo de energía reactiva produce efectos no deseables en la instalación, un mayor consumo de corriente, pérdidas en los conductores, aumento en las caídas de tensión y sobrecargas en los transformadores y en las líneas de distribución. Además, un factor de potencia bajo acarreará penalizaciones de la empresa suministradora.

Para evitar estos problemas, el factor de potencia general de la instalación se compensará mediante la instalación de baterías de condensadores automáticas de baja tensión, de una potencia variable que asegure, en todo momento, que el factor de potencia esté por encima del 0,95.

El cuadro de estas baterías se conectará al embarrado del Cuadro General de Distribución de baja tensión, a través de un dispositivo de protección adecuado a la intensidad nominal de los condensadores

Los condensadores serán de tipo reforzado y podrán ser instalados en las redes contaminadas que tengan hasta el 25% de generadores de armónicos con relación a la potencia nominal del transformador AT/BT.

Antes de instalar una batería se deben medir armónicos en el punto de conexión. Si la tasa de armónicos en tensión $THDV > 2,5-3\%$ y en intensidad $THDI > 15-20\%$, hay que instalar baterías reforzadas en tensión para 460 V y montar filtros. Hay que analizar a la vez las THDV y THDI. El análisis puede dar los siguientes resultados:

- ✓ Tasa de distorsión armónica baja: Instalar baterías convencionales.
- ✓ Tasa de distorsión armónica próxima al límite: Instalar baterías reforzadas en tensión, con preparación para instalar filtros de armónicos.
- ✓ Tasa de distorsión armónica alta: Instalar baterías reforzadas en tensión con filtros de armónicos.

2.13. CARGAS ELÉCTRICAS

2.13.1. Cargas del proceso productivo

A continuación, se enumeran las máquinas que intervienen en el proceso productivo de la planta, indicando su función, su potencia unitaria y su cantidad.

1. CARGAS ELÉCTRICAS DEL PROCESO PRODUCTIVO			
Línea de fabricación	Nombre de la máquina	Cantidad	P. Unit. (kW)
Transformadores en baño de aceite	Puente grúa (para toda la nave)	1	15
	Cortadora y apiladora de núcleo	1	30
	Horno de recocido del núcleo	1	7,5
	Bobinadora	18	5,5
	Ensamblado	1	5
	Horno de secado por vacío	1	10
	Encubado	1	3
	Llenado de aceite	1	30
	Cinta transportadora	5	2
Transformadores secos encapsulados en resina epoxi	Cortadora y apiladora de núcleo	1	30
	Horno de recocido del núcleo	1	7,5
	Bobinadora	18	5,5
	Moldeado de bobina de AT	1	2
	Pre calentamiento de bobina de AT	1	10
	Instalación de vertido de resina	1	20
	Horno de curado de resina	1	10
	Ensamblado	1	5
	Cinta transportadora	2	2

Tabla 9: Cargas eléctricas. (Fuente: Elaboración propia)

2.13.2. Cargas de los servicios auxiliares

Cargas de servicios auxiliares de la nave

Los servicios generales de la nave comprenden el alumbrado de la nave, la fuerza de la nave (mediante canalizaciones eléctricas prefabricadas), las tomas de corriente de la nave y las cámaras de climatización y ventilación de la nave.

- Alumbrado: Se trata del alumbrado general de la planta, el alumbrado localizado en cada zona y el alumbrado exterior.
- Fuerza: Se ha dividido la planta en cuatro cuadrantes y se instalarán una canalización eléctrica prefabricada en cada una de ellas. Están pensadas para alimentar máquinas y herramientas.
- Tomas de corriente: Se ubicarán tomas de corriente por toda la planta para usarlas en caso de necesidad. Monofásicas a 230 V y trifásicas a 400 V.
- Cámaras de climatización y extracción: Se encargan de climatizar y renovar el aire de la planta y los almacenes.

Cargas de servicios auxiliares centrales

Las cargas eléctricas de los servicios auxiliares centrales comprenden:

- ✓ Centro de transformación: Alumbrado y tomas de corriente, ventilación y batería estacionaria.
- ✓ Central de producción de calor: Alumbrado y tomas de corriente, bombas y pupitres de fuerza y mando de las calderas.
- ✓ Central de compresores: Alumbrado y tomas de corriente, bombas de alimentación de agua de refrigeración, secador de aire y pupitres de fuerza y mando de los compresores.
- ✓ Central de bombeo de agua: Alumbrado y tomas de corriente, bombas de alimentación de agua a la planta.
- ✓ Taller de mantenimiento: Alumbrado, tomas de corriente y red de fuerza.
- ✓ Laboratorio: Alumbrado y tomas de corriente.
- ✓ Carga de baterías de carretillas: Alumbrado y tomas de corriente.

2.13.3. Cargas de los almacenes

Todos los almacenes constarán de iluminación y fuerza. En el almacén de materias primas hay dos puentes grúa de 7,5 kW cada uno.

2.13.4. Cargas de las oficinas

Las oficinas albergan cargas de iluminación, fuerza y climatización, dividido según la zona en la que se encuentran.

2.14. DISEÑO Y DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA A REALIZAR

La instalación eléctrica que se proyectará comienza en el punto de enganche de la compañía, en media tensión. Desde aquí parte una línea de media tensión que llega al centro de transformación donde se reduce su tensión a baja tensión. Desde el Cuadro General de Distribución del centro de transformación salen las líneas eléctricas hasta los cuadros secundarios de los equipos consumidores de baja tensión de la planta.

La instalación eléctrica requiere tres proyectos:

- Proyecto de la red de media tensión
- Proyecto del centro de transformación
- Proyecto de la red de distribución de baja tensión

Se tendrá en cuenta todo lo comentado en el Apartado 1.13.1 “Consideraciones y criterios técnicos a tener en cuenta”.

Para conocer la potencia a suministrar a cada instalación y sus condiciones de funcionamiento y de carga se comenzará por el proyecto de baja tensión. Después se realizará el proyecto del centro de transformación y por último el de la línea de media tensión que alimenta al centro de transformación.

2.14.1. Red de baja tensión

Se trata de realizar la instalación eléctrica para el suministro de energía eléctrica en baja tensión a todas las necesidades de la fábrica.

Alimentación

En este caso la alimentación general tiene su origen en las bornas de baja tensión de los transformadores del Centro de Transformación MT/BT del abonado, que mediante las canalizaciones adecuadas a la potencia nominal del transformador y suministran energía eléctrica al embarrado del Cuadro General de Distribución (CGD).

Las características de la alimentación del suministro normal son:

2.14.1.1. Cuadro general de distribución

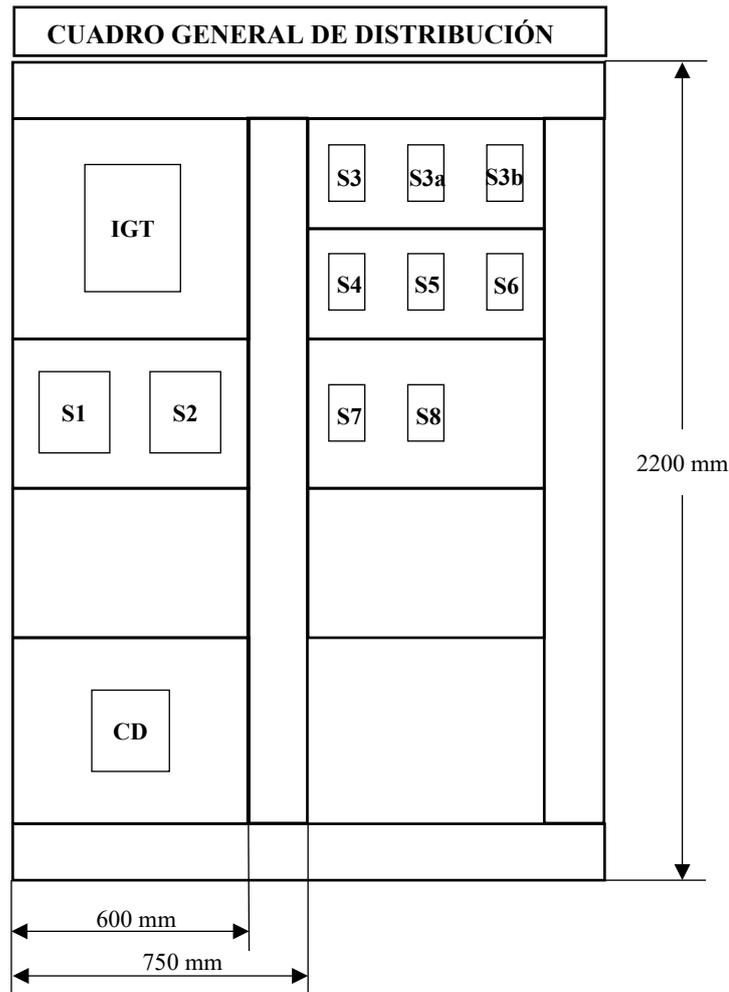


Figura 55: Cuadro General de Distribución. (Fuente: Elaboración propia)

A. GENERAL	REF. CUADRO	INSTALACIÓN RECEPTORA			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. Simult.	F. Pot.
Bornas BT Trafo	TRAFO	Cuadro General de Distribución			
		400/230	3	0,7	0,95

Tabla 10: Alimentación red de baja tensión. (Fuente: Elaboración propia)

INTERRUPTORES CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN			
IGT	Acometida Trafo	S3	Agrupación almacenes
S1	Fabricación trafos secos	S3a	Almacén materia prima
S2	Fabricación trafos en aceite	S3b	Almacén producto terminado
		S4	Oficinas
		S5	Laboratorio
		S6	Carga de baterías
		S7	Servicios auxiliares de nave
CD	Condensadores	S8	Servicios auxiliares centrales

Tabla 11: Interruptores del Cuadro General de Distribución. (Fuente: Elaboración propia)

CUADRO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
Salida 1	S1 FTS	Alimentación subcuadro nivel 1. Fabricación trafos secos			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400	45	0,7	0,8
Salida 2	S2 FTA	Alimentación subcuadro nivel 1. Fabricación trafos en aceite			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400	50	0,7	0,8
Salida 3	S3 AALM	Agrupación almacenes			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	0,2	0,7	0,85
		S3a ALMMP	Aliment. subc. nivel 1. Almacén materia prima		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	15	0,4	0,85
S3b ALMPT	Aliment. subc. nivel 1. Almac prod. terminado				
Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia		
400/230	115	0,4	0,85		
Salida 4	S4 OFIC	Alimentación subcuadro nivel 1. Oficinas			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	25	0,9	0,9
Salida 5	S5 LABO	Alimentación subcuadro nivel 1. Laboratorio			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	120	0,6	0,8
Salida 6	S6 CARB	Alimentación subcuadro nivel 1. Carga de baterías			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	115	0,7	0,8
Salida 7	S7 SAN	Alimentación subcuadro nivel 1. Servicios auxiliares nave			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	15	0,7	0,9
Salida 8	S8 SAC	Alimentación subcuadro nivel 1. Servicios auxiliares centrales			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400/230	15	0,7	0,8
SalidaBC	Batería Condensad.	Alimentación cuadro condensadores			
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneidad	F. Potencia
		400	8	1	0,95

Tabla 12: Datos salidas Cuadro General de Distribución. (Fuente: Elaboración propia)

Desde el Cuadro General de Distribución se dispondrán de tantos subcuadros y a distintos niveles como requiera la instalación.

Subcuadros nivel 1

Desde el Cuadro General de Distribución parten las salidas a alimentar directamente a las distintas instalaciones receptoras o a los cuadros secundarios de nivel 1.

SUBCUADROS NIVEL 1					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
Cuadro 1.1	S1 FTS	Fabricación trafos secos			
		S1.1 CNTS	Alim. subc. nivel2. Cortad. núcleo trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	25	0,8	0,8
		S1.2 BL1TS	Alim. sub. nivel2. Bobinadoras L1 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	30	0,7	0,8
		S1.3 BL2TS	Alim. sub. nivel2. Bobinadoras L2 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	35	0,7	0,8
		S1.4 BL3TS	Alim. sub. nivel2. Bobinadoras L3 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	40	0,7	0,8
S1.5 ECTS	Alim. sub. nivel2. Encapsulado trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia		
400	60	0,7	0,8		
Cuadro 1.2	S2 FTA	Fabricación trafos en aceite			
		S2.1 CNTA	Alim. sub. nivel2. Cortad. núcleo trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	25	0,8	0,8
		S2.2 BL1TA	Alim. sub. nivel2. Bobinadoras L1 traf aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	30	0,7	0,8
		S2.3 BL2TA	Alim. sub. nivel2. Bobinadoras L2 traf aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	35	0,7	0,8
		S2.4 BL3TA	Alim. sub. nivel2. Bobinadoras L3 traf aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia
		400	40	0,7	0,8
S2.5 SETA	Alim. sub. nivel2. Secado/encub traf aceite				
Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultan.	F. Potencia		
400	60	0,7	0,8		
Cuadro 1.3	S3a ALMMP	Almacén materia prima			
		S3.1 ALMP Z1	Alumbrado almacén materia prima zona 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	20	0,8	1
		S3.2 ALMP Z2	Alumbrado almacén materia prima zona 2		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	20	0,8	1
		S3.3 ALMPRC	Alumbr. almacén materia prima recepción		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	30	0,4	1
		S3.4 FZMP Z1	Fuerza almacén materia prima zona 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	30	9	0,9

SUBCUADROS NIVEL 1				
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora	
		S3.5 FZMP Z2	Fuerza almacén materia prima zona 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	30	9
				F. Potencia
				0,9
		S3.6 FZMPRC	Fuerza almacén materia prima recepción	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	40	9
				F. Potencia
				0,9
		S3.7 PGMP	Puente grúa almacén materia prima	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	7,5
				F. Potencia
				0,8
Cuadro 1.4	S3b ALMPT	Almacén producto terminado		
		S3.1 ALPT Z1	Alumb. almacén produc. terminado zona 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	40	1,2
				F. Potencia
				1
		S3.2 ALPT Z2	Alumb. almacén produc. terminado zona 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	40	1,2
				F. Potencia
				1
		S3.3 ALPTEX	Alumb. alm. produc. terminado expedición	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	60	0,4
				F. Potencia
				1
		S3.4 FZPT Z1	Fuerza almacén produc. terminado zona 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	50	12
				F. Potencia
				0,9
		S3.5 FZPT Z2	Fuerza almacén produc. terminado zona 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	50	12
				F. Potencia
				0,9
		S3.6 FZPTEX	Fuerza alm. produc. terminado expedición	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	60	9
				F. Potencia
				0,9
		S3.7 PGPT	Puente grúa almacén producto terminado	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	7,5
				F. Potencia
				0,8
Cuadro 1.5	S4 OFIC	Oficinas		
		S4.1 ALOFIC	Alim. subcuad. nivel 2 alumbrado oficinas	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	5	1
				F. Potencia
				1
		S4.2 FZOFIC	Aliment. subcuadro nivel 2 fuerza oficinas	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	5	0,7
				F. Potencia
				0,9
Cuadro 1.6	S5 LABO	Laboratorio		
		S5.1 ALLABO	Alumbrado laboratorio	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	10	1,5
				F. Potencia
				1
		S5.2 FZLABO	Fuerza laboratorio	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	10	30
				F. Potencia
				0,9
Cuadro 1.7	S6 CARB	Carga de baterías de carretillas		
		S6.1 ALCARB	Alumbrado carga baterías	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	10	0,8
				F. Potencia
				1

SUBCUADROS NIVEL 1				
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora	
		S6.2 FZCARB	Fuerza carga baterías	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	10	20
				F. Potencia
				0,8
Cuadro 1.8	S7 SAN	Servicios auxiliares nave		
		S7.1 ALNAV	Agrupación alumbrados nave	
		S7.1.1 ALCNTS	Alumbrado corte núcleo trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.2 ALB1TS	Alumbr. bobinadoras línea 1 trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.3 ALB2TS	Alumbr. bobinadoras línea 2 trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.4 ALB1TS	Alumbr. bobinadoras línea 3 trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.5 ALCNTA	Alumbrado corte núcleo trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.6 ALB1TA	Alumb. bobinadoras línea 1 trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.7 ALB2TA	Alumb. bobinadoras línea 2 trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.8 ALB1TA	Alumb. bobinadoras línea 3 trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.9 ALEXC1	Alumbrado exterior circuito 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.10 ALEXC2	Alumbrado exterior circuito 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.11 ALEVC1	Alumbrado evacuación circuito 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.12 ALEVC2	Alumbrado evacuación circuito 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,8
		S7.1.13 ALATC1	Alumbrado antipánico circuito 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.14 ALATC2	Alumbrado antipánico circuito 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1
		S7.1.15 ALATC3	Alumbrado antipánico circuito 3	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				1

