



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

**Estudio para la reconfiguración de las  
protecciones de una red de distribución de  
una factoría.**

**Autora:**

**Guadarrama Serna, María.**

**Tutor:**

**Moríñigo, Daniel  
Ingeniería Eléctrica.**







## Agradecimientos.

Este es el final de un largo camino, a veces difícil pero siempre gratificante y enriquecedor.

Quería dar las gracias a mis padres, Cristina Serna y Javier Guadarrama, por ayudarme a llegar hasta aquí, por animarme y consolarme en cada derrota.

A mis hermanas Dayenú, Ester y Loreto. Sólo ellas saben lo duro que es tener una hermana que estudia ingeniería.

A Alberto García, por estar a mi lado siempre.

A mi tutor Daniel Moriñigo, por estar dispuesto a embarcarse en esta aventura y ayudarme en todo lo que necesitaba.

Y por supuesto, dar las gracias a Alfonso Roche, Javier Sanz Vela y Jesús Urbaneja, por ayudarme a elegir el tema de este trabajo y estar atentos y disponibles ante cualquier necesidad.





## Resumen.

En este TFG se estudia y analiza en primer lugar la situación de explotación actual de una red de media tensión de una factoría, y la solución propuesta para proteger dicha red.

Posteriormente se proponen diferentes configuraciones alternativas de explotación. Además se calculan los ajustes de las protecciones frente a cortocircuito en estas configuraciones y se comprueba que cumplen con las condiciones de selectividad.

## Palabras clave.

Redes de Media Tensión, Redes Radiales, Protección de sobreintensidad, Protección instantánea, Corrientes de cortocircuito.





## INDICE GENERAL.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	15
1.1. Antecedentes.	15
1.2. Justificación del TFG.	15
1.3. Objetivos y competencias	16
1.4. Planificación del proyecto.	17
1.5. Estructura de la memoria.	18
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: EL PARQUE DE 44 kV.	19
2.1. Introducción.	19
2.2. Descripción del parque de 44 kV.	19
2.3. Conclusiones.	25
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: EL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN.	27
3.1. Introducción.	27
3.2. Descripción del centro de distribución.	27
3.3. Las cabinas.	31
3.4. La cadena de protección y control.	34
3.5. La parte móvil.	39
3.6. Conclusiones.	44



CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: SEPAM 1000+ SERIE 40.	45
4.1. Introducción.	45
4.2. Descripción de la protección Sepam Serie 40.	45
4.2.1. Funciones de protección.	45
4.2.2. Funciones de automatismo.	50
4.3. Conclusiones.	52
CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA. LA RED DE MEDIA TENSIÓN.	53
5.1. Introducción.	53
5.2. Descripción de la red de media tensión.	53
5.3. Línea CF-1.	56
5.4. Línea CF-2.	58
5.5. Línea CF-3.	61
5.6. Línea CF-4.	63
5.7. Línea CF-5.	65
5.8. Línea CF-6.	66
5.9. Línea CF-7.	71
5.10. Conclusiones.	73
CAPÍTULO 6: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA.	75
6.1. Introducción.	75
6.2. Descripción del centro de transformación de la central térmica.	75
6.3. Las cabinas.	78
6.4. Estructura topológica y forma de explotación del centro de transformación.	82
6.5. Conclusiones.	83



CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE PROTECCIÓN ACTUAL.	85
7.1. Introducción.	85
7.2. Forma de explotación de la red de media tensión.	85
7.2.1. El centro de distribución.	85
7.2.2. El centro de transformación de la central térmica.	86
7.2.3. La red de media tensión.	87
7.3. Análisis de los ajustes de las protecciones eléctricas.	89
7.4. Corolario de los ajustes de las protecciones eléctricas.	92
7.5. Conclusiones.	94
CAPÍTULO 8: PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE RECONFIGURCIÓN DE LA RED.	95
8.1. Introducción.	95
8.2. Elección de las alternativas objeto de estudio.	95
8.3. Ajuste de los relés de protección de las alternativas seleccionadas.	98
8.4 Resultados obtenidos.	106
8.5 Conclusiones.	109
CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.	111
9.1. Conclusiones.	111
9.2. Líneas Futuras.	111



BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXO 1: ESQUEMA UNIFILAR DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN.	115
ANEXO 2: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN.	117
ANEXO 3: FLUJOS DE CARGA.	119
ANEXO 4: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN ANTE LA ALTERNATIVA 9.	121
ANEXO 5: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN ANTE LA ALTERNATIVA 10.	123
ANEXO 6: FORMULARIO PARA EL CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.	125
ANEXO 7: CURVAS CEI A TIEMPO MUY INVERSO TIPO B.	127





## INDICE DE FIGURAS.

Figura 2.2.1. Llegada de las líneas al parque de 44 kV.	21
Figura 2.2.2. Esquema unifilar del parque de 44 kV.	20
Figura 2.2.3. Juego de protección de llegada de las líneas.	22
Figura 2.2.4. Transformadores de protección y medida.	23
Figura 2.2.5. Transformadores del parque de 44 kV.	24
Figura 2.2.6. Salida de los transformadores.	25
Figura 3.2.1: Cabinas del centro de distribución.	28
Figura 3.2.2: Esquema unifilar del Centro de Distribución.	29
Figura 3.2.3: Cabina MCSet 2 de Schneider Electric	30
Figura 3.3.1. Cabina tipo AD.	32
Figura 3.3.2. Acoplamiento en línea tipo CL-GL.	32
Figura 3.3.3. Cabina tipo AD2 de llegada o salida de línea.	32
Figura 3.3.4. Esquema unifilar de una cabina de llegada o salida tipo AD2.	33
Figura 3.3.5. Unidad de acoplamiento en línea tipo CL2-GL2.	33
Figura 3.3.6. Esquema unifilar de una cabina de acoplamiento en línea.	34
Figura 3.4.1. Imagen y esquema unifilar de la protección SEPAM.	34
Figura 3.4.2. Protección VAMP.	36
Figura 3.4.3. VAM 12LD.	36
Figura 3.4.4. Transformador de intensidad.	38
Figura 3.4.5. Sensor de corriente tipo LPCT.	38
Figura 3.5.1. Interruptor automático tipo LF2.	40
Figura 3.5.2. Mecanismo de energía almacenada RI.	41
Figura 3.5.3. Circuito de apertura del interruptor automático LF.	43
Figura 3.5.4. Bobina de apertura.	43
Figura 3.5.5. Bobina de mínima tensión.	43
Figura 3.5.6. Bobina de bajo consumo.	43
Figura 4.2.1.1: Curva de tiempo independiente.	46
Figura 4.2.1.2: Curva de tiempo dependiente.	46
Figura 4.2.1.3: Curvas características CEI.	47
Figura 4.2.2.1: Basculamiento del juego de ajuste.	51



Figura 5.2.1: Plano de la factoría, con la galería y las subestaciones.	55
Figura 5.3.1. Plano de la factoría, con la línea CF-1.	57
Figura 5.4.1. Plano de la factoría, con la línea CF-2.	60
Figura 5.5.1. Plano de la factoría, con la línea CF-3.	62
Figura 5.6.1. Plano de la factoría, con la línea CF-4.	64
Figura 5.7.1. Plano de la factoría, con la línea CF-5.	65
Figura 5.8.1. Plano de la factoría, con la línea CF-6.	70
Figura 5.9.1. Plano de la factoría, con la línea CF-7.	72
Figura 6.2.1. Centro transformación central térmica.	75
Figura 6.2.2. Esquema unifilar del centro de transformación de la central térmica.	77
Figura 6.3.1. Cabinas del centro de transformación de la central térmica.	79
Figura 6.3.2.a. Esquema de las cabinas UNIVER-24.	81
Figura 6.3.2.b. Esquema unifilar cabina UNIVER-24.	81
Figura 7.2.1.1: Estado del centro de distribución.	86
Figura 7.2.2.1: Estado del centro de transformación de la central térmica.	87
Figura 8.3.1: Esquema de la línea junto con los valores de las corrientes de corto.	102
Figura 8.3.2: Curva IEC muy inversa con $T=0,05$ s.	103
Figura 8.3.3: Curva IEC muy inversa con $T= 0,05$ s y $T=0,25$ s.	104
Figura 8.3.4: Esquema de la línea con los valores de las corrientes de corto y los tiempos de actuación.	105



## INDICE DE TABLAS.

Tabla 5.3.1. Características técnicas del cable RHV de aluminio.	56
Tabla 5.8.1. Características técnicas del cable HEPRZ1 de aluminio.	66
Tabla 5.8.2. Características técnicas del cable RHZ1- OL.	67
Tabla 8.3.1: Valores para el cálculo de t.	100
Tabla 8.4.1: Ajuste protecciones alternativa 9 CF-5+CF-4.	107
Tabla 8.4.2: Ajuste protecciones alternativa 9 CF-3+CF-2.	107
Tabla 8.4.3: Ajuste protecciones alternativa 10 CF-6+CF-7.	108
Tabla 8.4.4: Ajuste protecciones alternativa 10 CF-2+CF-3.	109





# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

## 1.1. ANCEDENTES.

Este trabajo surge a partir de la realización de las prácticas curriculares y extracurriculares en una factoría de automóviles.

Durante las prácticas visité y conocí todas las instalaciones de las que se va a hablar a lo largo del trabajo. Estudié cómo funciona la red de media tensión y todas las configuraciones posibles que ofrecía gracias a su característica topología. Me explicaron el por qué de una estructura topológica tan particular y cómo se opera la red para asegurar la continuidad del suministro, al igual que me enseñaron el funcionamiento de los sistemas de protección y las características que poseían. Fue entonces cuando me propusieron este tema para desarrollar como trabajo fin de grado.

Durante la realización de las prácticas pude recoger toda la información necesaria para la realización del trabajo, al igual que me proporcionaron todo lo necesario para su correcto desarrollo.

Al principio los sistemas de protección presentes en el centro de distribución y en el centro de transformación de la central térmica encargados de proteger la red eran del tipo ITG, es decir, relés electromecánicos. Gracias al avance y mejora tecnológica de estos sistemas en la actualidad la red se protege mediante sistemas de protección digitales, proporcionando a la red un elevado grado de flexibilidad y seguridad.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TFG.

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) se va a realizar en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid en colaboración con la fábrica de automóviles sobre la que versa este trabajo, pero de la cual no se puede dar información por razones de confidencialidad.

Tal y cómo se comentaba en el apartado anterior la evolución y el desarrollo de los sistemas de protección ha dado lugar a redes más seguras y más flexibles, pero también hay que realizar sobre ellas un estudio más profundo y detallado para ajustar dichos sistemas de protección de la forma más óptima posible. Esta es la justificación del trabajo, la realización de un estudio de la red de media tensión en el cual se analiza la solución actual en cuanto al sistema de protección y se buscan y proponen posibles mejoras.



### 1.3. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS.

El presente trabajo tiene como fin desarrollar tanto unos objetivos formativos como unos objetivos específicos. Los objetivos formativos son:

- Organización y gestión del tiempo de forma eficiente.
- Desarrollo del lenguaje y la expresión escrita.
- Adquisición de una base de conocimientos relacionados con los sistemas de protección.
- Estudio de los diferentes relés de sobreintensidad y comprensión de su funcionamiento.

Los objetivos específicos del TFG son los siguientes:

- Utilizar los conocimientos adquiridos para analizar la situación actual y proponer posibles mejores.
- Mediante el cálculo de las corrientes de cortocircuito realizar nuevos ajustes de las protecciones, para las nuevas configuraciones propuestas, que cumplan las condiciones de selectividad.

Este TFG también buscar contribuir al desarrollo de las siguientes competencias genéricas del Grado en Ingeniería Eléctrica:

- o **CG1.** Capacidad de análisis y síntesis.
- o **CG2.** Capacidad de organización y planificación del tiempo.
- o **CG3.** Capacidad de expresión oral.
- o **CG4.** Capacidad de expresión escrita.
- o **CG5.** Capacidad para aprender y trabajar de forma autónoma.
- o **CG6.** Capacidad de resolución de problemas.
- o **CG7.** Capacidad de razonamiento crítico/análisis lógico.
- o **CG8.** Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica.
- o **CG9.** Capacidad para trabajar en equipo de forma eficaz.
- o **CG10.** Capacidad para diseñar y desarrollar proyectos.
- o **CG11.** Capacidad para la creatividad y la innovación.
- o **CG12.** Capacidad para la motivación por el logro y la mejora continua.
- o **CG13.** Capacidad para actuar éticamente y con compromiso social.
- o **CG14.** Capacidad de evaluar.
- o **CG15.** Capacidad para el manejo de especificaciones técnicas y para elaboración de informes técnicos.



Este TFG también contribuye al desarrollo de las siguientes competencias específicas:

- **CE10.** Conocimiento y utilización de los principios de teoría de circuitos y máquinas eléctricas.
- **CE11.** Conocimientos de los fundamentos de la electrónica.
- **CE12.** Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.
- **CE21.** Capacidad para el cálculo y diseño de instalaciones eléctricas de baja y media tensión.
- **CE22.** Capacidad para el cálculo y diseño de instalaciones eléctricas de alta tensión.
- **CE23.** Capacidad para el cálculo y diseño de líneas eléctricas y transporte de energía eléctrica

#### 1.4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Para la realización del trabajo se han desarrollado las siguientes actividades:

1. Tras decidir durante las prácticas el tema del TFG busqué un profesor que estuviera interesado en tutorizarme.
2. Primera reunión para fijar el alcance del proyecto y definir por dónde comenzar.
3. Descripción de las diferentes partes de la red de media tensión.
4. Reuniones de seguimiento con el tutor y correcciones de los diferentes capítulos.
5. Descripción del estado actual de la red y posterior análisis de la solución.
6. Búsqueda de posibles mejoras del sistema de protección actual. Partiendo de la solución actual se lleva a cabo un estudio con el fin de proponer diferentes alternativas.
7. Estudio de las distintas alternativas obtenidas. Una vez que se tienen las diferentes posibilidades de configuración de la red se estudia cual es la más óptima.
8. Elección de la mejor alternativa y estudio de la misma. Ahora que se ha determinado cual es la mejor opción se lleva a cabo el estudio de ajuste de las protecciones de la red.
9. Análisis de los resultados obtenidos y redacción de las conclusiones.
10. Finalización de la memoria.



## 1.5. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.

El trabajo está constituido por diferentes capítulos que se encuentran subdivididos en subcapítulos:

Capítulo 1: Introducción y objetivos. Se explica brevemente sobre lo que versa el proyecto y se justifica su realización.

Capítulo 2: Descripción de la instalación eléctrica de la factoría: El parque de 44 kV. Se detallan los elementos que conforman el parque y se explica su funcionamiento.

Capítulo 3: Descripción de la instalación eléctrica de la factoría: El centro de distribución.

Capítulo 4: Descripción de la instalación eléctrica de la factoría: Sepam 1000+ Serie 40. Se exponen las características y el funcionamiento del relé de protección.

Capítulo 5: Descripción de la instalación eléctrica de la factoría: La red de media tensión. Se detallan cada una de las líneas que constituyen la instalación y los centros de transformación a los que alimentan.

Capítulo 6: Descripción de la instalación eléctrica de la factoría: El centro de transformación de la central térmica.

Capítulo 7: Análisis de la solución de protección actual: Se describe cual es el estado real de la red de media tensión y de su sistema de protección. Después se lleva a cabo un estudio sobre la solución adoptada.

Capítulo 8: Propuesta de alternativas de reconfiguración de la red. Se realiza un estudio sobre cuáles son las alternativas de explotación de la red y se elige la más óptima. Sobre ella se lleva a cabo un estudio de ajuste de los sistemas de protección.

Capítulo 9: Conclusiones y posibles mejoras futuras. Se relatan las conclusiones y resultados obtenidos y se proponen unas líneas futuras de mejora y desarrollo.