SUBCUADROS NIVEL 1				
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora	
		S7.2 FZNAV	Agrupación fuerza nave	
		S7.2.1 CAPRL1	Canalización prefabricada línea 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,8
		S7.2.2 CAPRL3	Canalización prefabricada línea 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,8
		S7.2.3 CAPRL3	Canalización prefabricada línea 3	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,8
		S7.3 TCNAV	Agrupación tomas corriente nave	
		S7.3.1 TCCNTS	Tomas corriente corte núcleo trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.2 TCB1TS	T. corriente bobinadoras lín 1 trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.3 TCB2TS	T. corriente bobinadoras lín 2 trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.4 TCB3TS	T. corriente bobinadoras lín 3 trafo seco	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.5 TCCNTA	T. corriente corte núcleo trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.6 TCB1TA	T. corr. bobinadoras línea 1 trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.7 TCB2TA	T. corr. bobinadoras línea 2 trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.3.8 TCB3TA	T. corr. bobinadoras línea 3 trafo aceite	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	Consumos en ruta	F. Potencia
				0,9
		S7.4 CLNAV	Agrupación climatización/ventilación nave	
		S7.4.1 CLMP	Climatización almacén materia prima	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	20	8
				F. Potencia
				0,8
		S7.4.2 CLNZ1	Climatización nave zona 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	30	12
				F. Potencia
				0,8
		S7.4.3 CLNZ2	Climatización nave zona 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	50	12
				F. Potencia
				0,8
		S7.4.4 CLNZ3	Climatización nave zona 3	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	70	12
				F. Potencia
				0,8
		S7.4.5 CLPT	Climatización almacén producto termin.	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	90	10
				F. Potencia
				0,8

SUBCUADROS NIVEL 1				
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora	
Cuadro 1.9	S8 SAC	Servicios auxiliares centrales		
		S8.1 CETRA	Alim. subc. nivel 2 Centro Transformación	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	15	0,5
		S8.2 CPRCA	Alim. sub. nivel 2 Central producción calor	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	15	0,6
		S8.3 CECOM	Alim. subcu. nivel 2 Central Compresores	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	15	0,6
		S8.4 CEBAG	Alim. subcu. nivel 2 Central bombeo agua	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	20	0,6
		S8.5 TMANT	Alim. subcu. nivel 2 Taller mantenimiento	
		Tensión (V)	Longitud (m)	C. simultaneid.
		400/230	20	0,6
				F. Potencia
				0,8

Tabla 13: Datos Subcuadros Nivel 1. (Fuente: Elaboración propia)

CONSUMOS EN RUTA							
REF. Cuadro	REF. Circuito	INSTALACIÓN RECEPTORA					
S7.1 ALNAV	Agrupación alumbrados nave						
	S7.1.1 ALCNTS	Alumbrado zona corte núcleo trafo seco					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	35	10	10	10	10	10	10
	S7.1.2 ALB1TS	Alumbrado zona bobinadoras línea 1 trafo seco					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	30	10	10	10	10	10	10
	S7.1.3 ALB2TS	Alumbrado zona bobinadoras línea 2 trafo seco					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	25	10	10	10	10	10	10
	S7.1.4 ALB3TS	Alumbrado zona bobinadoras línea 3 trafo seco					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	20	10	10	10	10	10	10
	S7.1.5 ALCNTA	Alumbrado zona corte núcleo trafo aceite					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	40	10	10	10	10	10	10
	S7.1.6 ALB1TA	Alumbrado zona bobinadoras línea 1 trafo aceite					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	35	10	10	10	10	10	10
	S7.1.7 ALB2TA	Alumbrado zona bobinadoras línea 2 trafo aceite					
Tramo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Potencia (W)	100	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	30	10	10	10	10	10	10

CONSUMOS EN RUTA							
REF. Cuadro	REF. Circuito		INSTALACIÓN RECEPTORA				
Tramo	S7.1.8 ALB3TA		Alumbrado zona bobinadoras línea 3 trafo aceite				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
	Potencia (W)	100	100	100	100	100	100
Longitud (m)	20	10	10	10	10	10	10
Tramo	S7.1.9 ALEXC1		Alumbrado exterior circuito 1				
	1°	2°	3°	4°	5°		
	Potencia (W)	500	500	500	500	500	500
Longitud (m)	15	30	30	30	30	30	
Tramo	S7.1.10 ALEXC2		Alumbrado exterior circuito 2				
	1°	2°	3°	4°	5°		
	Potencia (W)	500	500	500	500	500	500
Longitud (m)	45	30	30	30	30	30	
Tramo	S7.1.11 ALEVC1		Alumbrado evacuación circuito 1				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
	Potencia (W)	20	20	20	20	20	20
Longitud (m)	10	20	20	20	20	20	
Tramo	S7.1.12 ALEVC2		Alumbrado evacuación circuito 2				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
	Potencia (W)	20	20	20	20	20	20
Longitud (m)	30	20	20	20	20	20	
Tramo	S7.1.13 ALATC1		Alumbrado antipánico circuito 1				
	1°	2°	3°	4°			
	Potencia (W)	25	25	25	25		
Longitud (m)	30	20	20	20			
Tramo	S7.1.14 ALATC2		Alumbrado antipánico circuito 2				
	1°	2°	3°	4°			
	Potencia (W)	25	25	25	25		
Longitud (m)	20	20	20	20			
Tramo	S7.1.15 ALATC3		Alumbrado antipánico circuito 3				
	1°	2°	3°	4°			
	Potencia (W)	25	25	25	25		
Longitud (m)	20	20	20	20			
S7.2 FZNAV	Agrupación fuerza nave						
Tramo	S7.2.1 CAPRL1		Canalización prefabricada línea 1				
	1°	2°	3°	4°	5°		
	Potencia (kW)	3	3	3	3	3	3
Longitud (m)	30	45	60	75	90		
Tramo	S7.2.2 CAPRL2		Canalización prefabricada línea 2				
	1°	2°	3°	4°	5°		
	Potencia (kW)	3	3	3	3	3	3
Longitud (m)	10	25	40	55	70		
Tramo	S7.2.3 CAPRL3		Canalización prefabricada línea 3				
	1°	2°	3°	4°	5°		
	Potencia (kW)	3	3	3	3	3	3
Longitud (m)	30	45	60	75	90		
S7.3 TCNAV	Agrupación tomas corriente nave						
Tramo	S7.3.1 TCCNTS		Tomas corriente corte núcleo trafo seco				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	
	Potencia (kW)	3	3	3	3	3	3
Longitud (m)	35	10	10	10	10	10	

CONSUMOS EN RUTA						
REF. Cuadro	REF. Circuito	INSTALACIÓN RECEPTORA				
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.2 TCB1TS	Tomas corriente bobinadoras lín 1 trafo seco				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	30	10	10	10	10	10
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.3 TCB2TS	Tomas corriente bobinadoras lín 2 trafo seco				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	25	10	10	10	10	10
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.4 TCB3TS	Tomas corriente bobinadoras lín 3 trafo seco				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	20	10	10	10	10	10
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.5 TCCNTA	Tomas corriente corte núcleo trafo aceite				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	40	10	10	10	10	10
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.6 TCB1TA	Tomas corriente bobinadoras línea 1 trafo aceite				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	35	10	10	10	10	10
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.7 TCB2TA	Tomas corriente bobinadoras línea 2 trafo aceite				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	30	10	10	10	10	10
Tramo Potencia (kW) Longitud (m)	S7.3.8 TCB3TA	Tomas corriente bobinadoras línea 3 trafo aceite				
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
	3	3	3	3	3	3
	25	10	10	10	10	10

Tabla 14: Datos consumo en ruta Subcuadros Nivel 1. (Fuente: Elaboración propia)

Subcuadros de nivel 2

Desde cuadros nivel 1 se alimentan los cuadros de nivel 2 siguientes:

SUBCUADROS NIVEL 2					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
Cuadro 2.1	S1.1 CNTS	Cortadora de núcleo de trafo seco			
		S1.1.1 CANTS	Cortadora y apiladora de núcleo		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	25	30	0,8
		S1.1.2 CTTS1	Cinta transportadora 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	55	2	0,8
		S1.1.3 HRNTS	Horno de recocido del núcleo		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	65	7,5	0,8
S1.1.4 CTTS2	Cinta transportadora 2				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	75	2	0,8		
S1.1.5 ENTS	Ensamblado				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	120	5	0,8		
Cuadro 2.2	S1.2 BL1TS	Bobinadoras trafo seco línea 1			
		S1.2.1 PBL1TS	Polipasto bobinadoras trafo seco línea 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	3	0,8
		S1.2.2 B1L1TS	Bobinadora 1 línea 1 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	15	5,5	0,8
		S1.2.3 B2L1TS	Bobinadora 2 línea 1 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	23	5,5	0,8
		S1.2.4 B3L1TS	Bobinadora 3 línea 1 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	31	5,5	0,8
S1.2.5 B4L1TS	Bobinadora 4 línea 1 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	39	5,5	0,8		
S1.2.6 B5L1TS	Bobinadora 5 línea 1 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	47	5,5	0,8		
S1.2.7 B6L1TS	Bobinadora 6 línea 1 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	55	5,5	0,8		
Cuadro 2.3	S1.3 BL2TS	Bobinadoras trafo seco línea 2			
		S1.3.1 PBL2TS	Polipasto bobinadoras trafo seco línea 2		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	3	0,8
		S1.3.2 B1L2TS	Bobinadora 1 línea 2 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
400	15	5,5	0,8		
S1.3.3 B2L2TS	Bobinadora 2 línea 2 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	23	5,5	0,8		

SUBCUADROS NIVEL 2					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
		S1.3.4 B3L2TS	Bobinadora 3 línea 2 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	31	5,5	0,8
		S1.3.5 B4L2TS	Bobinadora 4 línea 2 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	39	5,5	0,8
		S1.3.6 B5L2TS	Bobinadora 5 línea 2 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	47	5,5	0,8
		S1.3.7 B6L2TS	Bobinadora 6 línea 2 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	55	5,5	0,8
Cuadro 2.4	S1.4 BL3TS	Bobinadoras trafo seco línea 3			
		S1.4.1 PBL3TS	Polipasto bobinadoras trafo seco línea 3		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	3	0,8
		S1.4.2 B1L3TS	Bobinadora 1 línea 3 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	15	5,5	0,8
		S1.4.3 B2L3TS	Bobinadora 2 línea 3 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	23	5,5	0,8
		S1.4.4 B3L3TS	Bobinadora 3 línea 3 trafo seco		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	31	5,5	0,8
S1.4.5 B4L3TS	Bobinadora 4 línea 3 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	39	5,5	0,8		
S1.4.6 B5L3TS	Bobinadora 5 línea 3 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	47	5,5	0,8		
S1.4.7 B6L3TS	Bobinadora 6 línea 3 trafo seco				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	55	5,5	0,8		
Cuadro 2.5	S1.5 ECTS	Encapsulado trafo seco			
		S1.5.1 MBATTS	Moldeado de bobina de AT		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	25	2	0,9
		S1.5.2 PBATTS	Pre calentamiento de bobina de AT		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	30	10	0,8
		S1.5.3 VBATTS	Instalación de vertido de resina		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	35	20	0,8
		S1.5.4 HBATTS	Horno de curado de resina		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	40	10	0,8
Cuadro 2.6	S2.1 CNTA	Cortadora de núcleo de trafo aceite			
		S2.1.1 PGNTA	Puente grúa zona de los núcleos		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
400	25	15	0,8		

SUBCUADROS NIVEL 2					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
		S2.1.2 CANTA	Cortadora y apiladora de núcleo		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	25	30	0,8
		S2.1.3 CTTA1	Cinta transportadora 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	55	2	0,8
		S2.1.4 HRNTA	Horno de recocido del núcleo		
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	65	7,5	0,8		
S2.1.5 CTTA2	Cinta transportadora 2				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	75	2	0,8		
S2.1.6 ENTA	Ensamblado				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	85	5	0,8		
Cuadro 2.7	S2.2 BL1TA	Bobinadoras trafo aceite línea 1			
		S2.2.1 PBL1TA	Polipasto bobinadoras trafo aceite línea 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	3	0,8
		S2.2.2 B1L1TA	Bobinadora 1 línea 1 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	15	5,5	0,8
		S2.2.3 B2L1TA	Bobinadora 2 línea 1 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	23	5,5	0,8
		S2.2.4 B3L1TA	Bobinadora 3 línea 1 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	31	5,5	0,8
		S2.2.5 B4L1TA	Bobinadora 4 línea 1 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
400	39	5,5	0,8		
S2.2.6 B5L1TA	Bobinadora 5 línea 1 trafo aceite				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	47	5,5	0,8		
S2.2.7 B6L1TA	Bobinadora 6 línea 1 trafo aceite				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	55	5,5	0,8		
Cuadro 2.8	S2.3 BL2TA	Bobinadoras trafo aceite línea 2			
		S2.3.1 PBL2TA	Polipasto bobinadoras trafo aceite línea 2		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	3	0,8
		S2.3.2 B1L2TA	Bobinadora 1 línea 2 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	15	5,5	0,8
		S2.3.3 B2L2TA	Bobinadora 2 línea 2 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	23	5,5	0,8
		S2.3.4 B3L2TA	Bobinadora 3 línea 2 trafo aceite		
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	31	5,5	0,8		

SUBCUADROS NIVEL 2					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
		S2.3.5 B4L2TA	Bobinadora 4 línea 2 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	39	5,5	0,8
		S2.3.6 B5L2TA	Bobinadora 5 línea 2 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	47	5,5	0,8
		S2.3.7 B6L2TA	Bobinadora 6 línea 2 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	55	5,5	0,8
Cuadro 2.9	S2.4 BL3TA	Bobinadoras trafo aceite línea 3			
		S2.4.1 PBL3TA	Polipasto bobinadoras trafo aceite lín 3		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	3	0,8
		S2.4.2 B1L3TA	Bobinadora 1 línea 3 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	15	5,5	0,8
		S2.4.3 B2L3TA	Bobinadora 2 línea 3 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	23	5,5	0,8
		S2.4.4 B3L3TS	Bobinadora 3 línea 3 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	31	5,5	0,8
		S2.4.5 B4L3TA	Bobinadora 4 línea 3 trafo aceite		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	39	5,5	0,8
S2.4.6 B5L3TA	Bobinadora 5 línea 2 trafo aceite				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	47	5,5	0,8		
S2.4.7 B6L3TA	Bobinadora 6 línea 3 trafo aceite				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	55	5,5	0,8		
Cuadro 2.10	S2.5 SETA	Secado y encubado trafo aceite			
		S2.5.1 CTTA3	Cinta transportadora 3		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	20	2	0,8
		S2.5.2 HSVTA	Horno de secado por vacío		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	15	10	0,8
		S2.5.3 CTTA4	Cinta transportadora 4		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	20	2	0,8
		S2.5.4 ENCTA	Encubado		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	30	3	0,8
S2.5.5 CTTA5	Cinta transportadora 5				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	35	2	0,8		
S2.5.6 LLATA	Llenado de aceite				
Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia		
400	40	30	0,8		

SUBCUADROS NIVEL 2					
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora		
Cuadro 2.11	S4.1 ALOFIC	Alumbrado oficinas			
		S4.1.1 ALOF Z1	Alumbrado oficinas zona 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	10	0,5	1
		S4.1.2 ALOF Z2	Alumbrado oficinas zona 2		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	15	0,5	1
		S4.1.3 ALOF Z3	Alumbrado oficinas zona 3		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	20	0,5	1
		S4.1.4 ALOF SE	Alumbrado oficinas servicios		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	30	0,06	1
		S4.1.5 ALOF VE	Alumbrado oficinas vestuarios		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	30	0,06	1
Cuadro 2.12	S4.2 FZOFIC	Fuerza oficinas			
		S4.2.1 FZOF Z1	Fuerza oficinas zona 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	10	9	0,9
		S4.2.2 FZOF Z2	Fuerza oficinas zona 2		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	15	9	0,9
		S4.2.3 FZOF Z3	Fuerza oficinas zona 3		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	20	10	0,9
		S4.2.4 CLOF Z1	Climatización oficinas zona 1		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	10	10	0,9
		S4.2.5 CLOF Z2	Climatización oficinas zona 2		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	15	10	0,9
		S4.2.6 CLOF Z3	Climatización oficinas zona 3		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	20	10	0,9
Cuadro 2.13	S8.1 CETRA	Centro Transformación			
		S8.1.1 AL CT	Alumbrado centro transformación		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	10	0,4	1
		S8.1.2 FZA CT	Fuerza centro transformación		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400/230	10	6	0,9
		S8.1.3 VEN CT	Ventilación centro transformación		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	2	0,8
		S8.1.4 BES CT	Batería estac. centro transformación		
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW	F. Potencia
		400	10	2	0,8

SUBCUADROS NIVEL 2				
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora	
Cuadro 2.14	S8.2 CPRCA	Central producción de calor		
		S8.2.1 B1AAC	Bombeo 1 agua alimentac. caldera	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	3
		F. Potencia	0,8	
		S8.2.2 B2AAC	Bombeo 2 agua alimentac. caldera	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	3
		F. Potencia	0,8	
		S8.2.3 PFMC1	Pupitre fuerza y mando caldera 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	15	4
		F. Potencia	0,9	
		S8.2.4 PFMC2	Pupitre fuerza y mando caldera 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	15	4
		F. Potencia	0,9	
		S8.2.5 ALCPC	Alumbrado central producción calor	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	20	0,4
		F. Potencia	1	
		S8.2.6 FZACPC	Fuerza central producción calor	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	15	6
		F. Potencia	0,9	
Cuadro 2.15	S8.3 CECOM	Central compresores		
		S8.3.1 B1ARC	Bombeo 1 agua refrigeración compresor	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	2
		F. Potencia	0,8	
		S8.3.2 B2ARC	Bombeo 2 agua refrigeración. compresor	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	2
		F. Potencia	0,8	
		S8.3.3 PFMC1	Pupitre fuerza mando compresor 1	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	15	20
		F. Potencia	0,8	
		S8.3.4 PFMC2	Pupitre fuerza mando compresor 2	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	15	20
		F. Potencia	0,8	
		S8.3.5 ALCEC	Alumbrado central compresores	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	20	0,1
		F. Potencia	1	
		S8.3.6 FZCEC	Fuerza central compresores	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	15	6
		F. Potencia	0,9	
Cuadro 2.16	S8.4 CEBAG	Central bombeo de agua		
		S8.4.1 B1AAP	Bombeo 1 agua alimentación planta	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	5
		F. Potencia	0,8	
		S8.4.2 B2AAP	Bombeo 2 agua alimentación planta	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400	10	5
		F. Potencia	0,8	
		S8.4.3 ALCBA	Alumbrado central bombeo agua	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	20	0,1
		F. Potencia	1	
		S8.4.4 FZCBA	Fuerza central bombeo agua	
		Tensión (V)	Longitud (m)	Potencia kW
		400/230	15	6
		F. Potencia	0,8	

SUBCUADROS NIVEL 2			
SALIDA	Ref. Cuadro	Ref. Circuito	Instalación Receptora
Cuadro 2.21	S8.5 TMANT	Taller de mantenimiento	
		S8.5.1 ALTMA	Alumbrado taller de mantenimiento
		Tensión (V)	Longitud (m) Potencia kW F. Potencia
		400/230	10 0,3 1
		S8.5.2 FZTMA	Fuerza taller de mantenimiento
		Tensión (V)	Longitud (m) Potencia kW F. Potencia
		400/230	10 15 0,8

Tabla 15: Datos Subcuadros Nivel 2. (Fuente: Elaboración propia)

Potencia total instalada

Conocidos todos los consumidores del proceso productivo más los de los servicios generales y auxiliares, tenemos la siguiente potencia instalada:

SALIDA CGD	INSTALACIÓN	POTENCIA INSTALADA
S1	Fabricación trafos secos	196.500 W
S2	Fabricación trafos en aceite	218.500 W
S3	Agrupación almacenes	79.800 W
S4	Oficinas	59.620 W
S5	Laboratorio	31.500 W
S6	Carga baterías de carretillas	20.800 W
S7	Servicios auxiliares nave	253.540 W
S8	Servicios auxiliares centrales	112.300 W
	TOTAL	972.560 W
	- Potencia instalada de alumbrado	20.560 W
	- Potencia instalada de fuerza	952.000 W

Tabla 16: Potencia total instalada. (Fuente: Elaboración propia)

2.14.2. Centro de transformación

Para el diseño del Centro de Transformación del abonado tendremos en cuenta todo lo expuesto en el Apartado "1.13.1.2. Centro de transformación".

El Centro de transformación tendrá unas dimensiones de 8 x 4 m, con pasillos suficientes para poder realizar las maniobras propias de la explotación en condiciones óptimas de seguridad y con rejillas de ventilación que comunicarán el local con el exterior.

Formarán parte del Centro de Transformación el siguiente equipamiento principal:

- 3 cabinas de media tensión:
 - 1 entrada
 - 1 medida
 - 1 de protección del transformador.
- 1 transformadores de 1.250 kVA, seco encapsulado en resina epoxi, de una tensión 13,2 kV/400-230 V (420 V en vacío), con tomas de regulación de la tensión sin carga: $\pm 2.5\%$.
- 1 Cuadro General de Distribución de baja tensión compuesto por 2 paneles para ubicar los interruptores de las instalaciones del proceso productivo y las de servicios auxiliares.
- Además, se instalarán una serie de cuadros secundarios como:
 - 1 cuadros de baterías de condensadores.
 - 1 batería de corriente continua para la alimentación de las protecciones y de la maniobra.
 - 1 cuadro para las instalaciones de Servicios Auxiliares Centrales.
 - 1 cuadro para las instalaciones de Servicios Auxiliares de Nave.
 - 1 cuadro para las necesidades del propio Centro de Transformación.
 - 1 cuadro de oficinas

El Centro de Transformación dispondrá de un panel con todos los elementos necesarios de seguridad y protección de las personas para la realización de las maniobras y un botiquín de primeros auxilios.

Las cabinas de media tensión y el cuadro general de distribución de baja tensión serán modulares y extensibles para poder realizar ampliaciones si ello fuese necesario en un futuro, disponiendo este último, de un espacio libre entorno al 30%. También los transformadores dispondrán de un 30% de potencia con relación a la nominal de cada transformador.

Aunque se dispone de un espacio para la posible instalación de un transformador de reserva, por el momento, no se prevé ningún transformador de reserva, ya que al tratarse de una planta de fabricación de transformadores en caso de avería, del que está en funcionamiento, es fácil de que se pueda reemplazar por alguno que en ese momento no se haya librado al cliente.

El proyecto se realizará con el **Software DMELECT Módulo CT**.

2.14.3. Red de alimentación en media tensión

Para el diseño de la red de alimentación en media tensión se tendrá en cuenta lo reflejado en el apartado "1.13.1.1. Punto de enganche y red eléctrica de alimentación".

La línea de media tensión de 13,2 kV 50 Hz, partirá del punto de enganche de la compañía suministradora de energía y alimentará al Centro de Transformación del abonado a través de una celda de línea equipada con un seccionador de corte en carga.

La longitud de la línea es de 500 m y estará enterrada bajo tubo.

En el cálculo de la sección de los conductores se calculará en función de la potencia total instalada, pero se considerará la posibilidad de un aumento de la potencia, en un futuro, de al menos un 30%.

El diseño de la red de Media Tensión estará de acuerdo con la Reglamentación vigente y en las normas particulares fijadas por la empresa suministradora. La propiedad cederá a la compañía suministradora la línea, quien se hará cargo de su habituada al mantenimiento y conservación.

El proyecto de la línea de MT se realizará con el **Software DMELECT módulo Instalaciones Urbanización.**



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

ÍNDICE

3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	78
3.1. RED DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN	78
3.1.1. Fórmulas	78
3.1.2. Resultados.....	85
3.2. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	97
3.2.1. Fórmulas y resultados	97
3.3. LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN	107
3.3.1. Fórmulas	107
3.3.2. Resultados.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 17: Cableado Cuadro General de Mando y Protección. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	85
Tabla 18: Cortocircuito Cuadro General de Mando y Protección. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	85
Tabla 19: Cableado S1 FabricTraf Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	85
Tabla 20: Cortocircuito S1 FabricTraf Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).....	85
Tabla 21: Cableado S1.1 Cortad. Sec. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	86
Tabla 22: Cortocircuito S1.1 Cortad. Sec. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	86
Tabla 23: Cableado S1.2 Bob1 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).	86
Tabla 24: Cortocircuito S1.2 Bob1 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	86
Tabla 25: Cableado S1.3 Bob2 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).	86
Tabla 26: Cortocircuito S1.3 Bob2 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	87
Tabla 27: Cableado S1.4 Bob3 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).	87
Tabla 28: Cortocircuito S1.4 Bob3 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	87
Tabla 29: Cableado S1.5 Encaps. Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	87
Tabla 30: Cortocircuito S1.5 Encaps. Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).....	87
Tabla 31: Cableado S2 FabriTraf Aceit. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	88
Tabla 32: Cortocircuito S2 FabricTraf Aceit. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).....	88
Tabla 33: Cableado S2.1 Cortad. Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	88
Tabla 34: Cortocircuito S2.1 Cortad. Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).....	88
Tabla 35: Cableado S2.2 Bob1 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	88
Tabla 36: Cortocircuito S2.2 Bob1 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	89
Tabla 37: Cableado S2.3 Bob2 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	89
Tabla 38: Cortocircuito S2.3 Bob2 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	89
Tabla 39: Cableado S2.4 Bob3 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	89
Tabla 40: Cortocircuito S2.4 Bob3 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	89
Tabla 41: Cableado S2.5 Sec/Enc Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	90
Tabla 42: Cortocircuito S2.5 Sec/Enc Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).....	90
Tabla 43: Cableado S3a Almac. MT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])...	90
Tabla 44: Cortocircuito S3a Almac. MT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	90
Tabla 45: Cableado S3b Almac. PT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])...	90

Tabla 46: Cortocircuito S3b Almac. PT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	91
.....	
Tabla 47: Cableado S4 Oficina. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	91
Tabla 48: Cortocircuito S4 Oficina. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	91
Tabla 49: Cableado S4.1 Alumb. Ofic. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	91
Tabla 50: Cortocircuito S4.1 Alumb. Ofic. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	91
.....	
Tabla 51: Cableado S4.2 Frza Ofic. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	91
Tabla 52: Cortocircuito S4.2 Frza Ofi. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	92
Tabla 53: Cableado S5 Laboratorio. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	92
Tabla 54: Cortocircuito S5 Laboratorio. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	92
.....	
Tabla 55: Cableado S6 Carga Baterias. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	92
.....	
Tabla 56: Cortocircuito S6 Carga Baterias. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	92
Tabla 57: Cableado S7 Servic Aux Nave. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	93
.....	
Tabla 58: Cortocircuito S7 Servic Aux Nave. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]). (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	94
Tabla 59: Cableado S8 Servic Aux Cent. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	94
.....	
Tabla 60: Cortocircuito S8 Servic Aux Centr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	94
Tabla 61: Cableado S8.1 Centro Trans. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	95
.....	
Tabla 62: Cortocircuito S8.1 Centro Trans. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	95
Tabla 63: Cableado S8.2 Centro P.Calor. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	95
.....	
Tabla 64: Cortocircuito S8.2 Centro P.Calor. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	95
Tabla 65: Cableado 8.3 Central Compr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	95
.....	
Tabla 66: Cortocircuito 8.3 Central Compr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	96
Tabla 67: Cableado S8.4 Centr. Bomb. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	96
.....	
Tabla 68: Cortocircuito S8.4 Centr. Bomb. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	96
Tabla 69: Cableado S8.5 Taller Mant. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]).	96
Tabla 70: Cortocircuito S8.5 Taller Mant. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	96
.....	
Tabla 71: Intensidad AT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	97
Tabla 72: Intensidad BT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	97
Tabla 73: Cortocircuito AT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	98
Tabla 74: Cortocircuito BT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	98
Tabla 75: Ventilación CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	101
Tabla 76: Tensión y corriente de paso CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	106
.....	
Tabla 77: Tensión y corriente de defecto CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	106
Tabla 78: Conductor línea MT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])	108

3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Para llevar a cabo los cálculos de la instalación eléctrica se han empleado los módulos CT y CIEBT del software dmELECT 2017.

3.1. Red de distribución de baja tensión

3.1.1. Fórmulas

Intensidad y caída de tensión

El cálculo de la corriente y de la caída de tensión depende de si la carga alimentada es monofásica o trifásica.

➤ **Monofásica:**

$$I = \frac{P_c}{U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$\Delta U = \frac{2L \cdot P_c}{\sigma \cdot U \cdot n \cdot S \cdot \eta} + \frac{2L \cdot P_c \cdot X_U \cdot \sin \varphi}{1000 \cdot U \cdot n \cdot \eta \cdot \cos \varphi}$$

➤ **Trifásica:**

$$I = \frac{P_c}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$\Delta U = \frac{L \cdot P_c}{\sigma \cdot U \cdot n \cdot S \cdot \eta} + \frac{L \cdot P_c \cdot X_U \cdot \sin \varphi}{1000 \cdot U \cdot n \cdot \eta \cdot \cos \varphi}$$

Donde:

I = Corriente en amperios

U = Tensión en voltios

P_c = Potencia de cálculo en vatios

$\cos \varphi$ = Factor de potencia

L = Longitud de cálculo en metros

σ = Conductividad del conductor

n = Número de conductores por fase

S = Sección del conductor en mm²

η = Rendimiento (para líneas de motor)

X_U = Reactancia por unidad de longitud en $\frac{m\Omega}{m}$

Comprobaciones térmicas

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\rho = \rho_{20}[1 + \alpha(T - 20)]$$

$$T = T_0 \left[(T_{max} - T_0) \cdot \left(\frac{I}{I_{max}} \right)^2 \right]$$

Donde:

σ = Conductividad del conductor a temperatura T

ρ = Resistividad del conductor a Temperatura T

ρ_{20} = Resistividad del conductor a 20°C

α = Coeficiente de temperatura del conductor

T = Temperatura del conductor

T_0 = Temperatura ambiente

I = Corriente en Amperios

I_{max} = Corriente máxima admisible por el conductor en Amperios

Sobrecargas

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45I_z$$

Donde:

I_b = Intensidad que circula por el conductor en amperios

I_n = Intensidad nominal del dispositivo de protección en amperios

I_z = Intensidad admisible del conductor en amperios

I_2 = Intensidad que asegura el correcto funcionamiento del dispositivo de protección en amperios (para interruptores automáticos se toma $1,45 \cdot I_n$)

Compensación del factor de potencia

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$Q_c = P[\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2]$$

La capacidad de los condensadores dependerá en función del tipo de conexionado:

- Monofásico o conexión en estrella:

$$C = Q_c \frac{1000}{U^2 \cdot \omega}$$

- Conexión en triángulo

$$C = Q_c \frac{1000}{3U^2 \cdot \omega}$$

Donde:

P = Potencia activa en kW

Q = Potencia reactiva en kVAr

φ_1 = Desfase de la instalación en radianes

φ_2 = Desfase de la instalación tras la compensación en radianes

U = Tensión en voltios

ω = Velocidad angular

C = Capacidad de los condensadores en faradios

Q_c = Potencia reactiva a compensar

Cálculo Cortocircuito

$$I_{pccI} = \frac{C_t \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

Donde:

I_{pccI} : intensidad permanente de c.c. en inicio de línea en kA

C_t : Coeficiente de tensión

U : Tensión trifásica en V

Z_t : Impedancia total en mohm, aguas arriba del punto de c.c. (sin incluir la línea o circuito en estudio)

$$I_{pccF} = \frac{C_t \cdot U_F}{2 \cdot Z_t}$$

Donde:

I_{pccF} : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en kA.

C_t : Coeficiente de tensión.

U_F : Tensión monofásica en V.

Z_t : Impedancia total en mohm, incluyendo la propia de la línea o circuito (por tanto es igual a la impedancia en origen más la propia del conductor o línea).

* La impedancia total hasta el punto de cortocircuito será:

$$Z_t = (R_t^2 + X_t^2)^{1/2}$$

Donde:

R_t : $R_1 + R_2 + \dots + R_n$ (suma de las resistencias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.)

X_t : $X_1 + X_2 + \dots + X_n$ (suma de las reactancias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.)

$$R = \frac{L \cdot 1000 \cdot C_R}{K \cdot S \cdot n} \quad (\text{mohm})$$

$$X = \frac{X_u \cdot L}{n} \quad (\text{mohm})$$

R : Resistencia de la línea en mohm.

X : Reactancia de la línea en mohm.

L : Longitud de la línea en m.

C_R : Coeficiente de resistividad.

K : Conductividad del metal.

S : Sección de la línea en mm².

X_u : Reactancia de la línea, en mohm por metro.

n : nº de conductores por fase.

$$t_{mcicc} = \frac{C_c \cdot S^2}{I_{pccF}^2}$$

Donde:

t_{mcicc} : Tiempo máximo en sg que un conductor soporta una I_{pcc} .

C_c = Constante que depende de la naturaleza del conductor y de su aislamiento.

S: Sección de la línea en mm².

I_{pccF} : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$t_{ficc} = \frac{cte. fusible}{I_{pccF}^2}$$

Donde:

t_{ficc} : tiempo de fusión de un fusible para una determinada intensidad de cortocircuito.

I_{pccF} : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$L_{max} = \frac{0,8U_F}{2 \cdot I_{F5} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,5}{K} \cdot S \cdot n\right)^2 + \left(\frac{X_u}{n} \cdot 1000\right)^2}}$$

Donde:

L_{max} : Longitud máxima de conductor protegido a c.c. (m) (para protección por fusibles)

U_F : Tensión de fase (V)

K: Conductividad

S: Sección del conductor (mm²)

X_u : Reactancia por unidad de longitud (mohm/m). En conductores aislados suele ser 0,1.

n: n^o de conductores por fase

$C_F = 0,8$: Es el coeficiente de tensión.

$C_R = 1,5$: Es el coeficiente de resistencia.