Bibliografía: Se detallan las fuentes de las que se ha obtenido información.

Anexos: se incluyen datos y esquemas complementarios a las descripciones presentadas a lo largo del trabajo.





## CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: EL PARQUE DE 44 kV.

### 2.1. INTRODUCCIÓN.

Desde el punto de vista eléctrico la factoría está formada por:

- **Parque de 44kV:** en el cual se produce la transformación de la tensión desde el valor de llegada, 44 kV, hasta 13,6 kV, valor de tensión que se utilizará para transportar la energía eléctrica por toda la fábrica.
- **Centro de distribución:** funciona como un nodo en la red. Se encarga de repartir la energía eléctrica por toda la factoría y de proteger la red de media tensión. Gracias a su configuración y a la forma de explotación de la red de media tensión, las opciones de alimentación son múltiples.
- **Red de media tensión:** posee una configuración en forma de bucle lo que la dota de una gran flexibilidad, aunque en la actualidad se explota radialmente. Está formada por las diferentes subestaciones que alimentan las distintas áreas de la fábrica.
- **Centro de transformación de la central térmica:** funciona como espejo del centro de distribución, permitiendo operar y gestionar la red de media tensión.

En este capítulo se va a realizar una descripción del parque de 44 kV y de los elementos que lo forman. Conociendo así la función y misión de cada uno de ellos y del elemento inicial desde el cual parte la distribución de la energía eléctrica por la factoría.

### 2.2. DESCRIPCIÓN DEL PARQUE DE 44 kV.

La factoría se alimenta eléctricamente a través del parque de 44 kV mediante dos líneas de llegada, línea nº 1 o línea nº 2 [figura 2.2.1.].

Ambas líneas proceden de diferentes partes de la red, con el fin de asegurar el suministro. En el caso de que una de ellas quedase fuera de servicio, el parque se alimentaría a través de la otra línea.

La elección de cuál de las dos líneas va a ser la que alimente a la factoría, puede realizarse de forma manual o mediante un dispositivo automático, que conmuta de una línea a otra en caso de fallo.

En la figura 2.2.2. se incorpora el esquema unifilar del parque de 44 kV que servirá para guiar en las posteriores explicaciones.

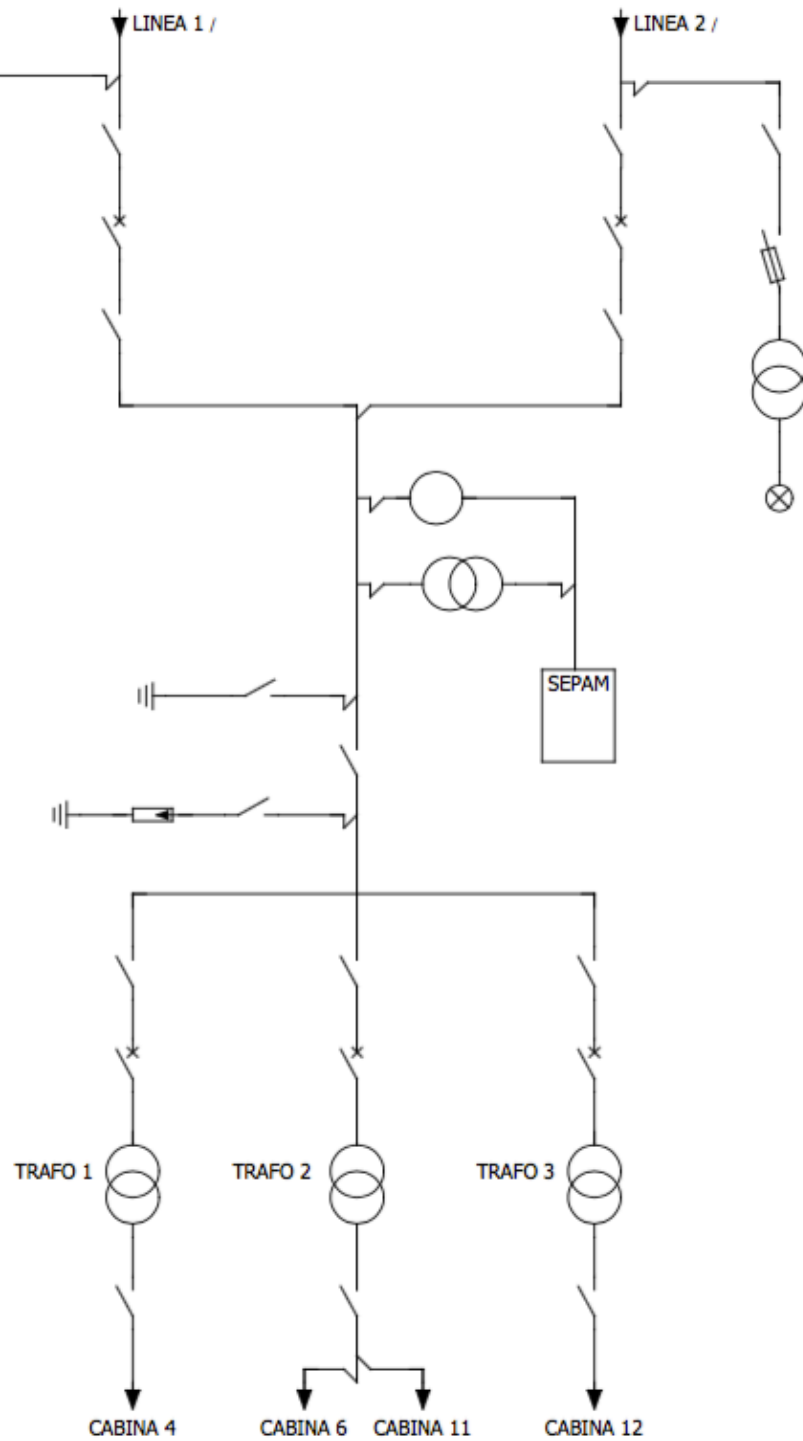


Figura 2.2.2. Esquema unifilar del parque de 44 kV.



*Figura 2.2.1. Llegada de las líneas al parque de 44 kV.*

En la llegada de cada una de las líneas, existe un juego de elementos de maniobra y protección formado por un seccionador, un interruptor automático y un segundo seccionador [figura 2.2.3.].

Esta apartamenta se encarga de asegurar la continuidad de suministro al realizar la conmutación de una línea a otra, en el supuesto de que en la línea en servicio se produjera una falta de tensión, bien por un cero o por una caída notoria de tensión. Se encarga también de proteger los transformadores y la subestación en general frente a un fallo, tanto sobreintensidad como sobretensión.



Figura 2.2.3. Juego de protección de Llegada de las líneas.

Cuando la línea que se encuentra en servicio sufre un fallo, el automatismo que se encarga de conmutar de una línea a otra, abre el interruptor automático de llegada de la línea que ha sufrido el cero de tensión y cierra el interruptor de llegada de la otra línea. Siendo esta segunda línea la que pasa a dar suministro eléctrico a la fábrica. Evitando que la fábrica se quede sin suministro y minimizando el tiempo que permanece sin tensión.

Los dispositivos que conforman este elemento de vigilancia y maniobra, que proporciona la información necesaria al interruptor automático para su actuación, se encuentran en la llegada de cada una de las líneas.

El dispositivo principal es el transformador de tensión cuya relación de transformación es 44 kV/110 V tomando tensión solamente de una de las fases. Este trafo se encuentra protegido por un seccionador unipolar y un ruptofusible situados aguas arriba.



Después del segundo seccionador se encuentran los transformadores de protección y medida [figura 2.2.4.]. Primero el transformador de intensidad, conectado en serie, cuya relación de transformación es 150-300/5-5. Y tras él se encuentra el transformador de tensión, puesto a tierra, cuya relación de transformación es 44 kV/110 V. Ambos elementos se encuentran conectados a la unidad de protección y medida, Sepam T40 de Schneider, que es una protección de línea.

La función del Sepam es proteger, ante un defecto en las líneas de llegada o en las barras del parque, los diferentes dispositivos que forman el mismo, abriendo los interruptores de llegada de las líneas.



Figura 2.2.4. Transformadores de protección y medida.

Después de los transformadores de protección y medida está el seccionador de puesta a tierra. Y tras él se encuentra un elemento de maniobra, un seccionador, y después de este el pararrayos o autoválvula, para proteger el parque frente a sobretensiones.

A continuación están los tres transformadores que conforman la subestación [figura 2.2.5.], precedidos por dispositivos de maniobra y protección, tres seccionadores y tres interruptores automáticos por cada transformador.

Son tres transformadores en aceite de 12 MVA cada uno, que se encargan de reducir la tensión de llegada, 44 kV, a la tensión de la red de distribución de la factoría, 13,6 kV. Los tres transformadores se encuentran conectados en triángulo- estrella.

El neutro del transformador se conecta a tierra e incorpora un transformador de intensidad, que transmite información al relé de protección, para así poder proteger la instalación frente a posibles corrientes de derivación por el neutro. La relación de transformación de estos trafos de intensidad es 600/5 A.



Figura 2.2.5. Transformadores del parque de 44 kV.



Debido a que el consumo promedio de la fábrica se encuentra en torno a los 16-17 MVA, solamente es necesario que estén en funcionamiento dos de los tres transformadores, quedando uno de ellos de reserva, pero en estado de carga.

Después de cada uno de los transformadores hay un seccionador [figura 2.2.6.] y tras él se encuentran las cabinas de llegada de transformadores del centro de distribución. Mientras que en el caso del transformador nº 1 y el transformador nº 3 existe solamente una salida, el transformador nº 2 posee dos salidas, de esta forma las opciones de alimentación del bucle de media tensión aumentan, acrecentando así la flexibilidad de operación y explotación del mismo.



*Figura 2.2.6. Salida de los transformadores.*

### 2.3. CONCLUSIONES.

Este capítulo sirve como introducción, como punto de partida, para conocer la instalación sobre la cual va a tratar este trabajo.

Es necesario para saber cuál es la forma de llegada de la energía eléctrica a la factoría, y los elementos que forman parte de esta parte de la instalación.







## CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: EL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN.

### 3.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se realizará una descripción del centro de distribución y de los elementos que lo conforman, las cabinas de media tensión. Se describirá cuál la misión del centro de distribución como parte de la red de media tensión y se incluirá una descripción de cada uno de los diferentes tipos de cabinas. Se explicará el funcionamiento general de las cabinas, y también se hablará del funcionamiento de cada uno de los componentes de forma particular y de su función dentro de la cabina.

### 3.2. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN.

El centro de distribución [figura 3.2.1.] se encuentra a continuación del parque de 44 kV. Está formado por las cabinas de media tensión, cuya función es suministrar a la factoría la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento y proteger la red de media tensión. La tensión del centro de distribución y por lo tanto de la red de media tensión es de 13,6 kV, que posteriormente en los centros de transformación de cada una de las áreas, será rebajada hasta la tensión de utilización que en el caso de la fuerza es de 400 V.

En la figura 3.2.2. se muestra el esquema unifilar del centro de distribución. Se observa que está formado por un total de quince cabinas.

Dentro de este total de quince cabinas, el centro de distribución cuenta un juego de cabinas de remonte y acoplamiento de barras. Estas cabinas proporcionan a la red una gran flexibilidad, asegurando también la continuidad de suministro.

Así mismo, el transformador número dos del parque de 44 kV posee dos salidas diferentes que llegan a dos cabinas diferentes, cabina 6 y cabina 11. Estas cabinas están separadas por las cabinas de acoplamiento y remonte de barras, cabina 7 y cabina 8. Gracias a esta configuración la alimentación del centro de distribución se puede realizar de diversas formas. Se puede alimentar, por ejemplo, mediante el transformador uno estando el acoplamiento cerrado, o con el transformador dos estando el acoplamiento abierto, o con dos trafos manteniendo el acoplamiento abierto. De esta forma, el centro de distribución funcionará como un único nodo cuando el acoplamiento esté cerrado o como dos nodos cuando esté abierto.



*Figura 3.2.1. Cabinas del centro de distribución.*

Las cabinas que forman el centro de distribución son:

1. Cabina 1: Batería de condensadores.
2. Cabina 2: Línea CF-7.
3. Cabina 3: Línea CF-6.
4. Cabina 4: Llegada Transformador 1.
5. Cabina 5: Línea CF-5.
6. Cabina 6: Llegada Transformador 2.
7. Cabina 7: Remonte de barras.
8. Cabina 8: Acoplamiento de barras.
9. Cabina 9: Línea CF-4.
10. Cabina 10: Línea CF-3.
11. Cabina 11: Llegada Transformador 2.
12. Cabina 12: Llegada Transformador 3.
13. Cabina 13: Línea CF-2.
14. Cabina 14: Línea CF-1.
15. Cabina 15: Batería de condensadores.

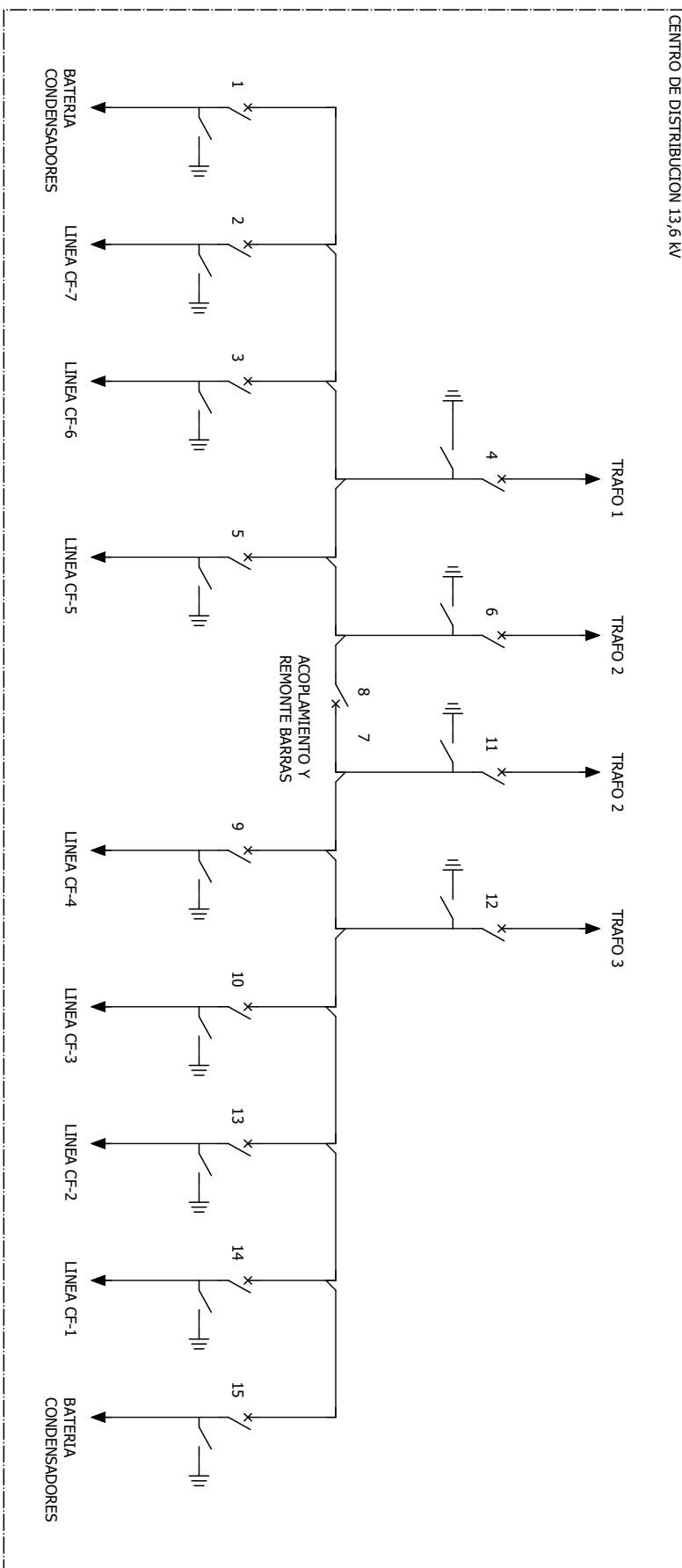


Figura 3.2.2. Esquema unifilar del Centro de Distribución.

Las cabinas que conforman el centro de distribución son del tipo MCSet 2 de 17,5 kV de Schneider Electric. Una cabina MCSet [figura 3.2.3.] se compone de varias unidades funcionales enlazadas entre sí. Las unidades funcionales están formadas por todos los componentes de los circuitos principales y auxiliares que constituyen una función de protección.

La conexión de potencia de una unidad funcional a otra en una cabina se realiza mediante un juego de barras simple. La continuidad eléctrica de todas las masas metálicas queda asegurada mediante la conexión de los colectores de tierra de cada unidad funcional al colector principal del cuadro.

La cabina se compone de tres unidades funcionales: la cabina, la cadena de protección y control y la parte móvil [Schneider Electric, *Catálogo General MCset 1-2-3 17,5kV*].

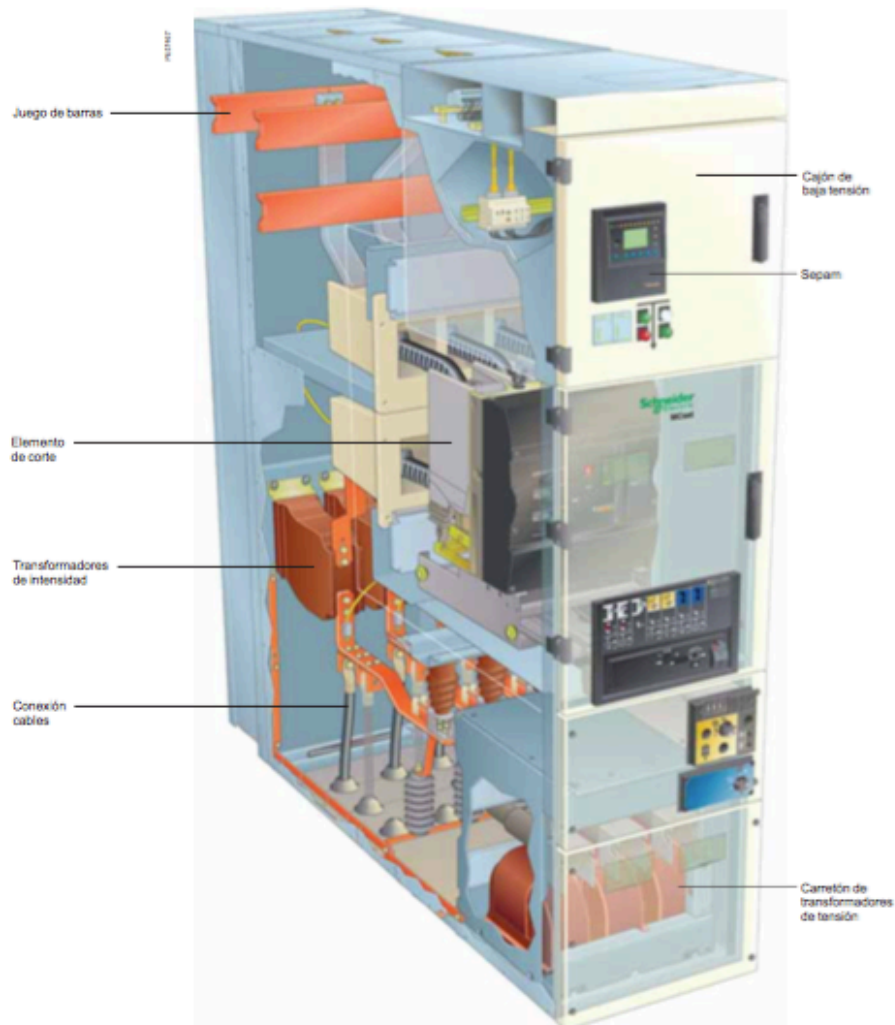


Figura 3.2.3. Cabina MCSet 2 de Schneider Electric.



### 3.3. LAS CABINAS.

Las cabinas MCSet 2 son del tipo el LSC2B (*Loss of Service Continuity Category*) según lo definido en la norma IEC 62271-200, lo que implica que las partes de media tensión se encuentran divididas en compartimentos mediante paneles metálicos conectados a tierra que separan entre sí: Estas partes de media tensión (MT) son las siguientes:

- El juego de barras.
- La parte móvil desenchufable: disyuntor o interruptor automático, contactor de fusibles, carro de seccionamiento o de puesta a tierra.
- La conexión de MT, el seccionador de tierra, los transformadores de intensidad y los transformadores de tensión.

La serie de cabinas MCSet ofrece cuatro tipos de cabinas básicas:

- Llegada o salida: tipo AD [figura 3.3.1.].
- Acoplamiento en línea: tipo CL-GL [figura 3.3.2.].
- Medida y puesta a tierra del juego de barras: tipo TT.
- Salida interruptor fusibles: tipo DI.

En el centro de distribución objeto de estudio, las cabinas existentes son del tipo AD2, para la llegada o salida de línea, de tipo CL2, para el acoplamiento de barras y de tipo GL2, para el remonte de barras. En las figuras 3.3.1. a 3.3.6. se muestran fotografías, esquemas y diagramas unifilares de estos tipos de cabinas que proporciona el fabricante Schneider Electric. Las características técnicas de las cabinas son las siguientes:

- Tensión asignada: 17,5 kV.
- Poder de corte: 25 kA.
- Corriente asignada: 1250 A.
- Tensión de ensayo: 38 kV 1min.
- Tensión de pico: 95 kV.
- Intensidad de cresta admisible: 63 kA.

La unidad funcional de tipo acoplamiento se compone de dos cabinas. Una cabina equipada con un disyuntor, cabina tipo CL, y la otra con un remonte del juego de barras, cabina tipo GL [figura 3.3.5.].

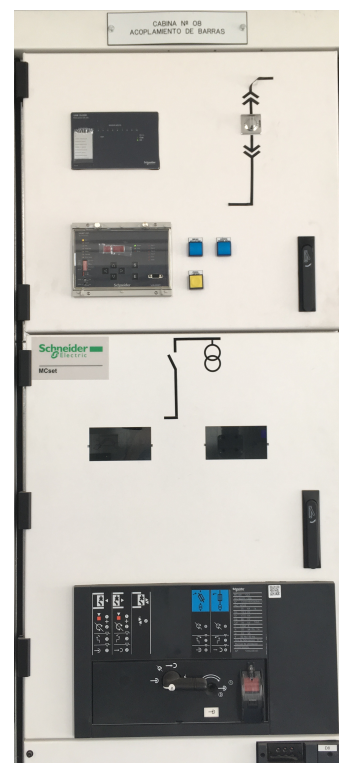




Figura 3.3.1. Cabina tipo AD.



Figura 3.3.2. Acoplamiento en línea tipo CL-GL.



1. Juego de barras para conectar las cabinas entre sí.
2. Parte móvil desenchufable.
3. Conexiones MT por cables de acceso frontal.
4. Seccionador de puesta a tierra.
5. Transformadores de intensidad.
6. Transformadores de tensión.
7. Cajón de baja tensión.

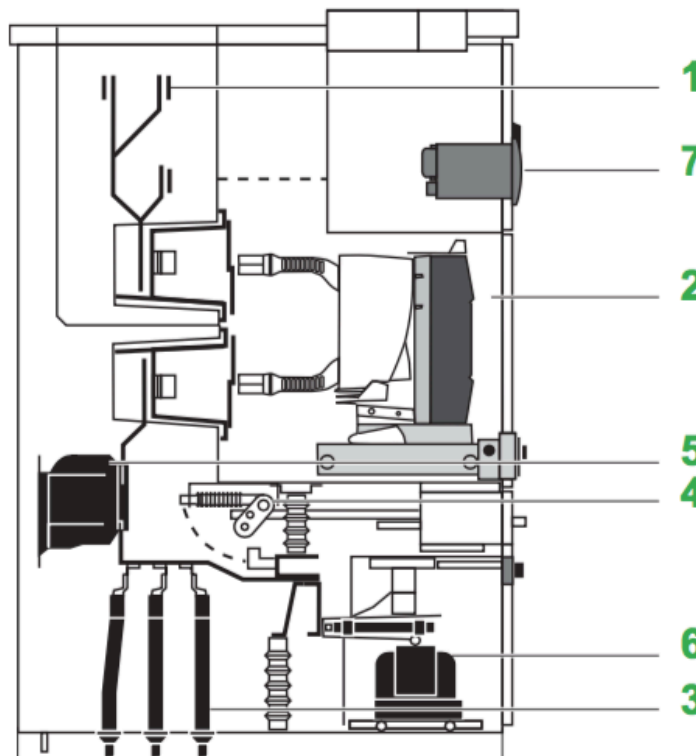


Figura 3.3.3. Cabina tipo AD2 de llegada o salida de línea.

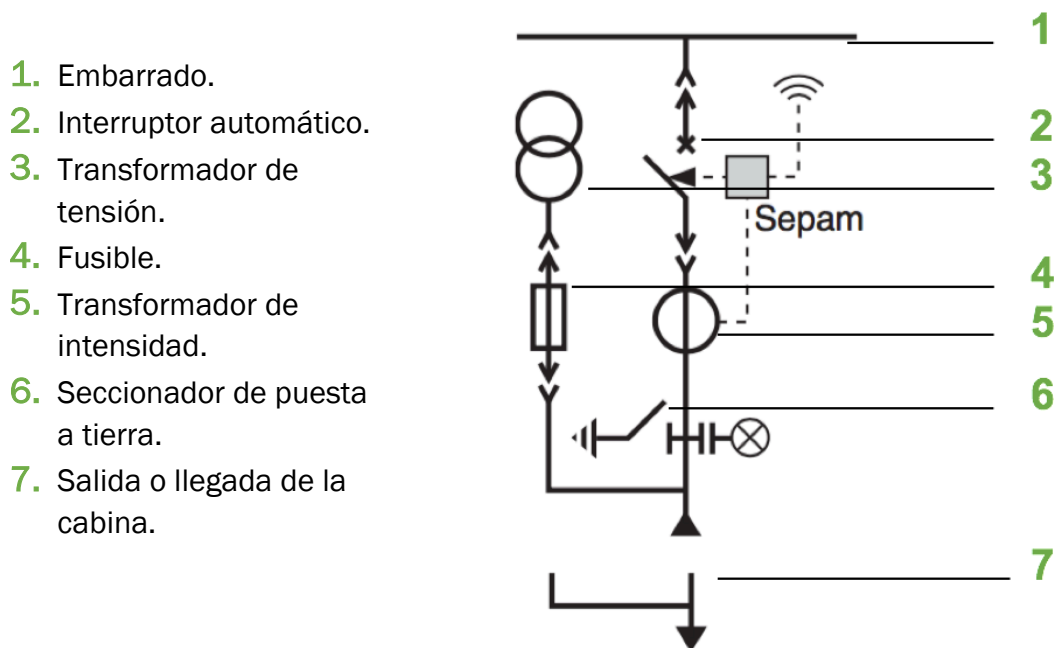


Figura 3.3.4. Esquema unifilar de una cabina de llegada o salida tipo AD2.

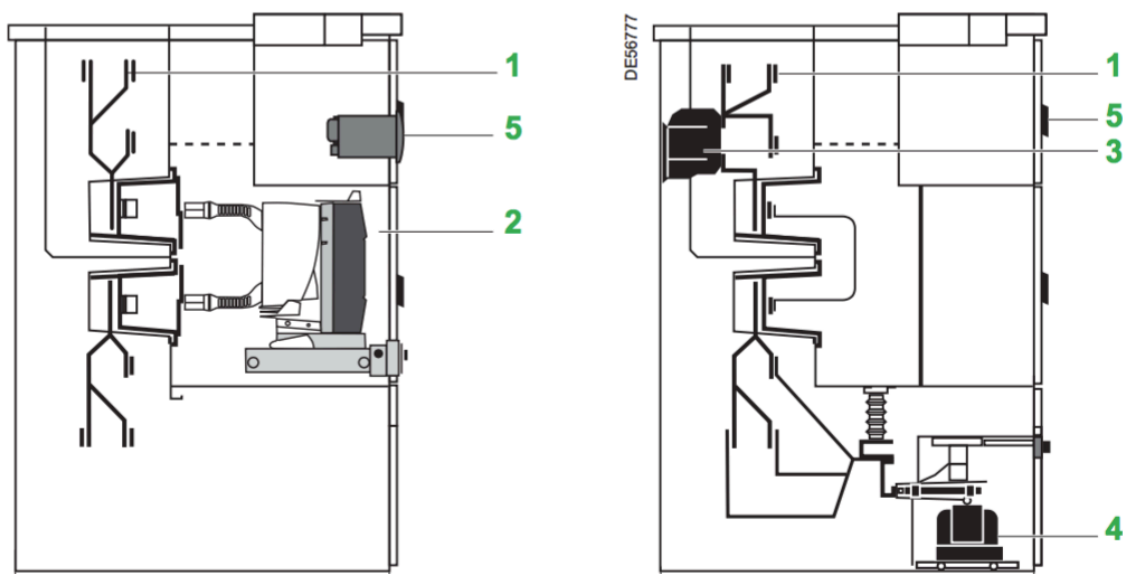


Figura 3.3.5. Unidad de acoplamiento en línea tipo CL2-GL2.

1. Embarrado.
2. Transformador de intensidad de la cabina CL.
3. Transformador de tensión de la cabina GL.
4. Transformador de intensidad, cabina GL.
5. Interruptor automático, cabina CL.
6. Transformador de tensión, cabina CL.

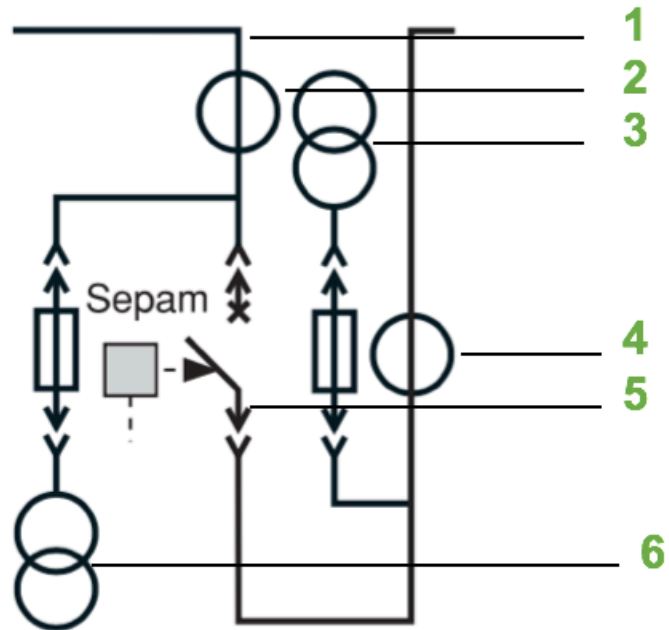


Figura 3.3.6. Esquema unifilar de una cabina de acoplamiento en línea.

### 3.4. LA CADENA DE PROTECCIÓN Y CONTROL.

El sistema de protección y control se basa en una unidad de Schneider Electric conocida como *SEPAM*. A su vez, esta unidad precisa de un transformador de intensidad, un transformador de tensión y un toroidal homopolar tipo *CSH*.

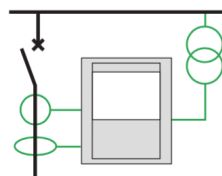


Figura 3.4.1. Imagen y esquema unifilar de la protección SEPAM.