I_{F5} = Intensidad de fusión en amperios de fusibles en 5 sg

Calculo Embarrado

$$\sigma_{max} = \frac{I_{pcc}^2 \cdot L^2}{60 \cdot d \cdot W_y \cdot n}$$

Donde:

σ_{max} : Tensión máxima en las pletinas (kg/cm²)

I_{pcc} : Intensidad permanente de c.c. (kA)

L : Separación entre apoyos (cm)

d : Separación entre pletinas (cm)

n : nº de pletinas por fase

W_y : Módulo resistente por pletina eje y-y (cm³)

sadm: Tensión admisible material (kg/cm²)

$$I_{cccs} = \frac{K_c \cdot S}{1000 \cdot \sqrt{t_{cc}}}$$

Donde:

I_{pcc} : Intensidad permanente de c.c. (kA)

I_{cccs} : Intensidad de c.c. soportada por el conductor durante el tiempo de duración del c.c. (kA)

S : Sección total de las pletinas (mm²)

t_{cc} : Tiempo de duración del cortocircuito (s)

K_c : Constante del conductor: Cu = 164; Al = 107

Resistencia de tierra

El cálculo de la resistencia de tierra depende de las siguientes situaciones:

- Placa enterrada

$$R_t = 0.8 \frac{\rho}{p}$$

- Placa vertical

$$R_t = \frac{\rho}{p}$$

- Conductor enterrado horizontalmente

$$R_t = 2 \frac{\rho}{p}$$

- Asociación en paralelo de varios electrodos

$$R_t = \frac{1}{\frac{L_c}{2\rho} + \frac{L_p}{\rho} + \frac{P}{0.8\rho}}$$

Donde:

R_T = Resistencia de tierra en ohmios

ρ = Resistividad del terreno en $m\Omega$

P = Perímetro de la placa en metros

L_P = Longitud de la pica en metros

L_c = Longitud del conductor en metros

3.1.2. Resultados

Cuadro General de Mando y Protección

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
TRAFO	1.187.500	3	5(3x185/95)Cu	1804.27	1.900	0.07	0.07	
S1 FabricTraf Seco	145.050	45	3x95+TTx50Cu	261.71	270.5	0.88	0.95	75x60
S2 FabricTraf Aceit	160.450	50	3x120+TTx70Cu	272.47	315	0.84	0.91	75x60
S3 Alm Mat Prima	58.548	0.2	4x25Cu	99.42	113	0.01	0.07	75x60
S3a Almac. MT	15.240	15	4x25+TTx16Cu	25.88	113	0.11	0.18	75x60
S3b Almac. PT	18.216	115	4x25+TTx16Cu	30.93	113	0.98	1.05	75x60
S4 Oficina	54824.4	25	4x25+TTx16Cu	87.93	113	0.68	0.75	75x60
S5 Laboratorio	19.620	120	4x25+TTx16Cu	35.4	113	1.11	1.17	75x60
S6 Carga Baterias	15.008	115	4x25+TTx16Cu	27.08	113	0.81	0.87	75x60
S7 Servic Aux Nave	184910.39	15	4x120+TTx70Cu	296.56	315	0.29	0.36	75x60
S8 Servic Aux Centr	84.338	15	4x50+TTx25Cu	152.17	171.5	0.32	0.39	75x60
Bateria Condensadores	970.060	8	(3x240+TTx120)Cu	884.89	990	0.09	0.15	200x60

Tabla 17: Cableado Cuadro General de Mando y Protección. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
TRAFO	3	5(3x185/95)Cu	37,89	35	16.860,97	61,54			2000;B
S1 FabricTraf Seco	45	3x95+TTx50Cu	37,44	50	7.419,09	2,17			400;C
S2 FabricTraf Aceit	50	3x120+TTx70Cu	37,44	50	8.121,83	2,89			400;C
S3 Alm Mat Prima	0,2	4x25Cu	37,44	50	16.744,48	0,03			100
S3a Almac. MT	15	4x25+TTx16Cu	37,17	50	6.131,51	0,22			32;C
S3b Almac. PT	115	4x25+TTx16Cu	37,17	50	935,09	9,45			32;C
S4 Oficina	25	4x25+TTx16Cu	37,44	50	4.015,79	0,51			100;C
S5 Laboratorio	120	4x25+TTx16Cu	37,44	50	898,24	10,24			50;C
S6 Carga Baterias	115	4x25+TTx16Cu	37,44	50	936,69	9,42			40;C
S7 Servic Aux Nave	15	4x120+TTx70Cu	37,44	50	14.004,50	0,97			400;C
S8 Servic Aux Centr	15	4x50+TTx25Cu	37,44	50	9.967,04	0,33			160;C
Bateria Condensadores	8	(3x240+TTx120)Cu	37,44	50	16.595,49	11,06			1000;C

Tabla 18: Cortocircuito Cuadro General de Mando y Protección. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S1 FabricTraf Seco

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S1.1 Cortad. Sec.	44.700	25	3x25+TTx16Cu	80,65	113	0,55	1,5	75x60
S1.2 Bob1 Seco	26.575	30	3x25+TTx16Cu	47,95	113	0,38	1,32	75x60
S1.3 Bob2 Seco	26.575	30	3x25+TTx16Cu	47,95	113	0,38	1,32	75x60
S1.4 Bob3 Seco.	26.575	35	3x25+TTx16Cu	47,95	113	0,44	1,39	75x60
S1.5 Encaps. Seco	34.400	60	3x25+TTx16Cu	62,07	113	0,99	1,94	75x60

Tabla 19: Cableado S1 FabricTraf Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S1.1 Cortad. Sec.	25	3x25+TTx16Cu	16,47	20	2.814,15	1,04			100;C
S1.2 Bob1 Seco	30	3x25+TTx16Cu	16,47	20	2.496,42	1,33			50;C
S1.3 Bob2 Seco	30	3x25+TTx16Cu	16,47	20	2.496,42	1,33			50;C
S1.4 Bob3 Seco.	35	3x25+TTx16Cu	16,47	20	2.242,6	1,64			50;C
S1.5 Encaps. Seco	60	3x25+TTx16Cu	16,47	20	14.84,85	3,75			63;C

Tabla 20: Cortocircuito S1 FabricTraf Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Subcuadro S1.1 Cortad. Sec.

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm. (A)	C.T.Parc (%)	T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S1.1.1 CANTS	37.500	25	3x10+TTx10Cu	67,66 39,06	43	1,19	2,68	32
S1.1.2 CTTS1	2.500	55	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,64	2,14	20
S1.1.3 HRNTS	9.375	65	3x4+TTx4Cu	16,92	24	1,87	3,36	20
S1.1.4 CTTS2	2.500	75	2x4+TTx4Cu	13,59	26	3,39	4,89	20
S1.1.5 ENTS	6.250	120	2x16+TTx16Cu	33,97	63	3,4	4,9	32

Tabla 21: Cableado S1.1 Cortad. Sec. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Ipcci (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S1.1.1 CANTS	25	3x10+TTx10Cu	6,25	10	1081,65	1,13			80;C
S1.1.2 CTTS1	55	3x2.5+TTx2.5Cu	6,25	10	185,69	2,4			16;C
S1.1.3 HRNTS	65	3x4+TTx4Cu	6,25	10	245,73	3,5			20;C
S1.1.4 CTTS2	75	2x4+TTx4Cu	6,25	10	215,44	4,56			16;C
S1.1.5 ENTS	120	2x16+TTx16Cu	6,25	10	483,63	1447			40;C

Tabla 22: Cortocircuito S1.1 Cortad. Sec. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S1.2 Bob1 Seco

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm. (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S1.2.1 PBL1TS	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	1,5	20
S1.2.2 B1L1TS	6.875	15	2x10+TTx10Cu	37,36	46	0,78	2,1	25
S1.2.3 B2L1TS	6.875	23	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,77	2,1	20
S1.2.4 B3L1TS	6.875	31	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,04	2,37	20
S1.2.5 B4L1TS	6.875	39	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,31	2,64	20
S1.2.6 B5L1TS	6.875	47	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,58	2,9	20
S1.2.7 B6L1TS	6.875	55	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,85	3,17	20

Tabla 23: Cableado S1.2 Bob1 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Ipcci (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S1.2.1 PBL1TS	10	3x2.5+TTx2.5Cu	5,54	6	761,62	0,14			16;C
S1.2.2 B1L1TS	15	2x10+TTx10Cu	5,54	6	1347,91	0,73			40;C
S1.2.3 B2L1TS	23	3x2.5+TTx2.5Cu	5,54	6	399,63	0,52			16;C
S1.2.4 B3L1TS	31	3x2.5+TTx2.5Cu	5,54	6	309,17	0,86			16;C
S1.2.5 B4L1TS	39	3x2.5+TTx2.5Cu	5,54	6	252,1	1,3			16;C
S1.2.6 B5L1TS	47	3x2.5+TTx2.5Cu	5,54	6	212,82	1,82			16;C
S1.2.7 B6L1TS	55	3x2.5+TTx2.5Cu	5,54	6	184,13	2,44			16;C

Tabla 24: Cortocircuito S1.2 Bob1 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S1.3 Bob2 Seco

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm. (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S1.3.1 PBL2TS	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	1,5	20
S1.3.2 B1L2TS	6.875	15	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,5	1,83	20
S1.3.3 B2L2TS	6.875	23	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,77	2,1	20
S1.3.4 B3L2TS	6.875	31	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,04	2,37	20
S1.3.5 B4L2TS	6.875	39	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,31	2,64	20
S1.3.6 B5L2TS	6.875	47	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,58	2,9	20
S1.3.7 B6L2TS	6.875	55	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,85	3,17	20

Tabla 25: Cableado S1.3 Bob2 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S1.3.1 PBL2TS	10	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	761.62	0.14			16;C
S1.3.2 B1L2TS	15	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	564.87	0.26			16;C
S1.3.3 B2L2TS	23	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	399.63	0.52			16;C
S1.3.4 B3L2TS	31	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	309.17	0.86			16;C
S1.3.5 B4L2TS	39	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	252.1	1.3			16;C
S1.3.6 B5L2TS	47	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	212.82	1.82			16;C
S1.3.7 B6L2TS	55	3x2.5+TTx2.5Cu	5.54	6	184.13	2.44			16;C

Tabla 26: Cortocircuito S1.3 Bob2 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S1.4 Bob3 Seco.

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S1.4.1 PBL3TS	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	1,56	20
S1.4.2 B1L3TS	6.875	15	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,5	1,89	20
S1.4.3 B2L3TS	6.875	23	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,77	2,16	20
S1.4.4 B3L3TS	6.875	31	4x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,04	2,43	20
S1.4.5 B4L3TS	6.875	39	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,31	2,7	20
S1.4.6 B5L3TS	6.875	47	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,58	2,97	20
S1.4.7 B6L3TS	6.875	55	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,85	3,24	20

Tabla 27: Cableado S1.4 Bob3 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S1.4.1 PBL3TS	10	3x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	735,99	0,15			16;C
S1.4.2 B1L3TS	15	3x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	550,64	0,27			16;C
S1.4.3 B2L3TS	23	3x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	392,45	0,54			16;C
S1.4.4 B3L3TS	31	4x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	304,86	0,89			16;C
S1.4.5 B4L3TS	39	3x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	249,23	1,33			16;C
S1.4.6 B5L3TS	47	3x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	210,77	1,86			16;C
S1.4.7 B6L3TS	55	3x2.5+TTx2.5Cu	4,98	6	182,59	2,48			16;C

Tabla 28: Cortocircuito S1.4 Bob3 Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S1.5 Encaps. Seco

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S1.5.1 MBATTS	2.000	25	3x2.5+TTx2.5Cu	3,21	18	0,23	2,17	20
S1.5.2 PBATTS	12.500	30	3x6+TTx6Cu	22,55	31	0,77	2,71	25
S1.5.3 VBATTS	25.000	35	3x10+TTx10Cu	45,11 26,04	43	1,06	3	32
S1.5.4 HBATTS	10.000	40	3x4+TTx4Cu	18,04	24	1,23	3,17	20

Tabla 29: Cableado S1.5 Encaps. Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S1.5.1 MBATTS	25	3x2.5+TTx2.5Cu	3,3	4,5	337,85	0,72			16;C
S1.5.2 PBATTS	30	3x6+TTx6Cu	3,3	4,5	550,64	1,57			25;C
S1.5.3 VBATTS	35	3x10+TTx10Cu	3,3	4,5	678,87	2,87			50;C
S1.5.4 HBATTS	40	3x4+TTx4Cu	3,3	4,5	337,85	1,85			20;C

Tabla 30: Cortocircuito S1.5 Encaps. Seco. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Subcuadro S2 FabricTraf Aceit

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S2.1 Cortad. Aceite	56.700	25	3x25+TTx16Cu	102,3	113	0,72	1,63	75x60
S2.2 Bob1 Aceite	26.575	30	3x25+TTx16Cu	47,95	113	0,38	1,28	75x60
S2.3 Bob2 Aceite	26.575	35	4x25+TTx16Cu	47,95	113	0,44	1,35	75x60
S2.4 Bob3 Aceite	26.575	40	4x25+TTx16Cu	47,95	113	0,5	1,41	75x60
S2.5 Sec/Enc Aceite	41.800	60	4x25+TTx16Cu	75,42	113	1,22	2,13	75x60

Tabla 31: Cableado S2 FabriTraf Aceit. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S2.1 Cortad. Aceite	25	3x25+TTx16Cu	18,03	20	2.919,88	0,97			125;C
S2.2 Bob1 Aceite	30	3x25+TTx16Cu	18,03	20	2.579,53	1,24			50;C
S2.3 Bob2 Aceite	35	4x25+TTx16Cu	18,03	20	2.309,59	1,55			50;C
S2.4 Bob3 Aceite	40	4x25+TTx16Cu	18,03	20	2.090,42	1,89			50;C
S2.5 Sec/Enc Aceite	60	4x25+TTx16Cu	18,03	20	1.514,07	3,61			80;C

Tabla 32: Cortocircuito S2 FabricTraf Aceit. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S2.1 Cortad. Aceite

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S2.1.1 PGNTA	1.750	25	3x6+TTx6Cu	33,83 19,53	31	0,95	2,57	25
S2.1.2 CANTA	37.500	25	3x10+TTx10Cu	67,66 39,06	43	1,19	2,81	32
S2.1.3 CTTA1	2.500	55	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,64	2,27	20
S2.1.4HRNTA	9.375	65	3x4+TTx4Cu	16,92	24	1,87	3,49	20
S2.1.5 CTTA2	2.500	75	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,88	2,5	20
S2.1.6 ENTA	6.250	85	3x2.5+TTx2.5Cu	11,28	18	2,58	4,2	20

Tabla 33: Cableado S2.1 Cortad. Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S2.1.1 PGNTA	25	3x6+TTx6Cu	6.48	10	773.79	0.8			40;C
S2.1.2 CANTA	25	3x10+TTx10Cu	6.48	10	1097.11	1.1			80;C
S2.1.3 CTTA1	55	3x2.5+TTx2.5Cu	6.48	10	186.14	2.39			16;C
S2.1.4HRNTA	65	3x4+TTx4Cu	6.48	10	246.52	3.48			20;C

Tabla 34: Cortocircuito S2.1 Cortad. Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S2.2 Bob1 Aceite

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S2.2.1 PBL1TA	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	1,46	20
S2.2.2 B1L1TA	6.875	15	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,5	1,79	20
S2.2.3 B2L1TA	6.875	23	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,77	2,06	20
S2.2.4 B3L1TA	6.875	31	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,04	2,33	20
S2.2.5 B4L1TA	6.875	39	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,31	2,6	20
S2.2.6 B5L1TA	6.875	47	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,58	2,87	20
S2.2.7 B6L1TA	6.875	55	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,85	3,13	20

Tabla 35: Cableado S2.2 Bob1 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S2.2.1 PBL1TA	10	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	769,26	0,14			16;C
S2.2.2 B1L1TA	15	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	569,06	0,26			16;C
S2.2.3 B2L1TA	23	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	401,72	0,51			16;C
S2.2.4 B3L1TA	31	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	310,43	0,86			16;C
S2.2.5 B4L1TA	39	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	252,94	1,29			16;C
S2.2.6 B5L1TA	47	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	213,41	1,81			16;C
S2.2.7 B6L1TA	55	3x2.5+TTx2.5Cu	5,73	6	184,57	2,43			16;C

Tabla 36: Cortocircuito S2.2 Bob1 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S2.3 Bob2 Aceite

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S2.3.1 PBL2TA	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	1,52	20
S2.3.2 P1L2TA	6.875	15	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,5	1,85	20
S2.3.3 B2L2TA	6.875	23	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,77	2,12	20
S2.3.4 B3L2TA	6.875	31	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,04	2,39	20
S2.3.5 B4L2TA	6.875	39	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,31	2,66	20
S2.3.6 B5L2TA	6.875	47	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,58	2,93	20
S2.3.7 B6L2TA	6.875	55	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,85	3,2	20