En el centro de distribución objeto de estudio existen diferentes tipos de SEPAM serie 40 [figura 3.4.1.], siendo sus características técnicas:

- Entradas lógicas: de 0 a 10.
- Salidas lógicas: de 4 a 8.
- Sensores de temperatura: de 0 a 16.
- Canal intensidad:  $3 I + I_0$ .
- Canal tensión:  $3 V, 2 U + V_0$ .
- Consta de canal LPCT.
- Puertos de comunicación: de 1 a 2.
- Posee protocolo IEC61850 y redundancia.

El tipo de SEPAM utilizado dependerá de la función de la cabina; en el centro de distribución se pueden encontrar cuatro tipos de SEPAM:

- SEPAM T40:
  - Cabina 4: Llegada del transformador 1.
- SEPAM T42:
  - Cabina 6: Llegada del transformador 2.
  - Cabina 11: Llegada del transformador 2.
  - Cabina 12: Llegada del transformador 3.
- SEPAM S40:
  - En todas las cabinas de línea: cabina 2, 3, 5, 9, 10, 13 y 14.
- SEPAM C86:
  - Cabina 1: Batería de condensadores.
  - Cabina 15: Batería de condensadores.

El SEPAM T40 y el SEPAM S40 cuentan con protecciones de intensidad, de tensión y de frecuencia. Mientras que el SEPAM T42 posee todas las protecciones citadas anteriormente además de una protección direccional de tierra y de sobreintensidad de fase.

A parte del SEPAM que se encarga de proteger la línea frente a diferentes fallos, las cabinas MCSET incorporan una protección contra arcos internos denominada VAMP [figura 3.4.2.]. Cuando el VAMP detecta el destello producido por el arco interno da la orden de disparo del interruptor automático. Este sistema de protección contra arcos internos aumenta la seguridad de los trabajadores y reduce los daños materiales causados por un arco.



Figura 3.4.2. Protección VAMP.

La protección contra arcos internos del centro de distribución consta de una unidad central de protección, VAMP 221, que se localiza en la cabina número ocho, la correspondiente al acoplamiento de barras [Schneider Electric, VAMP 221] [Vamp, Operation and configuration instructions].

Dicho VAMP se completa con una serie de unidades de entradas y salidas de sensor de punto, VAM 12LD [figura 3.4.3.], que se sitúan en:

- Cabina 1: Batería de condensadores.
- Cabina 4: Llegada del transformador 1.
- Cabina 8: Acoplamiento de barras.
- Cabina 10: Salida de la línea CF-3.
- Cabina 13: Salida de la línea CF-2.



Figura 3.4.3. VAM 12LD.



Las características del sistema *VAMP 221* son:

- Criterio de disparo por intensidad y luz, con la posibilidad de disparo sólo por luz.
- Tiempo de respuesta 7 ms o inferior.
- Detección precisa de fallos debido a arcos internos al utilizar sensores de punto.
- Medición de la intensidad de fase.
- Medición de la intensidad de defecto a tierra.

La unidad *VAM 12LD* consta de:

- Dos puertos de comunicación para la unidad central, *VAMP 221*, y la unidad de interconexión.
- Conexión a diez sensores de arco de punto.
- Tres contactos de salida selectivos de disparo.

Todas las cabinas incorporan un sensor de punto, *VA1DA-6*, que se encarga de generar un señal de corriente cuando detecta una luz intensa, protegiendo así la cabina frente a arcos internos.

Los transformadores de corriente convencionales se encargan de alimentar a los equipos de medida, contaje y control. Desarrollan esta función adaptando el valor de la corriente de MT en el primario a las características de los dispositivos de medición o protección, al suministrar una corriente secundaria con un valor de corriente reducido, pero proporcional.

En las cabinas 4, 6, 11 y 12, todas ellas de llegada de transformador, el transformador de intensidad que se ha utilizado es el *ARJP2* de Magrini [figura 3.4.4.], que puede tener una doble intensidad primaria y una doble intensidad secundaria para medida o protección. Sus características técnicas son:

- Tensión de servicio a 50 Hz: 6,3 kV.
- Tensión de aislamiento: 7,2-20-60 kV.
- Relación de transformación: 750 / 5-5 A.
- Potencia y clase: 10 VA Cl 0,5.
- Potencia y clase: 10 VA 5P20.

En las cabinas restantes, correspondientes a las baterías de condensadores y salidas de líneas, exceptuando las cabinas 7 y 8 (acoplamiento y remonte de barras), se han colocado sensores de corriente tipo *LPCT*, modelo *CLP1* [figura 3.4.5.].

Los *LPCT* son sensores de intensidad específicos, con una salida de tensión directa, del tipo *transformadores de intensidad de baja potencia*, que ofrecen funciones de medida y protección. Se caracterizan por mostrar una respuesta lineal dentro de un gran rango de intensidad y por no empezar a saturarse hasta superar el umbral de intensidad de cortocircuito.



Figura 3.4.4. Transformador de intensidad.



Figura 3.4.5. Sensor de corriente tipo LPCT.

Las características técnicas de los sensores *LPCT* son:

- Intensidad primaria nominal/ extendida: 100/ 1250 A.
- Tensión secundaria: 22,5 mV.
- Relación de transformación en las cabinas de salida de línea: 500/ 5 A.
- Relación de transformación en las cabinas de baterías de condensadores: 250/ 5 A.

El toroidal homopolar *CSH 30* permite una protección más sensible, por la medida directa de la corriente de defecto a tierra. Está diseñado específicamente para la gama *SEPAM* y se pueden conectar directamente en la entrada de *corriente residual* de este. Debe utilizarse si la medida de la corriente residual se efectúa mediante un transformador de intensidad con secundario, sirviendo de adaptador entre el TI y la entrada de corriente residual del *SEPAM*. La corriente en el secundario del toroidal puede ser de 1 A o de 5 A, dependiendo del número de vueltas del cableado del secundario a través del anillo del toroidal, siendo dos y cuatro vueltas respectivamente [Schneider Electric, CSH30 Interposing Ring Current Transformer].



Las cabinas que cuentan con el toroidal homopolar *CSH 30* son:

- Cabina 1: Batería de condensadores.
- Cabina 4: Llegada del transformador 1.
- Cabina 6: Llegada del transformador 2.
- Cabina 11: Llegada del transformador 2.
- Cabina 12: Llegada transformador 3.
- Cabina 15: Batería de condensadores.

El último componente de protección, monitorización y control que poseen las cabinas MCSET son el transformador de tensión tipo *VRQ3n/S2*. Cuya función es reducir la tensión de llegada a la cabina para alimentar al *SEPAM*. Sus características técnicas son:

- Tensión de servicio a 50 Hz: 6 kV.
- Tensión de aislamiento: 7,2-20-60 kV.
- Relación de transformación: 13800: V3/ 110:V3- 110: V3.
- Potencia y clase: 20 VA cl 0,5.
- Potencia y clase: 20 VA cl3P.
- Factor de tensión: 1,9 Un x 8 horas.

### 3.5. LA PARTE MÓVIL.

La parte móvil de la cabina contiene:

- El interruptor automático, el contactor o el carro de puesta a tierra con su mecanismo de cierre y apertura o el carro de seccionamiento.
- El dispositivo de propulsión por manivela para el enchufado y desenchufado.
- Los enclavamientos para fijar la parte móvil a la parte fija en posición de servicio o seccionada.

En cuanto a la seguridad de las personas, las cabinas *MCset* han sido diseñadas para eliminar los efectos producidos por los arcos internos con total seguridad, gracias a:

- La instalación de válvulas metálicas unidireccionales en la parte superior de la envoltura, que en caso de fallo interno limitan la sobrepresión en los diferentes compartimentos.
- El uso de materiales ignífugos en la construcción de la cabina.

Además poseen dos sistemas para la detección de los arcos internos, capaces de desconectar la alimentación para reducir la duración del fallo:

- Detector electromecánico: Este sistema utiliza un circuito de disparo electromecánico de seguridad positiva, que se encuentra en las válvulas de la cabina. Este circuito se encarga de transmitir la información al sistema *SEPAM* para dar la orden de apertura al interruptor automático situado aguas arriba del fallo.
- Detector óptico (sistema *VAMP*): Los arcos internos son detectados mediante sensores ópticos que miden la luz generada al inicio del arco. A partir de esta medición un módulo electrónico procesará la información y a continuación dará la orden de apertura al interruptor automático ubicado aguas arriba del fallo.



Figura 3.5.1. Interruptor automático tipo LF2.

Todas las cabinas poseen un interruptor automático tipo *LF2* [figura 3.5.1.], excepto la cabina número siete correspondiente al remonte de barras que no tiene interruptor. Este interruptor automático está formado por la unidad de interruptor automático con su mecanismo de accionamiento, que consta de:

- Tres polos integrados en un envoltorio de aislamiento de tipo *sistema de presión sellado*. El conjunto sellado se llena con gas SF6 a una baja presión relativa y se equipa con un interruptor de presión.
- Un mecanismo de accionamiento eléctrico mediante energía almacenada RI, lo que proporciona al dispositivo una velocidad de apertura y cierre independiente del operario, tanto para órdenes manuales como eléctricas. También permite llevar a cabo ciclos de reconexión.

- Un panel frontal que contiene el mecanismo de accionamiento manual junto con los indicadores de estado.

Hay también otros elementos que le permiten ser extraíble:

- El interruptor automático está equipado con brazos para bastidor y ganchos de contacto y se monta en un dispositivo de inserción/extracción en bastidor, con un eje roscado accionado por una manivela, incluyendo todos los sistemas de enclavamiento de seguridad.
- Un conector de BT macho tipo *Harting* permite la conexión de los circuitos auxiliares externos.

Las características técnicas de los interruptores automáticos *LF* en las cabinas *MCset* son:

- Tensión asignada,  $U_r$ : 17,5 kV.
- Nivel de aislamiento:
  - Endurancia a frecuencia industrial,  $U_d$ : 38kV.
  - Endurancia a impulso tipo rayo,  $U_p$ : 95 kV pico.
- Intensidad asignada,  $I_r$ : 1250 A.
- Intensidad de cortocircuito,  $I_{cc}$ : 25 kA.
- Intensidad de corta duración admisible,  $I_k/ t_k$ : 25 kA/3s.
- Poder de cierre,  $I_p$ : 63 kA pico.



Figura 3.5.2. Mecanismo de energía almacenada RI.



Los interruptores automáticos *LF* se accionan mediante un mecanismo de energía almacenada *RI* [figura 3.5.2.], que proporciona al aparato de corte una velocidad de cierre y de apertura independiente del operador. El mando, siempre se encuentra motorizado y permite realizar tanto maniobras remotas como el ciclo de reenganche rápido.

El interruptor se compone de:

- Un mecanismo de acumulación de energía. Que almacena en los resortes la energía necesaria para el cierre y posterior apertura del aparato.
- Un dispositivo de rearme manual mediante una palanca.
- Un dispositivo de apertura y cierre mecánicos a través de dos pulsadores situados en la parte frontal del interruptor.
- Un dispositivo de cierre eléctrico, que incluye un disparador de cierre para el control remoto con un relé antibombeo.
- Un dispositivo de apertura eléctrica que incluye una o varias bobinas de apertura que pueden ser de tipo:
  - Shunt (emisión de tensión) simple o doble.
  - Falta de tensión.
  - Mitop, de bajo consumo, utilizada sólo con *SEPAM 100 LA*.
- Un contador de maniobras.
- Un indicador de posición *abierto-cerrado* mediante un piloto mecánico *negro-blanco*.
- Un dispositivo indicando *muelles cargados* con señalización mecánica y contacto eléctrico.
- Un módulo de 14 contactos auxiliares.
- Un contacto que se activa cuando la presión del gas excede 0,1 MPa.



- (1) Bobina de apertura.
- (2) Bobina de mínima tensión.
- (3) Bobina de bajo consumo.

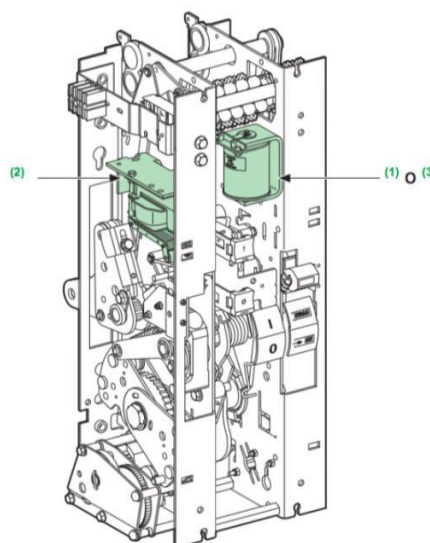


Figura 3.5.3. Circuito de apertura del interruptor automático LF.

El circuito de apertura del interruptor *LF* [figura 3.5.3.] está formado por los siguientes componentes:

- Bobina de apertura (a emisión de tensión) (Y01):
- Segunda bobina de apertura (a emisión de tensión) (Y02).
- Bobina de mínima tensión (YM).
- Bobina de bajo consumo de energía (Mitop).

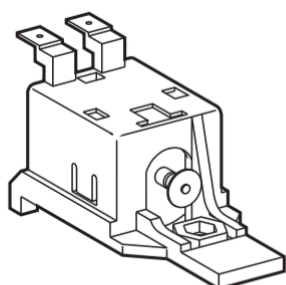


Figura 3.5.4. Bobina de apertura.

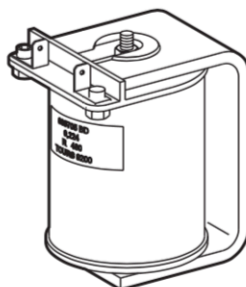


Figura 3.5.5. Bobina de mínima tensión.

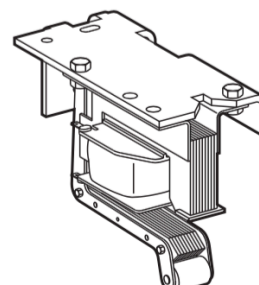


Figura 3.5.6. Bobina de bajo consumo.

La puesta en tensión de la bobina de apertura [figura 3.5.4.], Y01 e Y02, provoca la apertura instantánea del interruptor automático.

La bobina de mínima tensión [figura 3.5.5.], YM, provoca la apertura sistemática del interruptor automático cuando la tensión de alimentación es inferior al 35% de su tensión asignada, incluso si la reducción es de forma lenta y gradual.



Puede abrir el interruptor automático entre el 35% y el 70% de su tensión asignada. Cuando la bobina no está alimentada, el cierre manual o eléctrico del interruptor no es posible. El cierre será posible cuando la tensión de alimentación de la bobina alcanza el 85% de su tensión asignada.

La bobina de bajo consumo [figura 3.5.6.], *Mitop*, hace disparar el interruptor automático cuando el consumo se encuentra por debajo de un valor establecido.

El Interruptor automático LF ofrece la posibilidad de abrir o cerrar el interruptor de forma remota, mediante un mando a distancia con control remoto.

### 3.6. CONCLUSIONES.

La información proporcionada en este capítulo es necesaria para comprender cuál es la función del centro de distribución dentro de la red de media tensión. Y para entender el funcionamiento de las cabinas de media tensión que conforman esta parte de la instalación.

Tomando estas explicaciones y descripciones como base, en capítulos posteriores se ampliará la información sobre la protección *SEPAM*, elemento en torno al cual se va desarrollar el presente trabajo.



## CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: SEPAM 1000+ SERIE 40.

### 4.1. INTRODUCCIÓN.

El SEPAM es un relé de protección digital y modular, que se puede utilizar en redes de media tensión públicas e instalaciones industriales. Según el fabricante, se puede emplear para proteger subestaciones, transformadores, motores, generadores, juegos de barras y baterías de condensadores.

La serie 40 se puede emplear para proteger frente a fallos relacionados con la corriente, tensión y frecuencia, incluyendo protección direccional de falta a tierra y sobre corrientes de fase direccional.

### 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROTECCIÓN SEPAM SERIE 40.

#### 4.2.1. FUNCIONES DE PROTECCIÓN.

El Sepam Serie 40 incorpora varias funciones de protección, como la mayoría de los relés basados en microprocesador. A continuación, se va a detallar la función de protección que más interesante resulta para este trabajo, la de máxima intensidad de fase.

#### **Máxima intensidad de fase (código ANSI 50/51).**

Esta protección se encarga de controlar el valor de la intensidad que circula por una fase, actuando cuando el valor supera un máximo establecido.

Siguiendo la descripción de los códigos ANSI, el código 50 hace referencia a un relé instantáneo de sobreintensidad o de velocidad de aumento de intensidad, que es aquel que funciona instantáneamente con un valor excesivo de la intensidad. Y el código 51 hace referencia a un relé de sobreintensidad temporizado, es decir, un relé con una característica de tiempo inverso o de tiempo fijo que funciona cuando la intensidad de un circuito de corriente alterna sobrepasa un valor dado. [Suarez Creo]

El valor ajustado en el relé debe ser superior al valor de la corriente nominal, pero inferior a la corriente de cortocircuito. Cuando el valor de la corriente que circula por la línea supera dicho valor establecido en el relé, se produce la acción programada, normalmente la apertura del interruptor automático.

La protección de máxima intensidad de fase es tripolar, es decir, que se activa si una, dos o tres intensidades de fase alcanzan el umbral de funcionamiento. La alarma relativa a esta protección indica la o las fases que tienen un fallo.

Los relés de sobreintensidad temporizados se usan de una forma muy amplia para proteger frente a sobrecargas en distintas partes de la red y a diferentes elementos de esta, líneas, cables, transformadores...

La protección de máxima intensidad de fase está temporizada y la temporización puede ser: [Schneider Electric, Sepam serie 40]

- De tiempo independiente [figura 4.2.1.1]: el relé operará siempre en el mismo tiempo para todo valor de intensidad superior al ajustado en el propio relé.
- De tiempo dependiente [figura 4.2.1.2]: el relé operará en un tiempo que es función del valor de la corriente. De modo que cuanto mayor sea la intensidad, menor será el tiempo de actuación. [Paulino Montané]

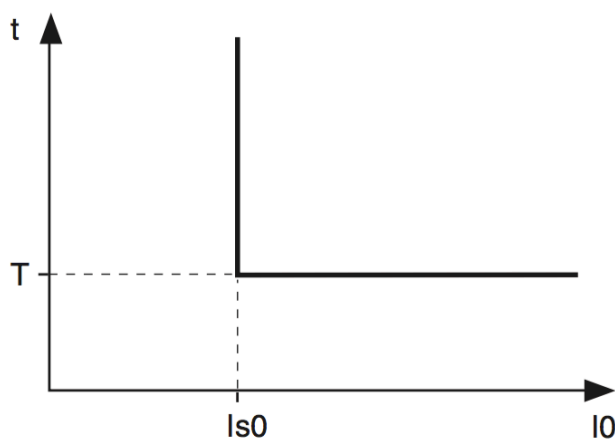


Figura 4.2.1.1. Curva de tiempo independiente.

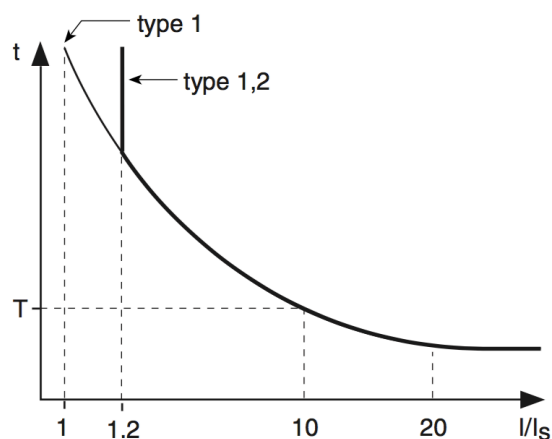


Figura 4.2.1.2. Curva de tiempo dependiente.

Este trabajo se va a centrar de forma especial en la temporización dependiente y en las curvas características CEI, porque tal y cómo se verá en el capítulo 7 *Análisis de la Situación Actual* estas son las características con las que se protege la red actualmente, y las que se tomarán como base para proponer mejoras respecto a la protección de la red.

Cabe señalar que el Sepam ofrece múltiples tipos de curvas, entre ellas están las IEEE o las IAC.

Según la CEI 60255-3 se establecen tres tipos de curvas características de actuación tiempo-corriente que son la normal inversa, la muy inversa y extremadamente inversa [figura 4.2.1.3.]. Estas curvas quedan definidas mediante la ecuación:

$$t(s) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} * \frac{T}{\beta}$$

La ecuación anterior define la curva de operación característica del relé y está relacionada con el tiempo de operación y con la corriente que circula por la línea.

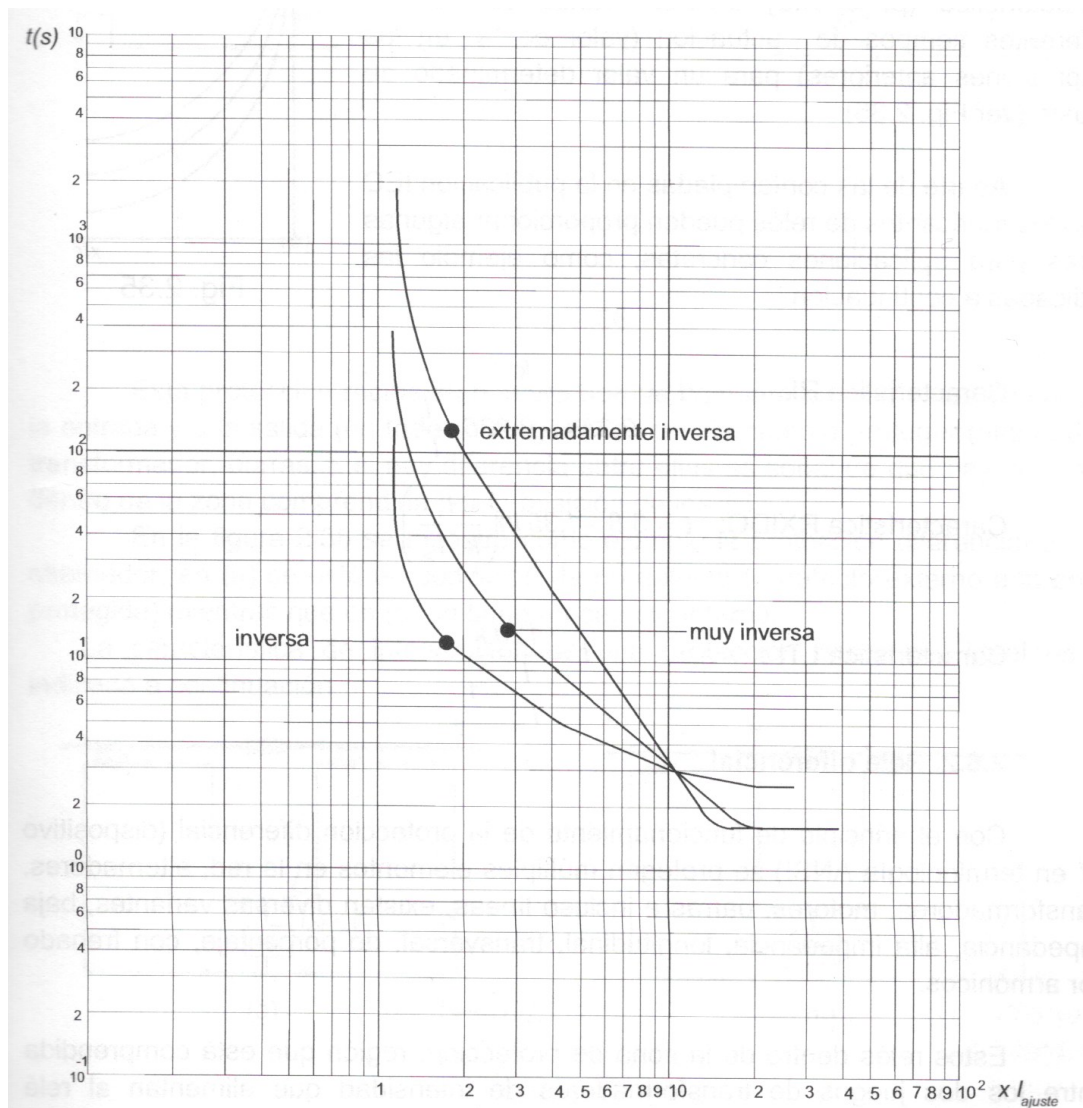


Figura 4.2.1.3. Curvas características CEI.



El exponente  $\alpha$  define el tipo de curva característica: inversa, muy inversa o extremadamente inversa. Para un cociente  $I/I_s$  y valor de  $\alpha$  dados, el tiempo de operación será mayor cuanto mayor sea  $k$ . Por tanto, dentro de una característica determinada,  $k$  define los tiempos de actuación, por ello se habla de tiempo corto, tiempo largo, etc. Los valores de  $\alpha$  y  $k$  están ya definidos y dependerán del tipo de curva característica, se pueden observar dichos valores en la tabla 4.2.1.1.

$I$  es la corriente que circula por la línea, tanto en condiciones de explotación normales como ante un falta, e  $I_s$  es el valor de la corriente de ajuste, cuyos valores varían entre 0,1 veces la  $I_n$  y 2,4 veces  $I_n$ .

En curvas de tiempo dependiente,  $I_s$  corresponde a la asíntota vertical de la curva, y se relaciona a priori con la corriente máxima que puede circular de forma permanente por la línea sin generar ningún problema. Ya sean problemas térmicos, de sobrecargas, de sobretensiones, etc.

En los relés de sobreintensidad electromagnéticos, debido a sus características constructivas y a su principio de funcionamiento, existe una corriente denominada corriente de arranque que determina el valor de la intensidad que hay que aplicar al relé para que comience a funcionar. Esta intensidad define un umbral a partir del cual va ser considerada la falta y a comenzar la temporización, lo que implica, que se permite un cierto nivel de sobreintensidad en permanencia.

En teoría la intensidad de arranque ha de ser igual a la corriente ajustada, aunque se admite una cierta tolerancia, comprendida entre:

$$I_{\text{arranque}} = 115 \% I_s \pm 10\%$$

En los relés digitales, puede conservarse este umbral de la corriente de arranque, aunque debido a las características de dichos aparatos, es posible que este rango sea lo menor posible.

El cociente  $I/I_s$  relaciona el valor de la corriente que circula para la línea y el valor de la intensidad de ajuste, por lo que podría establecerse que dicho cociente equivale a los múltiplos de la corriente de arranque. Este cociente es muy importante ya que los múltiplos de la corriente de arranque definen el eje de abscisas de la curva característica mientras que el eje de ordenadas se encuentra definido por el tiempo de actuación del relé de sobreintensidad.

A la hora de calcular el tiempo de actuación de la protección mediante la curva, y teniendo el valor del ajuste de temporización  $T$ ,  $I$  e  $I_s$  serán referidas al secundario del transformador de corriente para obtener así el valor de  $t$ .



En cambio, sí se calcula el valor de  $t$  mediante la ecuación matemática no será necesario realizar esta transformación, se podrá realizar el cálculo con ambos valores referidos al primario.

Para valores de  $I/I_s < 1$  el relé no reacciona, es decir, no arranca, ya que se encuentra por debajo del ajuste. Para valores de  $I/I_s \geq 1$  el relé comenzará a funcionar, aunque tal y cómo se explicaba anteriormente debido a sus características, es usual que lo haga para valores ligeramente superiores a la unidad, definiendo de esta forma el valor de intensidad de arranque y el umbral de la intensidad de arranque.

El término  $T/\beta$  hace referencia al factor multiplicador de tiempo, TMS, cuya función es la temporización de las curvas de disparo de tiempo dependiente.

Lo habitual es que un relé de sobreintensidad ofrezca toda una familia de curvas de actuación. Teniendo en cuenta los esfuerzos de selectividad con las protecciones situadas aguas arriba y aguas abajo del relé, se establece un valor de  $T$ , de ajuste de temporización, que corresponde al punto de funcionamiento de  $10I_s$ . Es decir,  $T$  define la curva de actuación escogida dentro de la familia de curvas de un relé de sobreintensidad una vez seleccionada la curva característica, inversa, muy inversa o extremadamente inversa.

El valor de  $\beta$  vendrá definido y dependerá de la curva característica elegida, este valor se encuentra en la tabla 4.2.1.1.

Curvas Características	$k$	$\alpha$	$\beta$
CEI Inversa A	0,14	0,02	2,97
CEI Muy Inversa B	13,5	1	1,5
CEI Extremadamente Inversa C	80	2,5	1

Tabla 4.2.1.1. Valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $k$  de las curvas CEI.





Para el caso de la protección de tiempo dependiente el Sepam Serie 40 establece dos tipos de curvas, la curva tipo 1, y la curva tipo 1.2, que se pueden observar en la figura 4.2.1.2. La principal diferencia es que la curva tipo 1.2 posee una asíntota vertical en este valor, mientras que la asíntota vertical de la curva tipo 1, se encuentra en 1. El tipo de curva, 1 o 1.2, vendrá definido por el propio Sepam en función de la curva característica elegida. Las curvas CEI son todas del tipo 1.

En definitiva, para establecer las características de un Sepam es necesario definir:

- La curva característica de actuación: inversa, muy inversa o extremadamente inversa.
- El valor de la intensidad de ajuste  $I_s$ .
- El valor del ajuste de temporización T.

La protección de máxima corriente de fase dispone de dos juegos de protecciones, el juego A y el juego B, respectivamente. De esta forma se pueden definir dos bancos de protecciones diferentes según la configuración de la red. Mediante parametrage es posible determinar el modo de basculamiento de un juego sobre otro: por telemando o por entrada lógica.

#### 4.2.2. FUNCIONES DE AUTOMATISMO.

Dentro de las múltiples funciones de automatismo que presenta el Sepam, el presente se va a centrar en el basculamiento del juego de ajuste, ya que permite bascular entre ambos juegos de protecciones. Característica que va a dotar a la red de distribución de una mayor flexibilidad.

##### **Basculamiento del juego de ajuste.**

Las protecciones de máxima corriente de fase, máxima corriente de tierra, máxima corriente de fase direccional y máxima corriente de tierra direccional disponen de dos juegos de ajuste, el juego A y el juego B.

Este basculamiento de un juego de ajuste a otro juego, permite adaptar las características de las protecciones al entorno eléctrico de la aplicación. Es global y se aplica por lo tanto al conjunto de los ejemplares de las protecciones antes mencionadas.

Por parametrage se determina el modo de basculamiento de los juego de ajuste, tal y como se observa en la figura 4.2.2.1. Para que el sistema bascule de un juego a otro la señal que le llega a dicho juego debe ser 1.