Tabla 37: Cableado S2.3 Bob2 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S2.2.1 PBL2TA	10	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	743,12	0,15			16;C
S2.2.2 B1L2TA	15	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	554,62	0,27			16;C
S2.2.3 B2L2TA	23	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	394,47	0,53			16;C
S2.2.4 B3L2TA	31	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	306,08	0,88			16;C
S2.2.5 B4L2TA	39	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	250,04	1,32			16;C
S2.2.6 B5L2TA	47	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	211,35	1,85			16;C
S2.2.7 B6L2TA	55	3x2.5+TTx2.5Cu	5,13	6	183,02	2,47			16;C

Tabla 38: Cortocircuito S2.3 Bob2 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S2.4 Bob3 Aceite

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S2.4.1 PBL3TA	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	1,59	20
S2.4.2 B1L3TA	6.875	15	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,5	1,92	20
S2.4.3 B2L3TA	6.875	23	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	0,77	2,18	20
S2.4.4 B3L3TS	6.875	31	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,04	2,45	20
S2.4.5 B4L3TA	6.875	39	3x2.5+TTx2.5Cu	12,4	18	1,31	2,72	20

Tabla 39: Cableado S2.4 Bob3 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S2.4.1 PBL3TA	10	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	718,7	0,16			16;C
S2.4.2 B1L3TA	15	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	540,9	0,28			16;C
S2.4.3 B2L3TA	23	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	387,48	0,55			16;C
S2.4.4 B3L3TS	31	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	301,85	0,91			16;C
S2.4.5 B4L3TA	39	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	247,21	1,35			16;C
S2.4.6 B5L3TA	47	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	209,32	1,89			16;C
S2.4.7 B6L3TA	55	3x2.5+TTx2.5Cu	4,64	6	181,5	2,51			16;C

Tabla 40: Cortocircuito S2.4 Bob3 Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Subcuadro S2.5 Sec/Enc Aceite

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S2.5.1 CTTA3	2.500	20	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,23	2,36	20
S2.5.2 HSVTA	12.500	15	3x6+TTx6Cu	22,55	31	0,38	2,51	25
S2.5.3 CTTA4	2.500	20	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,23	2,36	20
S2.5.4 ENCTA	3.000	30	3x2.5+TTx2.5Cu	5,41	18	0,42	2,55	20
S2.5.5 CTTA5	2.500	35	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,41	2,54	20
S2.5.6 LLATA	37.500	40	3x10+TTx10Cu	67,66 39,06	43	1,9	4,03	32

Tabla 41: Cableado S2.5 Sec/Enc Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S2.5.1 CTTA3	20	3x2.5+TTx2.5Cu	3,36	4,5	401,72	0,51			16;C
S2.5.2 HSVTA	15	3x6+TTx6Cu	3,36	4,5	812,1	0,72			25;C
S2.5.3 CTTA4	20	3x2.5+TTx2.5Cu	3,36	4,5	401,72	0,51			16;C
S2.5.4 ENCTA	30	3x2.5+TTx2.5Cu	3,36	4,5	293,74	0,96			16;C
S2.5.5 CTTA5	35	3x2.5+TTx2.5Cu	3,36	4,5	258,93	1,23			16;C
S2.5.6 LLATA	40	3x10+TTx10Cu	3,36	4,5	635,19	3,28			80;B

Tabla 42: Cortocircuito S2.5 Sec/Enc Aceite. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S3a Almac. MT

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S3.1 ALMP Z1	1.440	20	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	13,5	0,22	0,4	20
S3.2 ALMP Z2	1.440	20	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	13,5	0,22	0,4	20
S3.3 ALMPRC	720	30	4x1.5+TTx1.5Cu	1,04	13,5	0,17	0,35	20
S3.4 FZMP Z1	9.000	30	4x2.5+TTx2.5Cu	14,43	18	1,34	1,52	20
S3.5 FZMP Z2	9.000	30	4x2.5+TTx2.5Cu	14,43	18	1,34	1,52	20
S3.6 FZMPRC	9.000	40	4x2.5+TTx2.5Cu	14,43	18	1,79	1,97	20
S3.7 PGMP	7.500	10	3x4+TTx4Cu	13,53	24	0,23	0,4	20

Tabla 43: Cableado S3a Almac. MT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S3.1 ALMP Z1	20	4x1.5+TTx1.5Cu	13,61	15	312,1	0,31			10;C
S3.2 ALMP Z2	20	4x1.5+TTx1.5Cu	13,61	15	312,1	0,31			10;C
S3.3 ALMPRC	30	4x1.5+TTx1.5Cu	13,61	15	211,44	0,67			10;C
S3.4 FZMP Z1	30	4x2.5+TTx2.5Cu	13,61	15	344,94	0,69			16;C
S3.5 FZMP Z2	30	4x2.5+TTx2.5Cu	13,61	15	344,94	0,69			16;C
S3.6 FZMPRC	40	4x2.5+TTx2.5Cu	13,61	15	262,17	1,2			16;C
S3.7 PGMP	10	3x4+TTx4Cu	13,61	15	1.375,69	0,11			16;C

Tabla 44: Cortocircuito S3a Almac. MT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S3b Almac. PT

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S3.1 ALPT Z1	2.160	40	4x1.5+TTx1.5Cu	3,12	13,5	0,67	1,73	20
S3.2 ALPT Z2	2.160	40	4x1.5+TTx1.5Cu	3,12	13,5	0,67	1,73	20
S3.3 ALPTTEX	720	60	4x1.5+TTx1.5Cu	1,04	13,5	0,33	1,39	20
S3.4 FZPT Z1	12.000	50	4x4+TTx4Cu	19,25	24	1,87	2,92	25
S3.5 FZPT Z2	12.000	50	4x4+TTx4Cu	19,25	24	1,87	2,92	25
S3.6 FZPTTEX	9.000	60	4x2.5+TTx2.5Cu	14,43	18	2,69	3,74	20
S3.7 PGPT	7.500	10	3x2.5+TTx2.5Cu	13,53	18	0,37	1,42	20

Tabla 45: Cableado S3b Almac. PT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S3.1 ALPT Z1	40	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	4,5	139,46	1,53			10;C
S3.2 ALPT Z2	40	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	4,5	139,46	1,53			10;C
S3.3 ALPT EX	60	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	4,5	97,83	3,11			10;B
S3.4 FZPT Z1	50	4x4+TTx4Cu	2,08	4,5	254,54	3,27			20;C
S3.5 FZPT Z2	50	4x4+TTx4Cu	2,08	4,5	254,54	3,27			20;C
S3.6 FZPT EX	60	4x2.5+TTx2.5Cu	2,08	4,5	152,44	3,56			16;B
S3.7 PGPT	10	3x2.5+TTx2.5Cu	2,08	4,5	504,02	0,33			16;C

Tabla 46: Cortocircuito S3b Almac. PT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S4 Oficina

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S4.1 Alumb. Ofic	2.916	5	4x25+TTx16Cu	4,21	113	0,1	0,75	75x60
S4.2 Frza Ofic	40.600	5	4x25+TTx16Cu	65,11	113	0,1	0,84	75x60

Tabla 47: Cableado S4 Oficina. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S4.1 Alumb. Ofic	5	4x25+TTx16Cu	8,91	10	34.04,51	0,71			10;C
S4.2 Frza Ofic	5	4x25+TTx16Cu	8,91	10	34.04,51	0,71			80;C

Tabla 48: Cortocircuito S4 Oficina. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S4.1 Alumb. Ofic

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S4.1.1 ALOF Z1	900	10	4x2.5+TTx2.5Cu	1,3	18	0,04	0,79	20
S4.1.2 ALOF Z2	900	15	4x1.5+TTx1.5Cu	1,3	13,5	0,1	0,86	20
S4.1.3. ALOF Z3	900	20	4x1.5+TTx1.5Cu	1,3	13,5	0,14	0,89	20
S4.1.4 ALOF SE	108	30	4x1.5+TTx1.5Cu	0,6	13,5	0,03	0,78	20
S4.1.5 ALOF VE	108	30	4x1.5+TTx1.5Cu	0,6	13,5	0,03	0,78	20

Tabla 49: Cableado S4.1 Alumb. Ofic. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S4.1.1 ALOF Z1	10	4x2.5+TTx2.5Cu	7,56	10	830,07	0,12			10;C
S4.1.2 ALOF Z2	15	4x1.5+TTx1.5Cu	7,56	10	388,05	0,2			10;C
S4.1.3. ALOF Z3	20	4x1.5+TTx1.5Cu	7,56	10	299,44	0,33			10;C
S4.1.4 ALOF SE	30	4x1.5+TTx1.5Cu	7,56	10	205,55	0,7			10;C
S4.1.5 ALOF VE	30	4x1.5+TTx1.5Cu	7,56	10	205,55	0,7			10;C

Tabla 50: Cortocircuito S4.1 Alumb. Ofic. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S4.2 Frza Ofic

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S4.2.1 FZOF Z1	9.000	10	4x2.5+TTx2.5Cu	14,43	18	0,45	1,29	20
S4.2.2 FZOF Z2	9.000	15	4x2.5+TTx2.5Cu	14,43	18	0,67	1,52	20
S4.2.3 FZOF Z3	10.000	20	4x4+TTx4Cu	16,04	24	0,61	1,45	25
S4.2.4 CLOF Z1	10.000	10	4x4+TTx4Cu	16,04	24	0,3	1,15	25
S4.2.5 CLOF Z2	10.000	15	4x4+TTx4Cu	16,04	24	0,46	1,3	25
S4.2.6 CLOF Z3	10.000	20	4x4+TTx4Cu	16,04	24	0,61	1,45	25

Tabla 51: Cableado S4.2 Frza Ofic. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S4.2.1 FZOF Z1	10	4x2.5+TTx2.5Cu	7,56	10	830,07	0,12			16;C
S4.2.2 FZOF Z2	15	4x2.5+TTx2.5Cu	7,56	10	601,69	0,23			16;C
S4.2.3 FZOF Z3	20	4x4+TTx4Cu	7,56	10	697,68	0,43			20;C
S4.2.4 CLOF Z1	10	4x4+TTx4Cu	7,56	10	1160,07	0,16			20;C
S4.2.5 CLOF Z2	15	4x4+TTx4Cu	7,56	10	871,4	0,28			20;C
S4.2.6 CLOF Z3	20	4x4+TTx4Cu	7,56	10	697,68	0,43			20;C

Tabla 52: Cortocircuito S4.2 Frza Ofi. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S5 Laboratorio

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S5.1 ALLABO	2.700	10	4x1.5+TTx1.5Cu	3,9	13,5	0,21	1,38	20
S5.2 FZLABO	30.000	10	4x16+TTx16Cu	48,11	59	0,23	1,41	40

Tabla 53: Cableado S5 Laboratorio. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S5.1 ALLABO	10	4x1.5+TTx1.5Cu	1,99	4,5	379,08	0,21			10;C
S5.2 FZLABO	10	4x16+TTx16Cu	1,99	4,5	796,09	5,34			50;C

Tabla 54: Cortocircuito S5 Laboratorio. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S6 Carga Baterías

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S6.1 ALCARB	1.440	10	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	13,5	0,11	0,99	20
S6.2 FZCARB	20.000	10	4x10+TTx10Cu	36,09	43	0,25	1,12	32

Tabla 55: Cableado S6 Carga Baterías. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S6.1 ALCARB	10	4x1.5+TTx1.5Cu	2,08	4,5	385,7	0,2			10;C
S6.2 FZCARB	10	4x10+TTx10Cu	2,08	4,5	771,2	2,22			40;C

Tabla 56: Cortocircuito S6 Carga Baterías. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Subcuadro S7 Servic Aux Nave

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cál. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc (%)	C.T.Tota (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S7.1 Alumb. Nave	19.872	0,3	4x25Cu	35,85	113	0	0,36	75x60
S7.1.1 ALNAV	1.260	95	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,64	1	20
S7.1.2 ALB1TS	1.260	90	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,59	0,95	20
S7.1.3 ALB2TS	1.260	85	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,54	0,9	20
S7.1.4 ALB3TS	1.080	60	4x1.5+TTx1.5Cu	1,56	13,5	0,29	0,66	20
S7.1.5 ALCNTA	1.260	100	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,68	1,05	20
S7.1.6 ALB1TA	1.260	95	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,64	1	20
S7.1.7 ALB2TA	1.260	90	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,59	0,95	20
S7.1.8 ALB3TA	1.260	80	4x1.5+TTx1.5Cu	1,82	13,5	0,49	0,85	20
S7.1.9 ALEXC1	4.500	135	4x2.5+TTx2.5Cu	6,5	18	1,59	1,96	20
S7.1.10 ALEXC2	4.500	165	4x2.5+TTx2.5Cu	6,5	18	2,23	2,59	20
S7.1.11 ALEVC1	216	110	4x1.5+TTx1.5Cu	0,31	13,5	0,1	0,46	20
S7.1.12 ALEVC2	216	130	4x1.5+TTx1.5Cu	0,31	13,5	0,13	0,5	20
S7.1.13 ALATC1	180	90	4x1.5+TTx1.5Cu	0,26	13,5	0,08	0,45	20
S7.1.14 ALATC2	180	80	4x1.5+TTx1.5Cu	0,26	13,5	0,07	0,43	20
S7.1.15 ALATC3	180	80	4x1.5+TTx1.5Cu	0,26	13,5	0,07	0,43	20
S7.2 Fza Nave	45.000	0,3	4x25Cu	81,19	113	0,01	0,37	75x60
S7.2.1 CAPRL1	15.000	300	3x10+TTx10Cu	24,06	43	2,7	3,07	32
S7.2.2 CAPRL2	15.000	200	3x6+TTx6Cu	24,06	31	2,79	3,15	25
S7.2.3 CAPRL3	15.000	300	3x10+TTx10Cu	24,06	43	2,7	3,07	32
S7.3 TomasC. Nave	141.000	0,3	4x95Cu	254,4	270,5	0,01	0,37	75x60
S7.3.1 TCCNTS	18.000	85	4x10+TTx10Cu	28,87	43	1,32	1,68	32
S7.3.2 TCB1TS	18.000	80	4x10+TTx10Cu	28,87	43	1,21	1,57	32
S7.3.3 TCB2TS	18.000	75	4x10+TTx10Cu	28,87	43	1,1	1,46	32
S7.3.4 TCB3TS	18.000	70	4x10+TTx10Cu	28,87	43	0,99	1,35	32
S7.3.5 TCCNTA	18.000	90	4x10+TTx10Cu	28,87	43	1,43	1,79	32
S7.3.6 TCB1TA	15.000	85	4x6+TTx6Cu	24,06	31	1,7	2,07	25
S7.3.7 TCB2TA	18.000	80	4x10+TTx10Cu	28,87	43	1,21	1,57	32
S7.3.8 TCB3TA	18.000	75	4x10+TTx10Cu	28,87	43	1,1	1,46	32
S7.4 Clima. Nave	57.000	0,3	4x25Cu	102,84	113	0,01	0,37	75x60
S7.4.1 CLMP	10.000	20	3x4+TTx4Cu	18,04	24	0,62	0,99	20
S7.4.2 CLNZ1	15.000	30	3x10+TTx10Cu	27,06	43	0,55	0,92	32
S7.4.3 CLNZ2	15.000	50	3x10+TTx10Cu	27,06	43	0,91	1,28	32
S7.4.4 CLNZ3	15.000	70	3x10+TTx10Cu	27,06	43	1,27	1,64	32
S7.4.5 CLPT	12.500	90	3x6+TTx6Cu	22,55	31	2,31	2,68	25

Tabla 57: Cableado S7 Servic Aux Nave. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S7.1 Alumb. Nave	0,3	4x25Cu	31.08	35	13.688,4	0,04			40
S7.1.1 ALNAV	95	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	68,79	6,29			10;B
S7.1.2 ALB1TS	90	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	72,6	5,65			10;B
S7.1.3 ALB2TS	85	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	76,85	5,04			10;B
S7.1.4 ALB3TS	60	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	108,72	2,52			10;C
S7.1.5 ALCNTA	100	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	65,36	6,97			10;B
S7.1.6 ALB1TA	95	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	68,79	6,29			10;B
S7.1.7 ALB2TA	90	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	72,6	5,65			10;B
S7.1.8 ALB3TA	80	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	81,64	4,46			10;B
S7.1.9 ALEXC1	135	4x2.5+TTx2.5Cu	30.38	35	80,63	12,71			10;B
S7.1.10 ALEXC2	165	4x2.5+TTx2.5Cu	30.38	35	66,02	18,97			10;B
S7.1.11 ALEVC1	110	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	59,43	8,42			10;B
S7.1.12 ALEVC2	130	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	50,31	11,76			10;B
S7.1.13 ALATC1	90	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	72,6	5,65			10;B
S7.1.14 ALATC2	80	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	81,64	4,46			10;B
S7.1.15 ALATC3	80	4x1.5+TTx1.5Cu	30.38	35	81,64	4,46			10;B
S7.2 Fza Nave	0,3	4x25Cu	31.08	35	13.688,4	0,04			100
S7.2.1 CAPRL1	300	3x10+TTx10Cu	30.38	35	144,72	63,15			25;B
S7.2.2 CAPRL2	200	3x6+TTx6Cu	30.38	35	130,33	28,03			25;B
S7.2.3 CAPRL3	300	3x10+TTx10Cu	30.38	35	144,72	63,15			25;B
S7.3 Tomas C. Nave	0,3	4x95Cu	31.08	35	13.921,17	0,62			400
S7.3.1 TCCNTS	85	4x10+TTx10Cu	30.9	35	502,86	5,23			32;C
S7.3.2 TCB1TS	80	4x10+TTx10Cu	30.9	35	533,54	4,65			32;C
S7.3.3 TCB2TS	75	4x10+TTx10Cu	30.9	35	568,21	4,1			32;C
S7.3.4 TCB3TS	70	4x10+TTx10Cu	30.9	35	607,69	3,58			32;C
S7.3.5 TCCNTA	90	4x10+TTx10Cu	30.9	35	475,51	5,85			32;C
S7.3.6 TCB1TA	85	4x6+TTx6Cu	30.9	35	304,41	5,14			25;C
S7.3.7 TCB2TA	80	4x10+TTx10Cu	30.9	35	533,54	4,65			32;C
S7.3.8 TCB3TA	75	4x10+TTx10Cu	30.9	35	568,21	4,1			32;C
S7.4 Clima. Nave	0,3	4x25Cu	31.08	35	13.688,4	0,04			125
S7.4.1 CLMP	20	3x4+TTx4Cu	30.38	35	840,12	0,3			20;C
S7.4.2 CLNZ1	30	3x10+TTx10Cu	30.38	35	1363,29	0,71			32;C
S7.4.3 CLNZ2	50	3x10+TTx10Cu	30.38	35	840,12	1,87			32;C
S7.4.4 CLNZ3	70	3x10+TTx10Cu	30.38	35	606,95	3,59			32;C
S7.4.5 CLPT	90	3x6+TTx6Cu	30.38	35	287,54	5,76			25;C