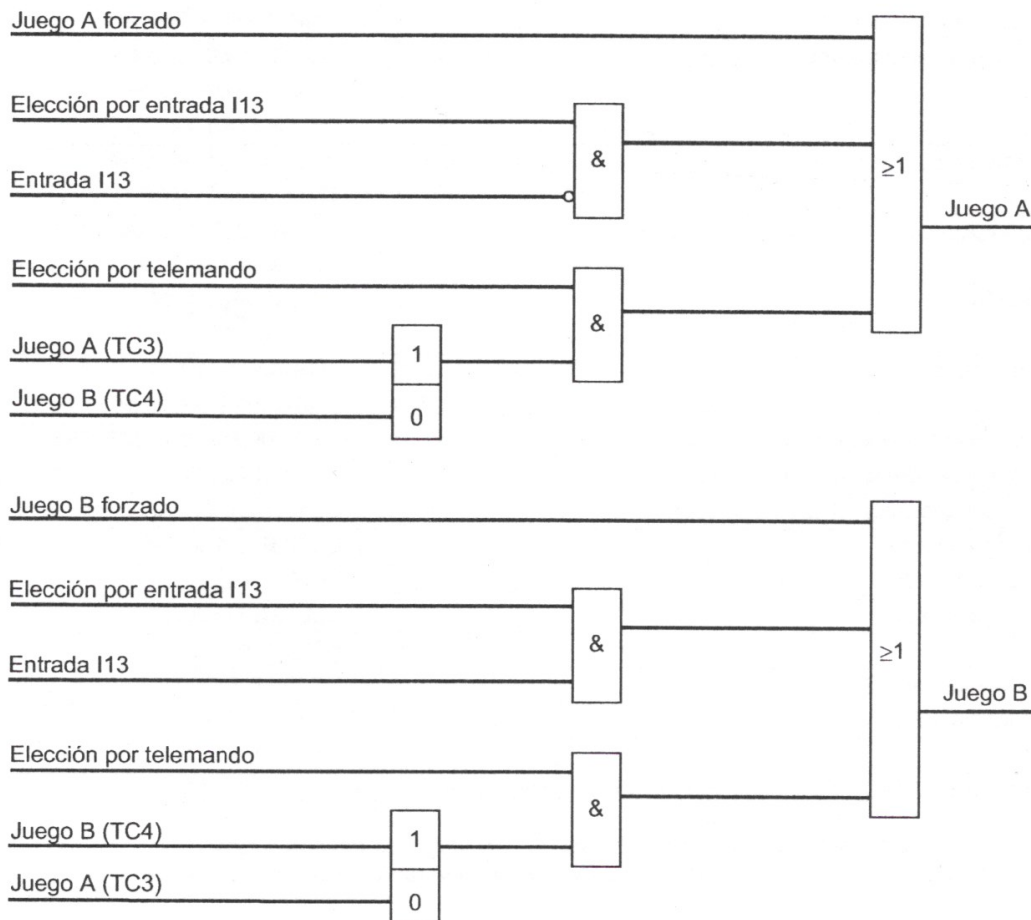


Figura 4.2.2.1. Basculamiento del juego de ajuste.

- Basculamiento en función de la posición de la entrada lógica I13, que será 0 para el juego A y 1 para el juego B. Cuando se activa la elección por entrada I13 y la señal I13 correspondiente (A o B), entonces se activa el juego de protecciones porque se cumple la condición *and*. En el caso del juego A la entrada está negada para transformar el 0 en 1.
- Basculamiento por telemando, siendo TC3 el juego A y TC4 el juego B. Dependiendo del juego de protecciones que se quiera utilizar, TC3 o TC4 será cero si no se quiere proteger la instalación con ese banco de protecciones o uno si es el banco que se quiere utilizar. La señal TC3 o TC4 junto con la señal de selección de telemando hace bascular al juego deseado, al cumplir la condición *and*.



- Forzando el basculamiento de un juego a otro. Esto se lleva a cabo mediante una única señal.

### 4.3. CONCLUSIONES.

En este capítulo se ha estudiado y expuesto las características del Sepam Serie 40 que son necesarias para proseguir con el trabajo.

En el presente capítulo se ha estudiado y comprendido cómo funciona la protección de máxima corriente de fase y cuáles son los valores necesarios para definir dicha protección. Y se ha profundizado también en cómo se realiza el basculamiento entre dos los juegos de protecciones.



## CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA. LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

### 5.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se va a presentar la red de media tensión, describiendo su estructura y las líneas que la constituyen.

Se detallarán las características de cada una de las líneas, como por ejemplo, el tipo de cable y sus correspondientes propiedades, o las longitudes de dichas líneas. A medida que se vayan conociendo los diferentes datos y características de las líneas, también se irán describiendo los centros de transformación que son alimentados por estas líneas, especificando los diferentes elementos que conforman cada centro, cabinas y transformaciones.

### 5.2. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

Tras el parque de 44kV y el centro de distribución, se encuentra la red de media tensión, que se encarga de distribuir la energía eléctrica por toda la factoría, suministrando energía eléctrica a las diferentes subestaciones de cada una de las áreas.

La red posee siete líneas de fuerza que conectan el centro de distribución con la subestación de la central térmica, dando lugar a una estructura topológica en bucle, que proporciona a la red una gran flexibilidad y seguridad. Durante el recorrido que realizan cada una de las líneas desde el centro de distribución hasta la subestación de la central térmica, se atraviesan los diferentes centros de transformación proporcionándoles así la energía eléctrica necesaria. Cabe señalar que en la factoría se denomina, de forma errónea, como subestaciones a los centros de transformación, por eso a partir de ahora se encontrarán las dos acepciones en el presente trabajo.

En el anexo 1 se encuentra el esquema unifilar de la red de media tensión en el que se puede comprobar todo lo que se va estudiar a continuación. Las líneas que conforman el bucle de media tensión son:



- CF-7: Parte de la cabina 2 del centro de distribución y llega hasta la cabina 1 de la subestación de la central térmica. Alimenta las subestaciones de Másticos y KTL.
- CF-6: Parte de la cabina 3 del centro de distribución y llega hasta la cabina 2 de la subestación de la central térmica. Alimenta las subestaciones de Soldadura-2B, Soldadura 1-B, Soldadura 1-A, Soldadura 2-A, Soldadura 2-C, Soldadura 2-D y Baterías.
- CF-5: Parte de la cabina 5 del centro de distribución y llega hasta la cabina 7 de la subestación de la central térmica. No alimenta ninguna subestación.
- CF-4: Parte de la cabina 9 del centro de distribución y llega hasta la cabina 8 de la subestación de la central térmica. Alimenta las subestaciones de la Central de Aguas y Prensas.
- CF-3: Parte de la cabina 10 del centro de distribución y llega hasta la cabina 13 de la subestación de la central térmica. Alimenta las subestaciones de Pintura-1C y Pintura-1A.
- CF-2: Parte de la cabina 13 del centro de distribución y llega hasta la cabina 14 de la subestación de la central térmica. Alimenta las subestaciones de Entregas, Montaje-1B o Bout, Montaje-1 A y Escapes o R.A.R.T.
- CF-1: Parte de la cabina 14 del centro de distribución y llega hasta la cabina 19 de la subestación de la central térmica. No alimenta ninguna subestación.

La distribución se realiza de forma subterránea a través de una galería. De ella van surgiendo ramales, también subterráneos, que alimentan las diferentes subestaciones, que suman un total de diecisiete, ubicadas en las distintas áreas.

Dicha galería se divide en dos tramos, el primero sale del centro de distribución atravesando longitudinalmente la factoría hasta la central térmica. El segundo tramo recorre transversalmente la factoría, teniendo como origen el punto en el cual atraviesa al primer tramo. Partiendo de este punto, que se encuentra en la avenida principal, próximo a la central térmica, montaje y pintura, la galería llega hasta el edificio de seguridad, en la entrada de la fábrica. De esta forma, gracias a la galería principal desde la que brotan ramales, se puede suministrar energía eléctrica a todos los centros de transformación.

La figura 5.2.1. es un plano de la fábrica en el que se puede observar por dónde discurre la galería principal y dónde se encuentran ubicados los centros de transformación.

A continuación se irá presentando cada una de las líneas de fuerza de la red de media tensión de forma detallada, junto con los centros de transformación a los que alimentan.





### 5.3. LÍNEA CF-1.

Esta línea sale de la cabina número catorce del centro de distribución y va directamente hasta la subestación de la central térmica, entrando por la cabina número diecinueve. En la figura 5.3.1. se puede observar un plano de la factoría, donde se ve por donde discurre la línea CF-1.

Esta línea se encarga de alimentar la parte de la instalación correspondiente al alumbrado, ya que suministra energía eléctrica directamente desde el centro de distribución al centro de transformación de la central térmica.

El cable es del tipo RHV de aluminio, de tensión 12/20 kV y constituido por tres cables de sección 400 mm<sup>2</sup>. Cada cable está formado por un conductor de aluminio de clase 2, según IEC 60228. En primer lugar, protegiéndole, aparece una pantalla de un material semiconductor extruido. Después se encuentra el aislamiento que es de polietileno reticulado (XLPE) y sobre el aislamiento una pantalla de las mismas características que la pantalla sobre el conductor, de semiconductor extruido. Después de esta segunda pantalla se encuentra una pantalla metálica de hilos de cobre. Por último la cubierta externa es de PVC. [HERSATENE] En la tabla 5.3.1. se presentan las características de este conductor [General Cable].

Tabla 5.3.1. Características técnicas del cable RHV de aluminio.

Sección. (mm <sup>2</sup> )	Peso. (kg)	Intensidades admisibles enterrados. (A)	Resistencia óhmica en corriente continua a 20°C. (ohm/km)	Inductancia (mH/km)	Reactancia a 50 Hz (ohm/km)	Capacidad (µF/km)
400	2.230	445	0,0778	0,322	0,101	0,346



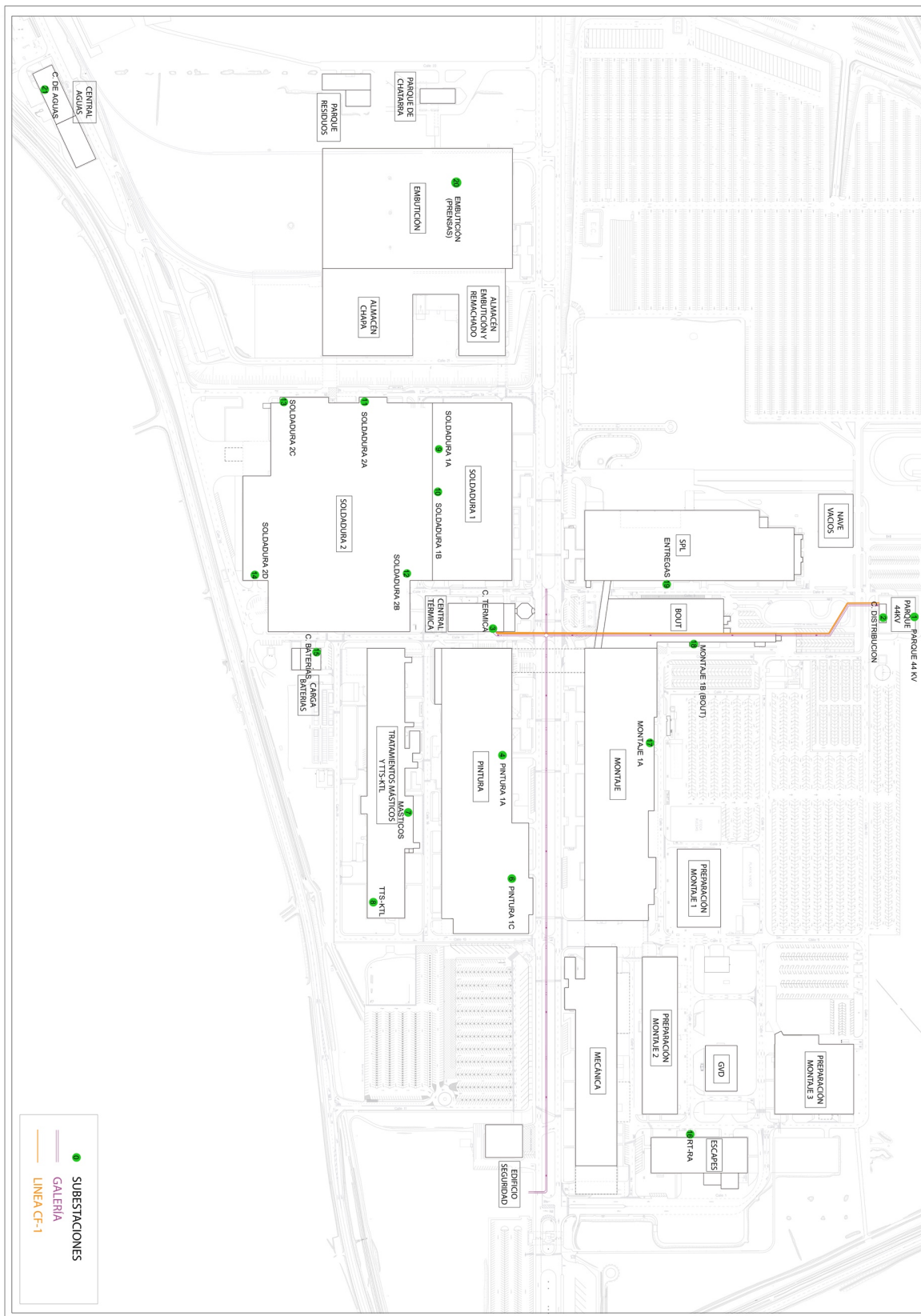


Figura 5.3.1. Plano de la factoría, con la línea CF-1.



## 5.4. LÍNEA CF-2.

Esta línea sale de la cabina número trece del centro de distribución y después de alimentar los centros de transformación de Entregas, Montaje 1B, Montaje 1A y Escapes, entra en el la subestación de la central térmica por la cabina número catorce cerrando así esta rama del bucle. En la figura 5.4.1. se puede observar el plano por donde discurre la línea CF-2.

Las longitudes de los diferentes recorridos de la línea CF-2 son:

- Del Centro de Distribución hasta Subestación de Entregas: 440 metros.
- Desde Entregas hasta Subestación de Montaje 1B: 210 metros.
- Desde Montaje 1B hasta la Subestación de Montaje 1A: 220 metros.
- Desde Montaje 1A hasta la Subestación de Escapes: 535 metros.
- Desde Escapes hasta la Subestación de la Central Térmica: 865 metros.

A continuación se describe de forma breve las subestaciones a las que alimenta la línea CF-2.

La Subestación de Entregas posee tres cabinas del modelo UNIVER-24 de METRON S.A. La primera cabina corresponde a la llegada de la línea CF-2 al centro de transformación desde la celda número trece del centro de distribución. Es una celda del tipo *metal enclosed* con un seccionador de calibre 630 A. La segunda cabina corresponde a la salida de la línea CF-2 de la subestación, y también es del tipo *metal enclosed* con un seccionador de calibre 630 A. Y por último la tercera cabina es la que se encarga de proteger y alimentar al transformador. Es una celda del tipo *metal clad* con un interruptor automático con una intensidad nominal de 630 A. La subestación de Entregas tiene un único transformador de 100 kVA de potencia conectado en triángulo-estrella cuya relación de transformación es 13,6 kV/400 V.

La Subestación de Montaje 1B o Bout, también posee tres cabinas del mismo modelo y marca que las de la subestación de Entregas. La primera cabina es para la llegada de la línea CF-2, la segunda cabina para la salida de la línea y la tercera para el transformador. Las tres celdas son del mismo tipo que las cabinas de la subestación descrita anteriormente y también son iguales los calibres de los seccionadores de las dos primeras. Lo que difiere con respecto a la subestación anterior es el calibre del interruptor de la cabina correspondiente al transformador, que en este caso es de 1250 A en vez de 630 A. El transformador es de 1600 kVA con una conexión triángulo- estrella y una relación de transformación 13,6 kV/400 V.



La Subestación de Montaje 1A es igual que la subestación de Montaje 1B. Posee tres cabinas del mismo modelo, marca y tipo que la subestación anterior y desempeñan la misma función, sólo que en esta subestación la intensidad nominal del interruptor de la cabina del transformador es de 630 A.

El transformador presente en esta subestación es también de 1600 kVA con una conexión triángulo- estrella y una relación de transformación igual a los dos anteriores.

La última subestación que alimenta la línea CF-2 es la Subestación de Escapes. Esta subestación es igual que la subestación de montaje 1A. Posee tres cabinas UNIVER-24 de METRON S.A. siendo de tipo *metal enclosed* las dos primeras y de tipo *metal clad* la última. Las dos primeras incorporan un seccionador de 630 A, mientras que la tercera posee un interruptor de calibre 630 A. También incorpora un transformador de 1600 kVA con una relación de transformación 13,6 kV/400 V y una conexión triángulo-estrella.