Tabla 58: Cortocircuito S7 Servic Aux Nave. (Fuente: Calculado con dmELECT [17]). (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S8 Servic Aux Centr

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S8.1 Centro Trans.	5.860	15	4x25+TTx16Cu	9,95	113	0,04	0,43	75x60
S8.2 Centro P.Calor	13.432	15	4x25+TTx16Cu	24,23	113	0,09	0,48	75x60
S8.3 Central Compr.	35.108	15	4x25+TTx16Cu	63,34	113	0,25	0,64	75x60
S8.4 Centr. Bomb.	10.958	20	4x25+TTx16Cu	19,77	113	0,1	0,49	75x60
S8.5 Taller Mant.	9.324	20	4x25+TTx16Cu	16,82	113	0,09	0,47	75x60

Tabla 59: Cableado S8 Servic Aux Centr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S8.1 Centro Trans.	15	4x25+TTx16Cu	22,12	25	4408,79	0,43			16;C
S8.2 Centro P.Calor	15	4x25+TTx16Cu	22,12	25	4408,79	0,43			25;C
S8.3 Central Compr.	15	4x25+TTx16Cu	22,12	25	4408,79	0,43			80;C
S8.4 Centr. Bomb.	20	4x25+TTx16Cu	22,12	25	3685,57	0,61			20;C
S8.5 Taller Mant.	20	4x25+TTx16Cu	22,12	25	3685,57	0,61			32;C

Tabla 60: Cortocircuito S8 Servic Aux Centr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Subcuadro S8.1 Centro Trans.

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S8.1.1 AL CT	720	10	4x2.5+TTx2.5Cu	1,04	18	0,03	0,46	20
S8.1.2 FZA CT	6.000	10	4x2.5+TTx2.5Cu	9,62	18	0,29	0,71	20
8.1.3 VEN CT	2.500	10	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,12	0,54	20
S8.1.4 BES CT	2.000	10	4x2.5+TTx2.5Cu	3,61	18	0,09	0,52	20

Tabla 61: Cableado S8.1 Centro Trans. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S8.1.1 AL CT	10	4x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			10;C
S8.1.2 FZA CT	10	4x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C
8.1.3 VEN CT	10	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C
S8.1.4 BES CT	10	4x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C

Tabla 62: Cortocircuito S8.1 Centro Trans. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S8.2 Centro P.Calor

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S8.2.1 B1AAC	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	0,66	20
S8.2.2 B2AAC	3.750	10	3x2.5+TTx2.5Cu	6,77	18	0,18	0,66	20
S8.2.3 PFMC1	5.000	15	3x2.5+TTx2.5Cu	8,02	18	0,36	0,84	20
S8.2.4 PFMC2	5.000	15	3x2.5+TTx2.5Cu	8,02	18	0,36	0,84	20
S8.2.5 ALPCPC	720	20	4x1.5+TTx1.5Cu	1,04	13,5	0,11	0,59	20
S8.2.6 FZACPC	6.000	15	4x2.5+TTx2.5Cu	9,62	18	0,43	0,91	20

Tabla 63: Cableado S8.2 Centro P.Calor. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S8.2.1 B1AAC	10	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C
S8.2.2 B2AAC	10	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C
S8.2.3 PFMC1	15	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	627,59	0,21			16;C
S8.2.4 PFMC2	15	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	627,59	0,21			16;C
S8.2.5 ALPCPC	20	4x1.5+TTx1.5Cu	9,79	10	305,72	0,32			10;C
S8.2.6 FZACPC	15	4x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	627,59	0,21			16;C

Tabla 64: Cortocircuito S8.2 Centro P.Calor. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S8.3 Central Compr.

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
S8.3.1 B1ARC	2.500	10	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,12	0,76	20
S8.3.2 B2ARC	2.500	10	3x2.5+TTx2.5Cu	4,51	18	0,12	0,76	20
S8.3.3 PFMC1	25.000	15	3x10+TTx10Cu	45,11 26,04	43	0,45	1,09	32
S8.3.4 PFMC2	25.000	15	3x10+TTx10Cu	45,11 26,04	43	0,45	1,09	32
S8.3.5 ALCEC	180	20	4x1.5+TTx1.5Cu	0,26	13,5	0,03	0,67	20
S8.3.6 FZCEC	6.000	15	4x2.5+TTx2.5Cu	9,62	18	0,43	1,07	20

Tabla 65: Cableado 8.3 Central Compr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S8.3.1 B1ARC	10	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C
S8.3.2 B2ARC	10	3x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	880,17	0,11			16;C
S8.3.3 PFMC1	15	3x10+TTx10Cu	9,79	10	1.768,19	0,42			50;C
S8.3.4 PFMC2	15	3x10+TTx10Cu	9,79	10	1.768,19	0,42			50;C
S8.3.5 ALCEC	20	4x1.5+TTx1.5Cu	9,79	10	305,72	0,32			10;C
S8.3.6 FZCEC	15	4x2.5+TTx2.5Cu	9,79	10	627,59	0,21			16;C

Tabla 66: Cortocircuito 8.3 Central Compr. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S8.4 Centr. Bomb.

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo, Canal, Band.
S8.4.1 B1AAP	6.250	10	3x2.5+TTx2.5Cu	11,28	18	0,3	0,79	20
S8.4.2 B2AAP	6.250	10	3x2.5+TTx2.5Cu	11,28	18	0,3	0,79	20
S8.4.3 ALCBA	180	20	4x1.5+TTx1.5Cu	0,26	13,5	0,03	0,52	20
S8.4.4 FZCBA	6.000	15	4x2.5+TTx2.5Cu	10,83	18	0,43	0,92	20

Tabla 67: Cableado S8.4 Centr. Bomb. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S8.4.1 B1AAP	10	3x2.5+TTx2.5Cu	8,18	10	846,13	0,12			16;C
S8.4.2 B2AAP	10	3x2.5+TTx2.5Cu	8,18	10	846,13	0,12			16;C
S8.4.3 ALCBA	20	4x1.5+TTx1.5Cu	8,18	10	301,5	0,33			10;C
S8.4.4 FZCBA	15	4x2.5+TTx2.5Cu	8,18	10	610,08	0,22			16;C

Tabla 68: Cortocircuito S8.4 Centr. Bomb. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Subcuadro S8.5 Taller Mant.

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc. (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Adm (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo, Canal, Band.
S8.5.1 ALTMA	540	10	4x2.5+TTx2.5Cu	0,78	18	0,03	0,5	20
S8.5.2 FZMA	15.000	10	4x10+TTx10Cu	27,06	43	0,18	0,65	32

Tabla 69: Cableado S8.5 Taller Mant. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	IpccI (kA)	P de C (kA)	IpccF (A)	tmcicc (sg)	tficc (sg)	Lmáx (m)	Curva válida
S8.5.1 ALTMA	10	4x2.5+TTx2.5Cu	8,18	10	846,3	0,12			10;C
S8.5.2 FZMA	10	4x10+TTx10Cu	8,18	10	2.010,82	0,33			32;C

Tabla 70: Cortocircuito S8.5 Taller Mant. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

3.2. Centro de transformación

3.2.1. Fórmulas y resultados

Intensidad en alta tensión

En un transformador trifásico la intensidad del circuito primario I_p viene dada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{1,732 \cdot U_p}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

U_p = Tensión compuesta primaria en kV.

I_p = Intensidad primaria en A.

Sustituyendo valores:

Transformador	Potencia (kVA)	U_p (kV)	I_p (A)
trafo 1	1.250	13,2	54,67

Tabla 71: Intensidad AT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Intensidad en baja tensión

En un transformador trifásico la intensidad del circuito secundario I_s viene dada por la expresión:

$$I_s = \frac{S \cdot 1000}{1,732 \cdot U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

U_s = Tensión compuesta primaria en kV.

I_s = Intensidad primaria en A.

Sustituyendo valores:

Transformador	Potencia (kVA)	U_s (V)	I_s (A)
trafo 1	1.250	400	1.804,27

Tabla 72: Intensidad BT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuitos

Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad primaria de cortocircuito se tendrá en cuenta una potencia de cortocircuito de 350 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por la Cía suministradora.

Cálculo de corrientes de cortocircuito.

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las siguientes expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de Alta Tensión:

$$I_{ccp} = \frac{S_{cc}}{1,732 \cdot U_p}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U_p = Tensión compuesta primaria en kV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en kA.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de Baja Tensión (despreciando la impedancia de la red de Alta Tensión):

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot S}{1,732 \cdot U_{cc}(\%) \cdot U_s}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

$U_{cc} (\%)$ = Tensión de cortocircuito en % del transformador.

U_s = Tensión compuesta en carga en el secundario en V.

I_{ccs} = Intensidad de cortocircuito secundaria en kA.

Cortocircuito en el lado de alta tensión

S _{cc} (MVA)	U _p (kV)	I _{ccp} (kA)
350	13,2	15,31

Tabla 73: Cortocircuito AT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Cortocircuito en el lado de Baja Tensión

Transformador	Potencia (kVA)	U _{cc} (%)	I _{ccs} (A)
trafo 1	1.250	400	36,09

Tabla 74: Cortocircuito BT CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Dimensionado del embarrado.

Las características del embarrado son:

- Intensidad asignada: 400 A.
- Límite térmico, 1 s.: 16 kA eficaces.
- Límite electrodinámico: 40 kA cresta.

Por lo tanto dicho embarrado debe soportar la intensidad nominal sin superar la temperatura de régimen permanente (comprobación por densidad de corriente), así como los esfuerzos electrodinámicos y térmicos que se produzcan durante un cortocircuito.

Comprobación por densidad de corriente

La comprobación por densidad de corriente tiene por objeto verificar que el conductor que constituye el embarrado es capaz de conducir la corriente nominal máxima sin sobrepasar la densidad de corriente máxima en régimen permanente. Dado que se utilizan celdas bajo envolvente metálica fabricadas por Orma-SF6 conforme a la normativa vigente, se garantiza lo indicado para la intensidad asignada de 400 A.

Comprobación por sollicitación electrodinámica.

La resistencia mecánica de los conductores deberá verificar, en caso de cortocircuito que:

$$\sigma_{max} \geq \frac{I_{PCC}^2 \cdot L^2}{60d \cdot W_Y \cdot n}$$

Siendo:

σ_{max} = Valor de la carga de rotura de tracción del material de los conductores. Para cobre semiduro 2800 Kg / cm².

I_{ccp} = Intensidad permanente de cortocircuito trifásico, en kA.

L = Separación longitudinal entre apoyos, en cm.

d = Separación entre fases, en cm.

W = Módulo resistente de los conductores, en cm³.

Dado que se utilizan celdas bajo envolvente metálica fabricadas por Orma-SF6 conforme a la normativa vigente se garantiza el cumplimiento de la expresión anterior.

Comprobación por sollicitación térmica a cortocircuito.

La sobreintensidad máxima admisible en cortocircuito para el embarrado se determina:

$$I_{th} = \alpha \cdot S \cdot \sqrt{\frac{\Delta T}{t}}$$

Siendo:

I_{th} = Intensidad eficaz, en A.

α = 13 para el Cu.

S = Sección del embarrado, en mm².

ΔT = Elevación o incremento máximo de temperatura, 150°C para Cu.

t = Tiempo de duración del cortocircuito, en s.

Puesto que se utilizan celdas bajo envolvente metálica fabricadas por Orma-SF6 conforme a la normativa vigente, se garantiza que:

$$I_{th} \geq 16kA \text{ durante } 1 \text{ s.}$$

Selección de las protecciones de alta y baja tensión

Los transformadores están protegidos tanto en AT como en BT. En Alta tensión la protección la efectúan las celdas asociadas a esos transformadores, y en baja tensión la protección se incorpora en los cuadros de BT.

Protección trafo 1.

La protección del transformador en AT de este CT se realiza utilizando una celda de interruptor automático dotado de relé electrónico con captadores toroidales de intensidad por fase, cuya señal alimentará a un disparador electromecánico liberando el dispositivo de retención del interruptor y así efectuar la protección a sobrecargas, cortocircuito.

Protección en Baja Tensión.

En el circuito de baja tensión de cada transformador según RU6302 se instalará un Cuadro de Distribución de 4 salidas con posibilidad de extensionamiento. Se instalarán fusibles en todas las salidas, con una intensidad nominal igual al valor de la intensidad exigida a esa salida, y un poder de corte mayor o igual a la corriente de cortocircuito en el lado de baja tensión, calculada en el apartado 3.4.

La descarga del trafo al cuadro de Baja Tensión se realizará con conductores XLPE 0,6/1kV 240 mm² Al unipolares instalados al aire cuya intensidad admisible a 40°C de temperatura ambiente es de 390 A.

Para el trafo 1, cuya potencia es de 1250 kVA y cuya intensidad en Baja Tensión se ha calculado en el apartado 2, se emplearán 5 conductores por fase y 3 para el neutro.

Dimensionado de la ventilación del centro de transformación.

Para el cálculo de la superficie mínima de las rejillas de entrada de aire en el edificio del centro de transformación, se utiliza la siguiente expresión:

$$S_r = \frac{W_{ce} + W_{fe}}{0.24 \cdot k \cdot \sqrt{h} \cdot \Delta T^3}$$

Siendo:

W_{cu} = Pérdidas en el cobre del transformador, en kW.

W_{fe} = Pérdidas en el hierro del transformador, en kW.

k = Coeficiente en función de la forma de las rejillas de entrada de aire, 0,5.

h = Distancia vertical entre centros de las rejillas de entrada y salida, 1.03 m.

ΔT = Diferencia de temperatura entre el aire de salida y el de entrada, 15°C.

S_r = Superficie mínima de la rejilla de entrada de ventilación del transformador, en m².

Sustituyendo valores para cada transformador tendremos:

Transformador	Potencia (kVA)	Perdidas W _{cu} +W _{fe} (kW)	Sr 2 (m)
trafo 1	1.250	18,75	2,65

Tabla 75: Ventilación CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Dimensionado del pozo apaqafuegos.

No es necesario dimensionar pozo apaqafuegos por tratarse de transformadores con aislamiento seco.

Cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Transformación, se determina una resistividad media superficial de 300 Ω × m.

Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente a la eliminación del defecto.

En instalaciones de Alta Tensión de tercera categoría los parámetros de la red que intervienen en los cálculos de faltas a tierras son:

Tipo de neutro.

El neutro de la red puede estar aislado, rígidamente unido a tierra, o a través de impedancia (resistencia o reactancia), lo cual producirá una limitación de las corrientes de falta a tierra.

Tipo de protecciones en el origen de la línea.

Cuando se produce un defecto, éste es eliminado mediante la apertura de un elemento de corte que actúa por indicación de un relé de intensidad, el cual puede actuar en un tiempo fijo (relé a tiempo independiente), o según una curva de tipo inverso (relé a tiempo dependiente).

Asimismo pueden existir reenganches posteriores al primer disparo que sólo influirán en los cálculos si se producen en un tiempo inferior a 0,5 s.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía suministradora, se tiene:

- Intensidad máxima de defecto a tierra, $I_{dm\acute{a}x}$ (A): 300.
- Duración de la falta.

Desconexión inicial:

Relé a tiempo independiente. Iarranque (A): 50 ; t_d (s): 0.7.

Diseño de la instalación de tierra.

Para los cálculos a realizar se emplearán los procedimientos del " Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría ", editado por UNESA

TIERRA DE PROTECCIÓN.