Figura 5.4.1. Plano de la factoría, con la línea CF-2.



## 5.5. LÍNEA CF-3.

Esta línea sale de la cabina número diez del centro de distribución y llega a la cabina número trece de la subestación de la central térmica, cerrando así el bucle. Durante este recorrido alimenta las subestaciones de Pintura 1C y Pintura 1A. En la figura 5.5.1. se observa un plano de la factoría en el que se puede ver donde se sitúa la línea CF-3.

El conductor de esta línea es el mismo que el de la línea CF-2, siendo sus características iguales a las mencionadas anteriormente.

Las longitudes de los diferentes recorridos que realiza la línea CF-3 son:

- Del Centro de Distribución hasta Subestación de Pintura 1C: 740 metros.
- Desde Pintura 1C hasta la Subestación de Pintura 1A : 240 metros.
- Desde Pintura 1A hasta la Subestación de la Central Térmica: 300 metros.

Ahora se va a realizar una descripción de las subestaciones que alimenta la línea CF-3.

La Subestación de Pintura 1C está formada por cuatro transformadores de potencia aparente 1600 kVA cada uno de ellos, con una relación de transformación de 13,6 kV/400 V y una conexión triángulo-estrella. Consta de seis celdas de media tensión, de modelo UNIVER-C de la marca ABB-METRON. La cabina número uno corresponde a la llegada de la línea CF-3 desde el centro de distribución, mientras que la cabina número dos es la correspondiente a la salida de la línea hacia la subestación de la central térmica. Estas dos celdas son del tipo *metal enclosed* y están compuestas por un seccionador de calibre 630 A. La función de las cuatro cabinas restantes es la de proteger a los cuatro transformadores presentes en esta subestación. Estas celdas son del tipo *metal clad*, y cada una de ellas incorpora un interruptor con una intensidad nominal de 1250 A.

La otra subestación que alimenta la línea CF-3 es la Subestación de Pintura 1A. Esta consta de dos transformadores de 1600 kVA, con una relación de transformación y una conexión idénticas a la de la subestación de Pintura 1C. La subestación está formada por cuatro celdas del modelo UNIVER-24 de la marca METRON S.A. Las cabinas número uno y número dos corresponden a la llegada de línea desde el centro de distribución y a la salida de la línea hacia la subestación de la central térmica, respectivamente. Estas dos cabinas del tipo *metal enclosed* están constituidas por un seccionador, con un calibre de 630 A. Las otras dos cabinas, se encargan de proteger los transformadores de la subestación, y para ello poseen un interruptor automático con una intensidad nominal de 630 A.





Figura 5.5.1. Plano de la factoría, con la línea CF-3.



## 5.6. LÍNEA CF-4.

Esta línea parte de la cabina número nueve del centro de distribución y tras alimentar a los centros de transformación de la Central de Aguas y de Prensas, entra en la subestación de la central térmica a través de la cabina número ocho. En la figura 5.6.1. se puede observar por donde transcurre la línea CF-4.

El tipo de cable que constituye esta línea es RHV de aluminio, formado por tres conductores de 400 mm<sup>2</sup> de sección. Por lo que es idéntico al cable de la línea CF-2, siendo iguales sus características a las descritas en ese apartado.

Las longitudes de los recorridos que realiza la línea CF-4 son:

- Desde Centro Distribución hasta Subestación Central Aguas: 1830 metros.
- Desde Central Aguas hasta Subestación Prensas: 1050 metros.
- Desde Prensas hasta Subestación Central Térmica: 830 metros.

La Subestación de la Central de Aguas consta de un único transformador de 1000 kVA conectado en triángulo- estrella con una relación de transformación 13,6 kV/400 V. La subestación consta de tres cabinas, del modelo UNIVER-24 de la marca METRON S.A. La primera cabina es la correspondiente a la entrada de la línea en la subestación y la segunda cabina la correspondiente a la salida de la línea. Ambas celdas son celdas del tipo *metal enclosed* y poseen un seccionador de 630 A de calibre. La tercera cabina, que es del tipo *metal clad*, se encarga de proteger y alimentar al transformador e incorpora un interruptor con un calibre de 630 A.

La Subestación de Prensas se puede subdividir en dos subestaciones diferenciadas. La primera subestación, la más antigua de las dos, está formada por dos transformadores 1600 kVA con una relación de trafos 13,6 kV/400 V y conectados en triángulo- estrella. Posee un total de cuatro cabinas de la marca METRON S.A. y de modelo UNIVER- 24. Las dos primeras cabinas se encargan de proteger la línea de llegada y salida del centro. Estas dos celdas son del tipo *metal enclosed* y poseen dos seccionadores de 630 A. Las otras dos cabinas que se encargan de proteger los dos transformadores son del tipo *metal clad*, e incorporan un interruptor con una intensidad nominal de 630 A.

La segunda subestación de Prensas es idéntica a la primera. Consta de dos trafos de igual potencia, conexión y relación de transformación y cuatro cabinas con idénticas funciones a las anteriores. La única diferencia es el modelo de las cabinas. En esta subestación las celdas son del modelo MCSset de Schneider, como las presentes en el centro de distribución con un poder de corte de 1250 A.





Figura 5.6.1. Plano de la factoría, con la línea CF-4.

## 5.7. LÍNEA CF-5.

La línea CF-5 parte de la cabina número cinco del centro de distribución y cierra el bucle a través de la cabina número siete de la subestación de la central térmica. Esta línea 5 se encarga de suministrar energía eléctrica desde el centro de distribución directamente a la central térmica. El cable de esta línea es del tipo RHV y cuenta con una longitud de 560 metros.

En la figura 5.7.1. se observa un plano de la factoría y él se aprecia el recorrido de la línea CF-5.



Figura 5.7.1. Plano de la factoría, con la línea CF-5.



## 5.8. LÍNEA CF-6.

La línea CF-6 parte de la cabina número tres del centro de distribución y cierra el bucle a través de la cabina número dos de la subestación de la central térmica. Durante su recorrido alimenta las subestaciones de Soldadura 2B, Soldadura 1B, Soldadura 1A, Soldadura 2A, Soldadura 2C, Soldadura 2D y Carga de Baterías.

En la figura 5.8.1. se observa un plano de la factoría y él se aprecia el recorrido de la línea CF-6.

En este línea coexisten tres tipos de cable diferentes.

El primer tipo de cable es aquel que recorre la línea desde el centro de distribución hasta la subestación de Soldadura 2B, desde el centro de transformación de Soldadura 1B hasta Soldadura 2C, y por ultimo desde la subestación de Baterías hasta la subestación de la Central Térmica, siendo el RHV, el mismo que en las líneas anteriores.

El segundo tipo de cable se encarga de conectar las subestaciones de Soldadura 2B y Soldadura 1B, y las subestación de Soldadura 2Dy Carga de Baterías. Este tipo de cable es el HEPRZ1 de aluminio, de tensión 12/20 kV [General Cable] y se encuentra constituido por tres cables de sección 400 mm<sup>2</sup>.

Cada cable HEPRZ1 está compuesto por un conductor de aluminio clase 2, según IEC 60228. Presenta una primera pantalla de un semiconductor extruido. Tras esta primera pantalla, existe un aislamiento de etilo-propileno (HEPR) y después de ella, una segunda pantalla de un semiconductor extruido. Por último, aparece una tercera pantalla formada a través de hilos de cobre y una cubierta externa de polietileno (PE). En la tabla 5.8.1. se describen las características del cable [General Cable].

Tabla 5.8.1. Características técnicas del cable HEPRZ1 de aluminio.

Sección. (mm <sup>2</sup> )	Peso. (kg)	Intensidades admisibles enterrados. (A)	Resistencia óhmica en corriente continua a 20°C. (ohm/km)	Inductancia (mH/km)	Reactancia a 50 Hz (ohm/km)	Capacidad (μF/km)
400	2.140	470	0,0778	0,311	0,098	0,472



El tercer cable que se encarga de conectar las subestaciones de Soldadura 1C y Soldadura 2D es del tipo RHZ1-OL, siendo su tensión 12/20 kV. Está formado por tres cables de sección 400 mm<sup>2</sup>.

Cada cable está formado por un conductor de aluminio de clase 2 y sobre él, aparece una pantalla de un semiconductor extruido para protegerle. Sobre esta pantalla se encuentra un aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y después aparece una segunda pantalla de semiconductor extruido. Por último se coloca una pantalla metálica formada por hilos de cobre y una cubierta externa de polietileno (PE). En la tabla 5.8.2. se observan las características del cable [General Cable].

Tabla 5.8.2. Características técnicas del cable RHZ1- OL.

Sección. (mm <sup>2</sup> )	Peso. (kg)	Intensidades admisibles enterrados. (A)	Resistencia óhmica en corriente continua a 20°C. (ohm/km)	Inductancia (mH/km)	Reactancia a 50 Hz (ohm/km)	Capacidad (μF/km)
400	2.230	445	0,0778	0,322	0,101	0,346

A continuación se muestran las longitudes de los recorridos que realiza la línea CF-6 y los diferentes tipos de cables presentes en cada uno de ellos

- Del Centro de Distribución hasta CT, centro de transformación, Soldadura 2B: 650 metros, cable RHV.
- Desde Soldadura 2B hasta CT Soldadura 1B: 135 metros, cable HEPRZ1.
- Desde Soldadura 1B hasta CT Soldadura 1A: 150 metros, cable RHV.
- Desde Soldadura 1A hasta CT Soldadura 2A: 165 metros, cable RHV.
- Desde Soldadura 2A hasta CT Soldadura 2C: 150 metros, cable RHV.
- Desde Soldadura 2C hasta CT Soldadura 2D: 476 metros, cable RHZ1.
- Desde Soldadura 2D hasta CT Baterías: 240 metros, cable HEPRZ1.
- Desde Carga Baterías hasta CT Central Térmica: 280 metros, cable RHV.

La principal característica de la línea CF-6 es que alimenta las subestaciones de Soldadura. Estas subestaciones no sólo están formadas por los transformadores de fuerza, como todas las subestaciones descritas hasta ahora, si no que también cuentan con los transformadores de soldadura. La misión de estos transformadores es alimentar a los robots encargados de realizar la soldadura.



La Subestación de Soldadura 2B está formada por tres transformadores de soldadura y un transformador de fuerza, cada uno de ellos de 1600 kVA de potencia aparente. Su relación de transformación es de 13,6 kV/400 V y están conectados en triángulo- estrella. La subestación está constituida por seis cabinas de media tensión MCSet de la marca Schneider Electric, de características idénticas a las del centro de distribución. Las cabinas número 1 y 2 correspondientes a la llegada y a la salida de la línea CF-6 del centro de transformación poseen un seccionador de calibre 1250 A, mientras que el resto de cabinas están equipadas con un interruptor automático de intensidad nominal 1250 A.

La Subestación de Soldadura 1B está formada por un transformador de soldadura de 1600 kVA de potencia aparente, conectado en triángulo- estrella y con una relación de transformación de 13,6 kV/400 V. Esta subestación está compuesta por tres cabinas de la marca METRON S.A. y del modelo UNIVER -24. Las cabinas de llegada y de salida del centro de transformación son del tipo *metal enclosed* con un seccionador de calibre 630 A, y la cabina que protege al transformador es el tipo *metal clad* dotada de un interruptor automático de 630 A de intensidad nominal.

La Subestación de Soldadura 1A está equipada con dos transformadores, un de soldadura y otro de fuerza. El trafo de fuerza posee una potencia aparente de 1000 kVA mientras que el trafo de soldadura posee una potencia aparente de 1600 kVA, ambos transformadores se encuentran conectados en estrella- triángulo con una relación de transformación de 13,6 kV/400 V. Está constituida por cuatro cabinas de la marca METRON S.A. del modelo UNIVER-24. Las dos primeras cabinas de la subestación, las correspondientes a la llegada y a la salida de la línea de centro de transformación, poseen un seccionador de 630 A de calibre, mientras que las cabinas que protegen los transformadores cuentan con un interruptor de intensidad nominal 630 A.

La Subestación de Soldadura 2A está formada por dos transformadores de soldadura de 1600 kVA cada uno de potencia aparente. Se encuentran conectados en triángulo- estrella y poseen una relación de transformación 13,6 kV/400 V. Las cabinas que se encuentran en esta subestación son del modelo UNIVER-24 de la marca METRON S.A. Las cabinas uno y dos de la subestación poseen un seccionador de 630 A de calibre, mientras que las cabinas que protegen los transformadores cuentan con un interruptor de 630 A de intensidad nominal.



La Subestación de Soldadura 2C está constituida por dos transformadores de soldadura de 1600 kVA de potencia aparente cada uno, conectados en triángulo-estrella y con relación de transformación 13,6 kV/400 V. Las cabinas de entrada y de salida de la línea del centro de transformación son de la marca ABB-METRON pero en esta ocasión son del modelo UNIVER-C, dotadas con un seccionador de 630 A de calibre.

La cabina de protección del transformador 1 de soldadura es idéntica a las dos anteriores, pero equipada con un interruptor automático de 1250 A de intensidad nominal en vez de con un seccionador. La cabina de protección del segundo transformador es del modelo UniGear ZS1 de ABB-METRON, con un interruptor automático de las mismas características que el mencionado anteriormente.

La Subestación de Soldadura 2D está formada por tres transformadores de soldadura y un transformador de fuerza, de 1600 kVA de potencia aparentes cada uno de ellos, con una relación de transformación 13,6 kV/400 V y conectados en triángulo-estrella. El centro cuenta con un total de seis cabinas del modelo MCSet de Schneider Electric. Las dos primeras son las encargadas de proteger la llegada y salida de la línea CF-6 del centro de transformación mediante un seccionador de calibre 1250 A. Las cuatro restante, encargadas de proteger a los cuatro transformadores, están equipadas con un interruptor automático de 1250 A.

La última subestación que alimenta la línea CF-6 es la de Carga de Baterías. Esta está formada por un transformados de fuerza de 1000 kVA, de características idénticas a los mencionados con anterioridad. Está constituido por tres cabinas de media tensión UNIVER-24 de METRON S.A. Los seccionadores de las cabinas uno y dos tienen un calibre de 630 A mientras que la cabina de protección del trafo posee un interruptor automático con una intensidad nominal de 630 A.





Figura 5.8.1. Plano de la factoría, con la línea CF-6.





## 5.9. LÍNEA CF-7.

La línea CF-7 parte de la cabina número dos del Centro de Distribución, alimenta a las subestaciones de Másticos y de TTS-KTL y entra en la subestación de la central térmica por la cabina número uno cerrando de esta forma el bucle.

En la figura 5.9.1. se observa un plano de la factoría, en el que se puede identificar por donde discurre la línea CF-7.

El cable de esta línea es del tipo RHV de aluminio, formado por tres conductores de 400 mm<sup>2</sup> de sección. Es el mismo tipo de cable que el de las líneas anteriores estudiadas por lo que sus características son idénticas.

Las distancias entre las diferentes subestaciones son:

- Del Centro de Distribución hasta Subestación de Másticos: 810 metros.
- Desde Másticos hasta Subestación de TTS-KTL: 180 metros.
- Desde TTS-KTL hasta Subestación de la Central Térmica: 500 metros.

La Subestación de Másticos está formada por tres transformadores de fuerza, de 1600 kVA de potencia aparente, conectados en triángulo- estrella y con una relación de transformación de 13,6 kV/400 V. La subestación posee cinco cabinas MCSet de Schneider Electric, dotadas con un interruptor automático con una intensidad nominal de 1250 A en el caso de las cabinas que se encargan de proteger a los transformadores, y con un seccionador del mismo calibre en el caso de las cabinas de entrada y salida de la línea del centro.