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero pueden estarlo por defectos de aislamiento, averías o causas fortuitas, tales como chasis y bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

TIERRA DE SERVICIO.

Se conectarán a este sistema el neutro del transformador y la tierra de los secundarios de los transformadores de tensión e intensidad de la celda de medida.

Para la puesta a tierra de servicio se utilizarán picas en hilera de diámetro 14 mm. y longitud 2 m., unidas mediante conductor desnudo de Cu de 50 mm² de sección. El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 Ω .

La conexión desde el centro hasta la primera pica del electrodo se realizará con cable de Cu de 50 mm², aislado de 0,6/1 kV bajo tubo plástico con grado de protección al impacto mecánico de 7 como mínimo.

Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.

Las características de la red de alimentación son:

- Tensión de servicio, $U = 13.200$ V.
- Puesta a tierra del neutro:
A través de impedancia: R_n (Ω): 0; X_n (Ω): 25,4.

- Nivel de aislamiento de las instalaciones de Baja Tensión, $U_{bt} = 6.000 \text{ V}$.
- Características del terreno:
 - ρ terreno ($\Omega \text{ xm}$): 300.
 - ρ_H hormigón ($\Omega \text{ xm}$): 3.000.

TIERRA DE PROTECCIÓN.

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas (R_t), la intensidad y tensión de defecto (I_d , U_E), se utilizarán las siguientes fórmulas:

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, R_t :

$$R_t = K_r \cdot \rho(\Omega)$$

- Intensidad de defecto, I_d :

$$I_d = \frac{U}{1,732 \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

Aumento del potencial de tierra, U_E :

$$U_E = R_t \cdot I_d$$

El electrodo adecuado para este caso tiene las siguientes características:

- Configuración seleccionada: 80-40/5/42.
- Geometría: Anillo.
- Dimensiones (m): 8x4.
- Profundidad de enterramiento (m): 0.5.
- Número de picas: 4.
- Longitud de las picas (m): 2.

Los parámetros característicos del electrodo son:

- De resistencia, $K_r (\Omega / \Omega \times m) = 0,072$.
- De tensión de paso, $K_p (V/((\Omega \times m)A)) = 0,0154$.
- De tensión de contacto exterior, $K_c (V/((\Omega \times M)A)) = 0,0338$.

Sustituyendo valores en las expresiones anteriores, se tiene:

$$R_t = K_r \cdot \rho = 0,072 \cdot 300 = 21,6\Omega$$

$$I_d = \frac{U}{1,732 \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} = 228,57A$$

$$U_E = R_t \cdot I_d = 4937,22V$$

TIERRA DE SERVICIO.

El electrodo adecuado para este caso tiene las siguientes características:

- Configuración seleccionada: 5/42.
- Geometría: Picas en hilera.
- Profundidad de enterramiento (m): 0,5.
- Número de picas: 4.
- Longitud de las picas (m): 2.
- Separación entre picas (m): 3.

Los parámetros característicos del electrodo son:

- De resistencia, $K_r (\Omega / \Omega \times m) = 0,104$.

Sustituyendo valores:

$$Rt_{NEUTRO} = K_r \cdot \rho = 0,104 \cdot 300 = 31,2\Omega$$

Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que estas serán prácticamente nulas. Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá dada por las características del electrodo y la resistividad del terreno según la expresión:

$$U'_p = K_p \cdot \rho \cdot I_d = 0,0154 \cdot 300 \cdot 228.57 = 1056,02V$$

Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

En el piso del Centro de Transformación se instalará un mallazo electrosoldado, con redondos de diámetro no inferior a 4 mm. formando una retícula no superior a 0,30x0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos opuestos de la puesta a tierra de protección del Centro.

Dicho mallazo estará cubierto por una capa de hormigón de 10 cm. como mínimo.

Con esta medida se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, estará sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo de la tensión de contacto y de paso interior.

De esta forma no será necesario el cálculo de las tensiones de contacto y de paso en el interior, ya que su valor será prácticamente cero.

Asimismo la existencia de una superficie equipotencial conectada al electrodo de tierra, hace que la tensión de paso en el acceso sea equivalente al valor de la tensión de contacto exterior.

$$U_p'(acc) = K_c \cdot \rho \cdot I_d = 0,0338 \cdot 300 \cdot 228,57 = 2317,75V$$

Cálculo de las tensiones aplicadas.

Para la obtención de los valores máximos admisibles de la tensión de paso exterior y en el acceso, se utilizan las siguientes expresiones:

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho_H \cdot C_s}{1000} \right) V$$

$$U_p(acc) = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho_s \cdot C_s + 3 \cdot \rho_H}{1000} \right) V$$

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot [(1 - \rho/\rho_s)/(2 \cdot h_s + 0,106)]$$

$$t = t' + t'' \quad s$$

Siendo:

U_p = Tensión de paso admisible en el exterior, en voltios.

$U_p(acc)$ = Tensión en el acceso admisible, en voltios.

U_{ca} = Tensión de contacto aplicada admisible según ITC-RAT 13 (Tabla 1), en voltios.

R_{ac} = Resistencias adicionales, como calzado, aislamiento de la torre, etc, en Ω .

C_s = Coeficiente reductor de la resistencia superficial del suelo.

h_s = Espesor de la capa superficial del terreno, en m.

ρ = Resistividad natural del terreno, en $\Omega \times m$.

ρ_s = Resistividad superficial del suelo, en $\Omega \times m$.

ρ_H = Resistividad del hormigón, $3.000 \Omega \times m$.

t = Tiempo de duración de la falta, en segundos.

t' = Tiempo de desconexión inicial, en segundos.

t'' = Tiempo de la segunda desconexión, en segundos.

Según el punto 8.2. el tiempo de duración de la falta es:

$$t' = 0,7 \text{ s.} \quad t = t' = 0,7 \text{ s.}$$

Sustituyendo valores:

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho_H \cdot C_s}{1000} \right) = 11233,6 \text{ V}$$

$$U_p(acc) = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho_s \cdot C_s + 3 \cdot \rho_H}{1000} \right) = 24614,8 \text{ V}$$

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot [(1 - \rho/\rho_s)/(2 \cdot h_s + 0,106)] = 2$$

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso.

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$U'_p = 1.056,02 \text{ V.}$	\leq	$U_p = 11.233,6 \text{ V.}$
Tensión de paso en el acceso	$U'_p (\text{acc}) = 2.317,75 \text{ V.}$	\leq	$U_p (\text{acc}) = 24.614,8 \text{ V}$

Tabla 76: Tensión y corriente de paso CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Tensión e intensidad de defecto.

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Aumento del potencial de tierra	$U=4.937,2\text{V}$	\leq	$U_{bt} = 6.000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I_d = 228,57 \text{ A}$	$>$	$I_a = 50 \text{ A}$

Tabla 77: Tensión y corriente de defecto CT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Investigación de las tensiones transferibles al exterior.

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

No obstante, para garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima (D_{n-p}), entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio.

$$D_{n-p} \geq (\rho \cdot I_d) / (2000 \cdot \pi) = (300 \cdot 228,57) / (2000 \cdot \pi) = 10,91\text{m}$$

Siendo:

ρ = Resistividad del terreno en $\Omega \times m$

I_d = Intensidad de defecto en A.

La conexión desde el centro hasta la primera pica del electrodo de servicio se realizará con cable de Cu de 50 mm², aislado de 0,6/1 kV bajo tubo plástico con grado de protección al impacto mecánico de 7 como mínimo.

Corrección del diseño inicial.

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado según se pone de manifiesto en las tablas 76 y 77.

3.3. Línea de media tensión

3.3.1. Fórmulas

$$I = \frac{1000 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U}$$
$$e = \sqrt{3} \cdot I \left[L \cdot \frac{\cos \phi}{k} \cdot s \cdot n + (X_u \cdot L \cdot \frac{\sin \phi}{1000} \cdot n) \right]$$

Siendo:

I = Intensidad (A)

e = Caída de tensión (V)

S = Potencia (kVA)

U = Tensión de servicio (V)

S = Sección del conductor (mm²)

L = Longitud cálculo (m)

K = Conductividad a 20°C

$\cos \phi$ = Factor de potencia

X_u = Reactancia por unidad de longitud (mΩ/Ω)

n = N° de conductores por fase

3.3.2. Resultados

Características de la red:

- Tensión: 13,2kV
- Factor de potencia: 0,95
- C.d.t max: 5%

Temperatura cálculo conductividad eléctrica (°C):

- Conductores aislados: 20
- Conductores desnudos: 50

Se ha optado por un conductor RHZ1 12/20 H16

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Long. (m)	Metal/Xu (mW/m)	Canal.	Designación	Polar.	I. Cálculo (A)	Sección (mm ²)	D.tubo (mm)	I. Admisi. (A)/Fci
1	1	2	500	Al/0,15	En.B.Tu.	RHZ1 12/20 H16	Unip.	71,08	3x95	150	190/1

Tabla 78: Conductor línea MT. (Fuente: Calculado con dmELECT [17])

Resultados obtenidos para las distintas ramas y nudos:

Nudo	C.d.t. (V)	Tensión Nudo (V)	C.d.t. (%)	Carga Nudo
1	0	13.200	0	71,077 A(1.625 kVA)
2	-20,47	13.179,53	0,155*	-71,077 A(-1.625 KVA)

Pérdidas de potencia activa en kW:

Linea	Nudo Orig.	Nudo Dest.	Pérdida Potencia Activa Rama. $3RI^2$ (kW)	Pérdida Potencia Activa Total Itinerario. $3RI^2$ (kW)
1	1	2	2,279	2,279

Caída de tensión total en los distintos itinerarios:

$$1-2 = 0,16 \%$$



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

ÍNDICE

4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO	109
4.1. INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN	109
4.2. CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	114
4.3. LÍNEA DE MEDIA TENSIÓN	115
4.4. REDACCIÓN DEL PROYECTO.....	115
4.5. RESUMEN	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 79: Presupuesto cables IEBT. (Fuente: Elaboración propia)	109
Tabla 80: Presupuesto tubos IEBT (Fuente: Elaboración propia).....	110
Tabla 81: Presupuesto bandejas IEBT (Fuente: Elaboración propia).....	110
Tabla 82: Presupuesto magnetotérmicos e interruptores automáticos IEBT (Fuente: Elaboración propia).....	111
Tabla 83: Presupuesto diferenciales IEBT (Fuente: Elaboración propia).....	112
Tabla 84: Presupuesto relés IEBT (Fuente: Elaboración propia)	113
Tabla 85: Presupuesto elementos control-maniobra IEBT (Fuente: Elaboración propia)	113
Tabla 86: Presupuesto batería de condensadores (Fuente: Elaboración propia)	113
Tabla 87: Presupuesto celdas AT CT (Fuente: Elaboración propia).....	114
Tabla 88: Presupuesto interconexión celdas AT CT (Fuente: Elaboración propia)	114
Tabla 89: Presupuesto equipos BT CT (Fuente: Elaboración propia)	114
Tabla 90: Presupuesto red de tierras CT (Fuente: Elaboración propia)	114
Tabla 91: Presupuesto varios CT (Fuente: Elaboración propia)	114
Tabla 92: Presupuesto cables línea MT (Fuente: Elaboración propia)	115
Tabla 93: Presupuesto tubo línea MT (Fuente: Elaboración propia).....	115
Tabla 94: Presupuesto elaboración del proyecto (Fuente: Elaboración propia)	115
Tabla 95: Resumen presupuesto (Fuente: Elaboración propia).....	116

4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

4.1. Instalación de baja tensión

MEDICIÓN CABLES						
Sección (mm ²)	Metal	Design	Polaridad	Total (m)	Pu (€)	Ptotal (€)
1,5	Cu	H07Z1-K	Unipolar	6.280	0,41	2.574,8
1,5	Cu	TT	Unipolar	1.570	0,41	643,7
2,5	Cu	H07V-K	Unipolar	300	0,66	198
2,5	Cu	H07Z1-K	Unipolar	7.496	0,68	5.097,28
2,5	Cu	TT	Unipolar	2.395	0,68	1.628,6
4	Cu	H07V-K	Unipolar	255	1,06	270,3
4	Cu	H07Z1-K	Unipolar	1.155	1,09	1.258,95
4	Cu	TT	Unipolar	440	1,09	479,6
6	Cu	H07Z1-K	Unipolar	270	1,55	418,5
6	Cu	H07Z1-K	Unipolar	1.225	1,58	1.935,5
6	Cu	TT	Unipolar	470	1,58	742,6
10	Cu	H07Z1-K	Unipolar	630	2,8	1.764
10	Cu	H07Z1-K	Unipolar	4.880	2,8	13.664
10	Cu	TT	Unipolar	1.650	2,8	4.620
16	Cu	H07Z1-K	Unipolar	280	4,25	1.190
16	Cu	TT	Unipolar	985	4,25	4.186,25
25	Cu	H07Z1-K	Unipolar	630	5,19	3.269,7
25	Cu	H07Z1-K	Unipolar	2.559,4	6,65	17.020,01
25	Cu	TT	Unipolar	15	6,65	99,75
50	Cu	H07Z1-K	Unipolar	60	13,58	814,8
50	Cu	TT	Unipolar	45	13,58	611,1
70	Cu	TT	Unipolar	65	19,24	1.250,6
95	Cu	H07Z1-K	Unipolar	136,2	25,1	3.418,62
95	Cu	XZ1 Eca	Unipolar	15	25,1	376,5
120	Cu	H07Z1-K	Unipolar	210	32,53	6.831,3
120	Cu	TT	Unipolar	16	32,53	520,48
185	Cu	XZ1 Eca	Unipolar	45	3,75	168,75
240	Cu	H07Z1-K	Unipolar	48	42,52	2.040,96
Total						77.094,65

Tabla 79: Presupuesto cables IEBT. (Fuente: Elaboración propia)

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

MEDICIÓN DE TUBOS			
Diámetro (mm)	Total metros	Pu (€)	Ptotal (€)
20	4.240	0,68	2.883,2
25	650	0,75	487,5
32	1.755	0,82	1.439,1
40	10	1,05	10,5
Total			4.820,3

Tabla 80: Presupuesto tubos IEBT (Fuente: Elaboración propia)

MEDICIÓN DE BANDEJAS				
Diámetro (mm)	Tipo	Total metros	Pu (€)	Ptotal (€)
75x60	Perforada	981,4	11,04	10.834,65
200x60	Perforada	8	19,08	152,64
Total				10.987,29

Tabla 81: Presupuesto bandejas IEBT (Fuente: Elaboración propia)

MEDICIÓN DE MAGNETOTÉRMICOS E INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS					
Descripción	Intens (A)	P.Corte (kA)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Interr.c.c	10		1	25,33	25,33
Mag/Tetr.	10	4,5	5	94,75	473,75
Mag/Tetr.	10	10	11	108,9	1.197,9
Mag/Tetr.	10	15	3	284,58	853,74
Mag/Tetr.	10	35	15	351,33	5.269,95
Interr.c.c	16		1	32,67	32,67
Mag/Trip.	16	4,5	6	104,52	627,12
Mag/Tetr.	16	4,5	1	139,32	139,32
Mag/Trip.	16	6	40	104,52	4180,8
Mag/Tetr.	16	6	1	139,32	139,32
Mag/Bip.	16	10	1	73,22	73,22
Mag/Trip.	16	10	13	104,52	1.358,76
Mag/Tetr.	16	10	7	139,32	975,24
Mag/Trip.	16	15	1	104,52	104,52
Mag/Tetr.	16	15	3	139,32	417,96
Mag/Tetr.	16	25	1	139,32	139,32
Interr.c.c	20		1	36,8	36,8
Mag/Trip.	20	4,5	1	107,38	107,38
Mag/Tetr.	20	4,5	2	143,5	287
Mag/Trip.	20	10	2	107,38	214,76
Mag/Tetr.	20	10	4	143,5	574
Mag/Tetr.	20	25	1	285,69	285,69
Mag/Trip.	20	35	1	162,39	162,39
Interr.c.c	25		1	40,99	40,99
Mag/Trip.	25	4,5	2	109,67	219,34
Mag/Tetr.	25	25	1	437,24	437,24
Mag/Trip.	25	35	4	364,12	1.456,48
Mag/Tetr.	25	35	1	437,24	437,24

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Descripción	Intens (A)	P.Corte (kA)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Interr.c.c	32		3	61,33	183,99
Mag/Tetr.	32	10	1	194,82	194,82
Mag/Tetr.	32	25	1	254,26	254,26
Mag/Trip.	32	35	3	254,26	762,78
Mag/Tetr.	32	35	7	254,26	1.779,82
Mag/Tetr.	32	50	2	254,26	508,52
Interr.c.c	40		1	87,91	87,91
Mag/Tetr.	40	4,5	1	174,26	174,26
Mag/Bip.	40	6	1	93,52	93,52
Mag/Bip.	40	10	1	93,52	93,52
I.Aut/Trip.	40	10	1	280,13	280,13
Mag/Tetr.	40	35	1	177,79	177,79
Mag/Tetr.	40	50	1	177,79	177,79
Interr.c.c	50		7	90,13	630,91
Mag/Tetr.	50	4,5	1	380,01	380,01
I.Aut/Trip.	50	4,5	1	317,72	317,72
I.Aut/Trip.	50	10	2	317,72	635,44
Mag/Trip.	50	20	4	380,01	1.520,04
Mag/Tetr.	50	20	2	380,01	760,02
Mag/Tetr.	50	50	1	380,01	380,01
Interr.c.c	63		1	94,87	94,87
Mag/Trip.	63	20	1	403,13	403,13
Interr.c.c	80		3	105,25	315,75
I.Aut/Trip.	80	4,5	1	582,81	582,81
I.Aut/Trip.	80	10	2	582,81	1.165,62
I.Aut/Tetr.	80	10	1	582,81	582,81
I.Aut/Tetr.	80	20	1	797,47	797,47
I.Aut/Tetr.	80	25	1	797,47	797,47
Interr.c.c	100		2	128,91	257,82
I.Aut/Trip.	100	20	1	645,81	645,81
I.Aut/Tetr.	100	35	1	809,52	809,52
I.Aut/Tetr.	100	50	2	809,52	1.619,04
Interr.c.c	125		1	174,34	174,34
I.Aut/Trip.	125	20	1	908,25	908,25
I.Aut/Tetr.	125	35	1	952,25	952,25
Interr.c.c	160		1	221,26	221,26
I.Aut/Tetr.	160	50	1	1199,3	1.199,30
Interr.c.c	320		3	331,06	993,18
I.Aut/Tetr.	400	35	1	5.578,62	5.578,62
I.Aut/Trip.	400	50	2	4.602,61	9.205,22
I.Aut/Tetr.	400	50	1	5.578,62	5.578,62
I.Aut/Trip.	1.000	50	1	17.028,21	17.028,21
I.Aut/Tetr.	2.000	35	1	23.101,02	23.101,02
Total					57.615,30

Tabla 82: Presupuesto magnetotérmicos e interruptores automáticos IEBT (Fuente: Elaboración propia)

MEDICIÓN DE DIFERENCIALES						
Descripción	Clase	Intens (A)	Sensibilidad (mA)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Diferen./Tetr.	AC	25	30	60	328,68	19.720,8
Diferen./Bipo.	AC	25	300	1	184,49	184,49
Diferen./Tetr.	AC	25	300	63	280,32	17.660,16
Diferen./Tetr.	AC	25	500	1	284,76	284,76
Diferen./Tetr.	AC	25	1.000	1	290,63	290,63
Diferen./Tetr.	AC	40	30	9	341,69	3.075,21
Diferen./Tetr.	AC	40	100	2	330,21	660,42
Diferen./Bipo.	AC	40	300	2	190,05	577,92
Diferen./Tetr.	AC	40	300	3	288,96	570,15
Relé y Transf.	AC	40	300	1	509,26	288,96
Diferen./Tetr.	AC	40	500	3	284,76	854,28
Diferen./Tetr.	AC [s]	40	1.260	1	300	300
Relé y Transf.	AC	50	300	3	350	1050
Diferen./Tetr.	AC	63	30	1	741,32	741,32
Diferen./Tetr.	AC	63	100	1	426,25	426,25
Diferen./Tetr.	AC	63	1.000	1	381	381
Diferen./Tetr.	AC	63	2.100	1	381	381
Diferen./Tetr.	AC [s]	63	2.100	5	381	1905
Relé y Transf.	AC	80	300	4	382,12	1.528,48
Relé y Transf.	AC [s]	80	1.260	1	382,12	382,12
Relé y Transf.	AC [s]	80	1.560	1	382,12	382,12
Relé y Transf.	AC	100	100	1	428,02	428,02
Relé y Transf.	AC [s]	100	1.000	2	428,02	856,04
Relé y Transf.	AC [s]	100	1.500	1	428,02	428,02
Relé y Transf.	AC [s]	125	1.500	1	488,42	488,42
Relé y Transf.	AC [s]	125	1.800	1	488,42	488,42
Relé y Transf.	AC [s]	160	3.990	1	655,27	655,27
Relé y Transf.	AC	400	300	1	1.360,74	1.360,74
Relé y Transf.	AC [s]	400	2.600	1	1.360,74	1.360,74
Relé y Transf.	AC [s]	400	8.800	1	1.360,74	1.360,74
Relé y Transf.	AC [s]	400	9.660	1	1.360,74	1.360,74
Relé y Transf.	AC	1.000	300	1	4.523,45	4.523,45
Total						64.955,67

Tabla 83: Presupuesto diferenciales IEPT (Fuente: Elaboración propia)

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

MEDICIÓN DE RELÉS TÉRMICOS				
Descripción	Intens (A)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Relé térmico	16/25	3	218,4	655,2
Relé térmico	24/32	9	71,08	639,72
Relé térmico	30/40	9	101,3	911,7
Total				2.206,62

Tabla 84: Presupuesto relés IEBT (Fuente: Elaboración propia)

MEDICIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL-MANIOBRA				
Descripción	Intens (A)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Interr/Tetr.	10	1	42,2	42,2
Contac/Trip.	25	3	58,89	176,67
Contac/Trip.	32	9	66,52	598,68
Interr/Tetr.	32	1	54,58	54,58
Contac/Trip.	40	9	97,35	876,15
Interr/Trip.	50	1	87,6	87,6
Total				1.835,88

Tabla 85: Presupuesto elementos control-maniobra IEBT (Fuente: Elaboración propia)

BATERÍA DE CONDENSADORES				
Descripción	Potencia (KVAr)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Batería de condensadores automática	408.7	1	4.528,32	4.528,32
Total				4.528,32

Tabla 86: Presupuesto batería de condensadores (Fuente: Elaboración propia)

TOTAL INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN: 269.102,62 €

4.2. Centro de transformación

CELDAS A.T.				
Denominación	I. Asig. (A)	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Línea	400	1	6.325,5	6.845,1
Protección con automático	400	1		15.120,51
Medida	400	1	1.860,33	2.247,64
Total				24.213,25

Tabla 87: Presupuesto celdas AT CT (Fuente: Elaboración propia)

INTERCONEXIÓN CELDAS A.T Y TRAFOS				
Denominación	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)	
Cables A.T. aisl seco	1	187,8	187,8	
Total				187,8

Tabla 88: Presupuesto interconexión celdas AT CT (Fuente: Elaboración propia)

EQUIPOS DE B.T.				
Denominación	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)	
Cuadro B.T.	7	1.352,67	9.468,69	
Total				9.468,69

Tabla 89: Presupuesto equipos BT CT (Fuente: Elaboración propia)

RED DE TIERRAS				
Denominación	Cantidad	m.	Pu (€)	Ptotal (€)
Picas 14mm	8		109,78	878,24
Conductor desnudo Cu 50 mm ²	7,56	33	4,81	158,73
Total				1.036,97

Tabla 90: Presupuesto red de tierras CT (Fuente: Elaboración propia)

VARIOS				
Denominación	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)	
Rejillas protección	2	35,78	71,56	
Total				71,56

Tabla 91: Presupuesto varios CT (Fuente: Elaboración propia)

TOTAL CENTRO DE TRANSFORMACION: 51.866,25 €

4.3. Línea de media tensión

CABLES MT				
Denominación	Metal	m	Pu (€)	Ptotal (€)
RHZ1 12/20 H16 95mm ²	Aluminio	1.500	15.62	23.430
Total				23.430

Tabla 92: Presupuesto cables línea MT (Fuente: Elaboración propia)

TUBOS			
Denominación	m	Pu (€)	Ptotal (€)
Tubo diámetro 150mm	500	35,78	17.890
Total			17.890

Tabla 93: Presupuesto tubo línea MT (Fuente: Elaboración propia)

TOTAL LÍNEA DE MEDIA TENSION: 27.008,00 €

4.4. Redacción del proyecto

REDACCIÓN DEL PROYECTO			
Denominación	Cantidad	Pu (€)	Ptotal (€)
Ingeniero Industrial	300 horas	12	3.600
Ordenador	7 meses	20,83	145,81
Autocad	7 meses	195,16	1.366,12
dmELECT 2017	7 meses	47,89	335,23
Office	7 meses	5,75	40,25
Total			5.487,41

Tabla 94: Presupuesto elaboración del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

TOTAL REDACCIÓN DEL PROYECTO: 5.487,41€

4.5. Resumen

Resumen Presupuesto	
Red de distribución de baja tensión	269.102,62 €
Centro de transformación	51.866,25 €
Línea de media tensión	27.008,00 €
Redacción del proyecto	5.487,41€
TOTAL presupuesto	353.464,28€

Tabla 95: Resumen presupuesto (Fuente: Elaboración propia)

El presupuesto total de la instalación eléctrica descrita en el presente proyecto asciende a un total de TRESCIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL CUATROCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON VEINTIOCHO CENTIMOS.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de fin de grado se ha realizado la descripción del proceso productivo de construcción de transformadores de distribución, tanto secos como de baño en aceite, y del diseño de la instalación eléctrica necesaria, desde el punto de enganche en media tensión hasta el consumidor final en baja tensión, pasando por el centro de transformación. Para ello se han tenido en cuenta, no solo los consumos energéticos del proceso productivo sino también del acondicionamiento de los edificios.

El proceso productivo se ha detallado basándonos en documentación técnica y páginas web contrastadas. La descripción de la fabricación de los transformadores parte de una explicación general en la que se detalla la función de cada elemento.

Para el diseño de la instalación eléctrica nos hemos basado en una serie de criterios o premisas con objetivo de que la instalación, desde su inicio y hasta el final de su vida útil, permita adaptarse a la evolución, tanto tecnológica como de nuevas necesidades.

Se parte del estudio de la red de distribución de baja tensión en función de la situación de las cargas y sus prioridades y se divide en diferentes líneas con el fin de conseguir una mayor disponibilidad de la energía eléctrica y una buena gestión energética. Toda la instalación de baja tensión está debidamente protegida contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y contactos directos e indirectos. El factor de potencia de la instalación se mantendrá por encima del 0,95 mediante una batería automática de condensadores.

Se han dispuesto 3 líneas de circuitos de fuerza con canalizaciones eléctricas prefabricadas para alimentar aquellas instalaciones no previstas ni ligadas directamente a la producción como máquinas, herramientas ocasionales, etc.

Se ha diseñado y calculado un centro de transformación abonado de interior de obra con un único transformador de 1.250 kVA, que cumple con la normativa vigente.

Se ha diseñado y calculado una línea de media tensión a 13,2 kV, que parte desde una Estación de Transformación y Distribución cercana a la ubicación del emplazamiento, propiedad de la empresa distribuidora, mediante una canalización enterrada bajo tubo.

Se han realizado tres proyectos eléctricos apoyándose el siguiente software dmELECT:

- Red de distribución en baja tensión. *Módulo BT.*
- Centro de transformación. *Módulo CT.*
- Línea de media tensión. *Módulo Instalaciones Urbanización.*



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Acero al silicio [Último acceso: Septiembre 2023]
<https://www.yieh.com/es/Product/others/silicon-steel-2>
- [2] Aceite dieléctrico [Último acceso: Septiembre 2023]
<https://www.lubritec.com/aceite-dielectrico-para-que-sirve/>
- [3] Transformadores secos ABB [Último acceso: Septiembre 2023]
https://personal.us.es/pedroj/ASInfo_Comun/Trafo_Seco.pdf
- [4] Fundamentos teóricos de transformadores [Último acceso: Septiembre 2023] <https://es.scribd.com/document/383705326/279341852-ABB-Curso-de-Transformadores#>
- [5] Fundamento y construcción de los transformadores eléctricos [Último acceso: Septiembre 2023]
http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/transformadores_1.php
- [6] Ingeniería de Máquinas y Sistemas Eléctricos IMSE [Último acceso: Septiembre 2023]
<http://imseingenieria.blogspot.com/>
- [7] Ensayos de transformadores [Último acceso: Septiembre 2023]
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448141784.pdf>
- [8] Máquinas para fabricar transformadores [Último acceso: Octubre 2023]
<http://www.rollformingmachine.es/8-transformer-making.html>
- [9] Ingeniería de Máquinas y Sistemas Eléctricos [Último acceso: Octubre 2023]
<http://imseingenieria.blogspot.com>
- [10] "MÁQUINAS ELÉCTRICAS" Fraile Mora, J. Ed. Garceta. 2016.
- [11] "MANUAL DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS"- Carmona Fernández, D. Ed. Abecedario. 2004.
- [12] "INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN: DISEÑO, CALCULO, DIRECCIÓN, SEGURIDAD Y MONTAJE" - Colmenar Santos, A.; Hernández Martín, J.L. Ed. Ra-Ma. 2007.
- [13] "TRANSFORMADORES" - Rodríguez Pozueta, M.A. Universidad de Cantabria. 2018.
- [14] "TRANSFORMADORES DE POTENCIA, DE MEDIDA Y DE PROTECCIÓN" – Ras Oliva, E. Ed. Marcombo. 1994.
- [15] Catalogo Schneider Trihal [Último acceso: Noviembre 2023]
https://www1.lk.dk/flipbooks/Trihal_Catalog_2018-Cast_resin_transformer_up_to_36kV_Distribution_Transformers_NRJED31566/content/Trihal%20Catalog_NRJED315663EN_030418.pdf
- [16] Catalogo Schneider Legrand [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.legrand.es/sites/g/files/ocwmcr651/files/2022-10/Catalogo-Encapsulados-de-resina-CRT-Legrand.pdf>

-
- [17] Transformadores convencionales Magnetron [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://addi.ehu.eus/bitstream/handle/10810/22817/Transformadore%20katalogoa.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [18] Transformador de aislamiento y su uso en protección contra perturbaciones armónicas [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.linkedin.com/pulse/transformador-de-aislamiento-y-su-uso-en-proteccion%C3%B3n-ochoa-guevara/?originalSubdomain=es>
- [19] Transformador Encapsulado Resina Epóxica Ignifugo [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.larce.cl/equipamiento/transformador-encapsulado-resina-epoxica-ignifugo/>
- [20] Imagen Térmica [Último acceso: Noviembre 2023]
<http://jairomayorgaelectricidad.blogspot.com/2016/11/protecciones-propias-de-transformador.html>
- [21] “GESTIÓN DE LA CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA” [Último acceso: Noviembre 2023]
https://www.ingenieros.es/files/Proyectos_1/PFC_FJ_Yebenes_Cabrejas_Cargabilidad_Trafos_Pot.pdf
- [22] Termómetro antivibratorio para transformador [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://mei.es/termometro-antivibratorio-para-transformador/>
- [23] Universidad del Valle patenta método para revisar transformadores [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.univalle.edu.co/talento-vallecaucano/universidad-patenta-metodo-para-revisar-transformadores>
- [24] Relé de gas [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.emb-online.net/es/proteccion-de-transformadores/rele-de-gas.html>
- [25] Transformador de potencia 6300kVA [Último acceso: Noviembre 2023]
https://es.made-in-china.com/co_zjgwuzhou/product_on-Load-Voltage-Regulation-6-3-Mva-6300-kVA-69-Kv-Onaf-Power-Transformer_esoggoyhg.html
- [26] Análisis Físico Químico y Gases disuelto en aceites dieléctricos [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://es.slideshare.net/BorisDeLaCruzCalle/presentacion-analisis-fico-quimico-y-gases-disueltospptx>
- [27] Componentes para transformadores [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.corporacionelectricalima.com/web/componentesparatransformadores.html>

-
- [28] Why ABB Vacuum Tap-Changers? [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://iiee.org.ph:89/uploads/files/888.pdf>
- [29] “PROTOCOLO DE INSPECCIÓN PARA BAJA Y ALTA TENSIÓN” – Alejandro Jiménez Gundián [Último acceso: Noviembre 2023]
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/330927/Memoria_TFG_Alejandro%20Jim%C3%A9nez%20Guandi%C3%A1n.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [30] LEDKIA LIGHTING Cable Eléctrico Manguera 5x4mm [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.amazon.es/LEDKIA-LIGHTING-EI%C3%A9ctrico-Manguera-Hal%C3%B3genos/dp/B0CK5G1BRC>
- [31] Canalizaciones eléctricas prefabricadas [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.blindos.com/pdf/blindosbarra.pdf>
- [32] Bobina de acero [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://aiyiagroup.com/es/steel-coil/>
- [33] Indicador magnético del nivel de aceite [Último acceso: Noviembre 2023]
<http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2009/11/indicador-magnetico-del-nivel-de-aceite.html>
- [34] Filtro secador de aire [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://www.directindustry.es/prod/brownell-ltd/product-25630-1485637.html>
- [35] Termostato compacto [Último acceso: Noviembre 2023]
https://www.wika.com/media/Data-sheets/Temperature/Temperature-switches/ds_tv3165_es_es.pdf
- [36] Cambiadores de Derivación en Transformadores [Último acceso: Noviembre 2023]
<https://rte.mx/uso-de-cambiadores-de-derivacion-en-trasformadores>
- [37] SOFTWARE dmELECT: CT, CIEBT e INSTALACIONES URBANIZACIÓN
- [38] SOFTWARE Autocad
- [39] SOFTWARE Office: Word y Excel