La Subestación de TTS-KTL está constituida por seis transformadores de fuerza de 600 kVA cada uno, con la misma relación de transformación y conectados de la misma forma que en la subestación de Másticos. Esta subestación posee un total de ocho cabinas del modelo UNIVER-C de A.B.B. METRON. Las cabinas correspondientes a la llegada y a la salida de la línea de la subestación cuentan con un seccionador de calibre de 1250 A, el resto de las cabinas, las correspondientes a la protección de los transformadores, posee un interruptor automático de 1250 A.



Figura 5.9.1. Plano de la factoría, con la línea CF-7.



## 5.10. CONCLUSIONES

La información, descripciones y datos proporcionados en este capítulo serán necesarios en posteriores apartados del trabajo, para realizar los cálculos precisos que permitan estudiar la solución actual en cuanto a la protección de la instalación se refiere y si se pudiera, proponer posibles mejoras.

Este apartado facilita todos los datos y valores indispensables para realizar dichos cálculos. Algunos han sido obtenidos in situ consultando las correspondientes placas de características o realizando pruebas, mientras que otros se adquirieron consultando catálogos o manuales. Estos últimos valores se dan por válidos ya que han sido contrastados.



## CAPÍTULO 6: DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE LA FACTORÍA: EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA.

### 6.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se va a describir el centro de transformación de la central térmica, parte esencial en la instalación que se encarga de la distribución de la energía eléctrica por toda la factoría. Se explicarán también los elementos que forman el centro de transformación, las cabinas de media tensión. Detallando las partes que lo constituyen, su funcionamiento y sus características técnicas. Por último se describirá la topología del centro de transformación.

### 6.2. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA.

Tras la red de media tensión se encuentra la subestación de la central térmica [figura 6.2.1.].



Figura 6.2.1. Centro transformación central térmica.



Esta subestación actúa como un espejo del centro de distribución, siendo el otro nodo de la red. Se encarga de cerrar el bucle formado por las diferentes líneas de la red de media tensión, proporcionando así flexibilidad y seguridad a la red de distribución.

El centro de transformación está formado por un total de veinte cabinas de media tensión. En la figura 6.2.2. se muestra el esquema unifilar del centro de transformación de la central térmica.

La subestación de la central térmica cuenta con un total de siete transformadores. Tres de los transformadores presentes en la subestación son transformadores de fuerza (trafos 1F, 2F y 3F) con una potencia aparente de 1600 kVA cada uno, con una relación de transformación de 13,6 kV/400 V y conectados en triangulo-estrella. También incorporan un trafo de intensidad para proteger el neutro del transformador, para evitar así corrientes de fuga a tierra a través del neutro, siendo su relación de transformación 1600/5 A.

Los cuatro transformadores restantes son los transformadores que alimentan a los compresores (trafos 2C, 3C, 4C y 5C), porque la central térmica también se encarga de producir el aire comprimido necesario en el proceso de fabricación. La potencia aparente de estos transformadores es de 1000 kVA, su relación de transformación es 13,6 kV/3300 V, y también se encuentran conectados en triangulo-estrella. Al igual que los trafos de fuerza, estos trafos también posee un trafo de intensidad para el neutro, con una relación de transformación 250/5 A.

Dependiendo de la función de las cabinas, se encuentran tres tipos diferentes de cabinas en la subestación de la central térmica. En primer lugar, están las cabinas correspondientes a la llegada de la línea a la subestación. En segundo lugar, se encuentran las cabinas correspondientes a la alimentación de los transformadores, que serán diferentes dependiendo de la instalación a la que alimenten. Y en tercer lugar, las cabinas de remonte y acoplamiento de barras.

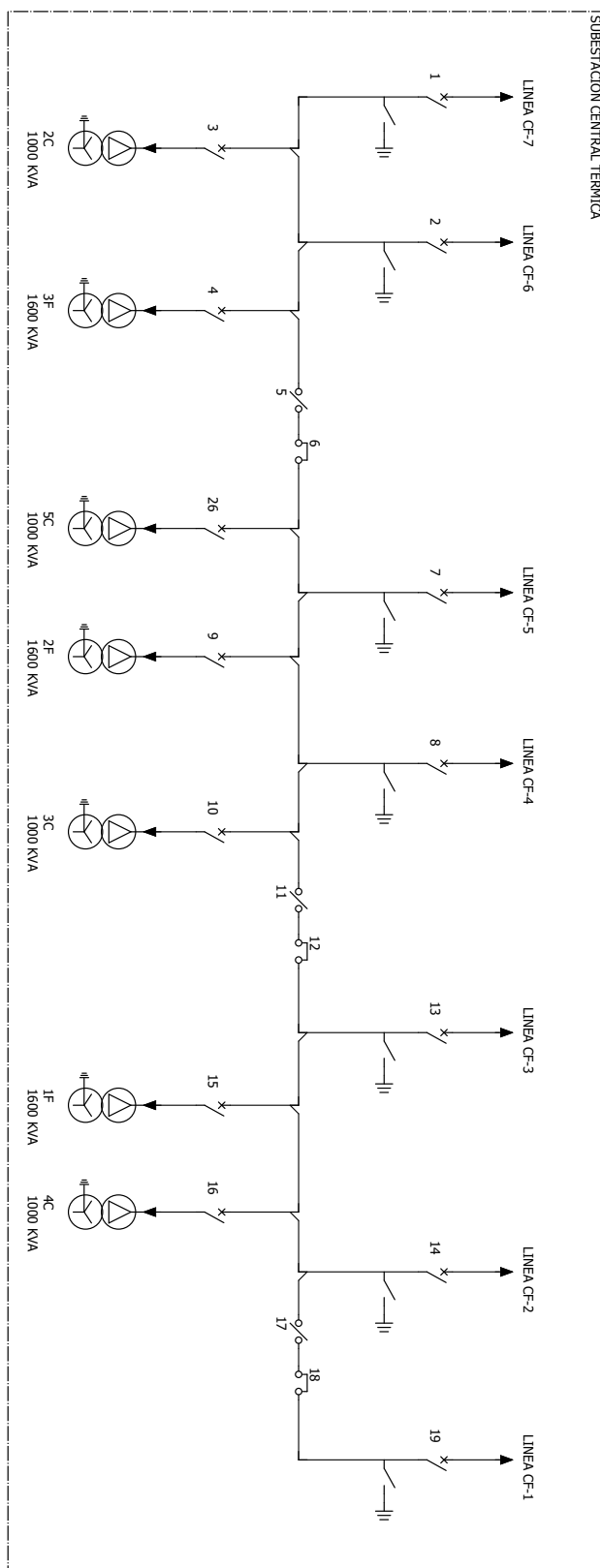


Figura 6.2.2. Esquema unifilar del centro de transformación de la central térmica.





Las cabinas que forman la subestación de la central térmica son:

1. Cabina 1: Llegada Línea CF-7.
2. Cabina 2: Llegada Línea CF-6.
3. Cabina 3: Protección Transformador 2C.
4. Cabina 4: Protección Transformador 3F.
5. Cabina 5: Acoplamiento de barras.
6. Cabina 6: Remonte de barras.
7. Cabina 7: Llegada Línea CF-5.
8. Cabina 8: Llegada Línea CF-4.
9. Cabina 9: Protección Transformador 2F.
10. Cabina 10: Protección Transformador 3C.
11. Cabina 11: Acoplamiento de barras.
12. Cabina 12: Remonte de barras.
13. Cabina 13: Llegada Línea CF-3.
14. Cabina 14: Llegada Línea CF-2.
15. Cabina 15: Protección Transformador 1F.
16. Cabina 16: Protección Transformador 4C.
17. Cabina 17: Acoplamiento de barras.
18. Cabina 18: Remonte de barras.
19. Cabina 19: Llegada Línea CF-1.
20. Cabina 26: Protección Transformador 5C.

### 6.3. LAS CABINAS.

La subestación de la central térmica se encuentra en proceso de renovación de las cabinas, por lo que coexisten dos modelos diferentes de cabinas [figura 6.3.1.].

Todas las cabinas que se encuentran entre las cabinas uno y doce, ambas incluidas, son iguales que las cabinas del centro de distribución. Son cabinas del tipo MCSet 2 de 17,5 kV de Schneider Electric.

Las cabinas de llegada serán del tipo AD2 y las de acoplamiento de línea del tipo CL2-GL2. Las características técnicas de las cabinas serán idénticas a las del centro de distribución:

- Tensión asignada: 17,5 kV.
- Poder de corte: 25 kA.
- Corriente asignada: 1250 A.
- Tensión de ensayo: 38 kV 1min.
- Tensión de pico: 95 kV.
- Intensidad de cresta admisible: 63 kA.

Las cabinas restantes, desde la 13 hasta la 19 ambas incluidas, son del modelo UNIVER-24 de METRON S.A. Su tensión de servicio es de 24 kV y su intensidad nominal de 1250 A [Metron BBC].

Las cabinas de protección de trafo son de tipo *metal clad* y las de llegada de línea de tipo *metal enclosed*, ambas poseen una envoltura metálica, pero las primeras poseen unas características más avanzadas [Luis E. Garcia].

Todas las cabinas están equipadas seccionador en carga tripolar y sus características técnicas son:

- Intensidad nominal en las cabinas de remonte de barras: 1250 A.
- Intensidad nominal en las cabinas de llegada y protección de transformador: 630 A.
- Intensidad de corta duración: 25 kA.
- Intensidad nominal de cresta: 60 kA.
- Capacidad de cierre contra cortocircuito: 60 kA.



Figura 6.3.1. Cabinas del centro de transformación de la central térmica.



Las cabinas UNIVER-24 están basadas en el contenedor CBE, que es una unidad funcional que integra el aparato principal. El seccionador de puesta a tierra y los elementos de seguridad asociados.

Las cabinas están divididas en diferentes compartimentos, segregados entre sí mediante paneles metálicos [figura 6.3.2.].

Compartimentos de alta tensión:

- Compartimento del interruptor (B): diseñado para contener el interruptor automático seccionable sobre carro. El interruptor siempre en ejecución seccionable puede encontrarse en tres posiciones: insertado o enchufado (circuito principal y circuitos auxiliares conectados), seccionado y extraído (circuito principal y circuitos auxiliares desconectados).
- Compartimento de línea (C): este compartimento podrá ser accesible desde el frente o desde la parte posterior de la celda y está diseñado para contener los monobloques de contactos fijos de salida, los trafos de intensidad, el seccionador de puesta a tierra y la conexión de los cables de potencia.
- Compartimento trafa de tensión (E): aquí se ubica el transformador de tensión.
- Compartimento de barras (D): diseñado para contener las barras principales y los monobloques aislantes de contactos fijos de entrada al interruptor. Cuando se forma un cuadro por asociación de celdas, los compartimentos de barras forman un único conducto a lo largo del conjunto de celdas, pasando las barras de un compartimento al siguiente sin barrera aislante.

Compartimentos de baja tensión:

- Compartimento de control (A): aloja todos los elementos auxiliares requeridos por los sistemas funcionales, así como las regletas para el embornamiento de los cables auxiliares externos. También comprende los instrumentos de medida, relés de protección, manipuladores y conmutadores de control y mando, etc.
- Compartimento de interconexión de circuitos auxiliares (F).

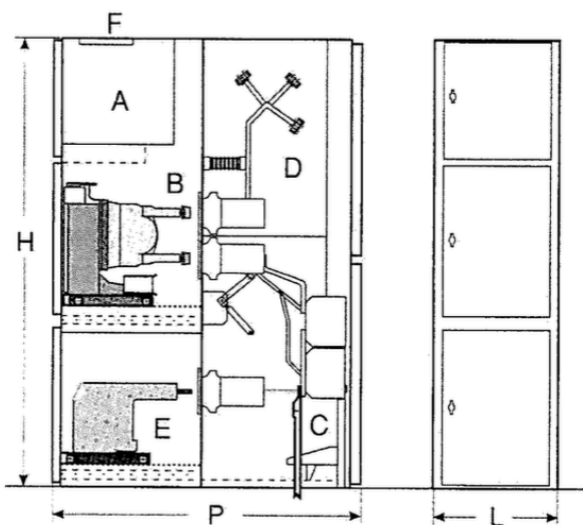


Figura 6.3.2.a Esquema de las cabinas UNIVER-24.

A continuación se presenta el esquema unifilar de la cabina UNIVER-24 de METRON [figura 6.3.2].

1. Llegada de la línea.
2. Interruptor automático.
3. Transformador de intensidad.
4. Seccionador de puesta a tierra.
5. Transformador de tensión.
6. Salida de la cabina.

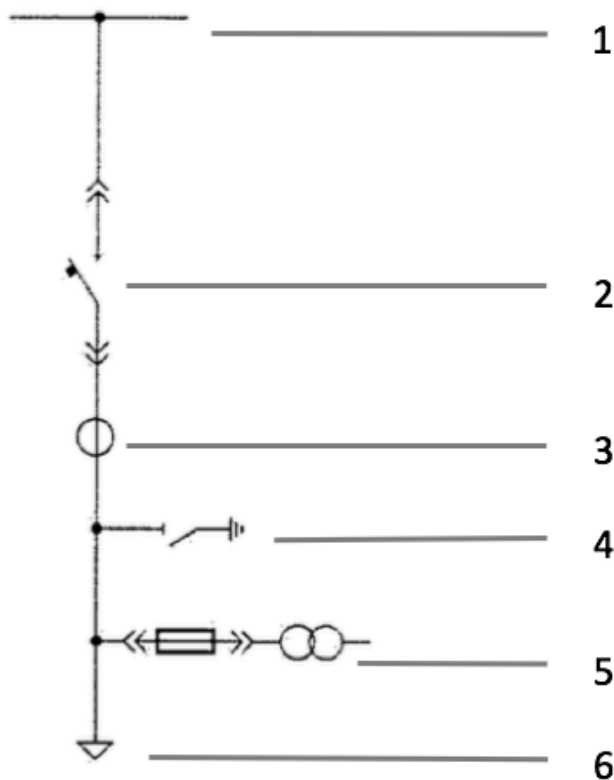


Figura 6.3.2.b Esquema unifilar cabina UNIVER-24.



## 6.4. ESTRUCTURA TOPOLÓGICA Y FORMA DE EXPLOTACIÓN DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.

Gracias a la topología de la subestación de la central térmica, la alimentación de la misma se podrá realizar de múltiples formas. La manera en que se alimente a dicha subestación dependerá del estado de los interruptores de las cabinas, tanto de las de llegada de línea como de las de remonte y acoplamiento de barras, dando lugar a diferentes vías de alimentación, según se encuentren abiertos o cerrados.

Como se mencionaba anteriormente, la subestación de la central térmica, está formada por tres juegos de cabinas de acoplamiento y remonte de barras. El primer juego está ubicado entre las líneas CF-6 y CF-5, el segundo juego se encuentra entre las cabinas CF-4 y CF-3 y el tercer juego entre las líneas CF-2 y CF-1.

De esta forma, se puede considerar que la subestación de la central térmica estará constituida por un solo nodo cuando los tres juegos se encuentren cerrados. Por lo tanto, sólo será necesario que se encuentre en posición de cerrado uno de los interruptores de las cabinas de llegada de línea mientras estén todos los juegos de acoplamiento y remonte de barras cerrados.

Así mismo, se podrá considerar que la subestación estará formada por dos nodos independientes cuando un juego se encuentre abierto mientras que los otros dos permanecen cerrados. En este caso será necesario que se encuentren cerrados dos interruptores de las cabinas de llegada de cada uno de los nodos para poder alimentar la subestación. De este modo, la subestación estará compuesta por tres nodos cuando dos juegos están abiertos permaneciendo el otro cerrado y por último, estará configurada por cuatro nodos cuando los tres juegos se encuentren abiertos.

Gracias a esta configuración se puede alimentar la subestación de la central térmica de diversas formas, aumentado de esta forma el grado de flexibilidad de la instalación pero también asegurando la continuidad del suministro, ya que ante un fallo en una de líneas que alimenten la subestación se podrá cambiar rápidamente a otra.

La subestación de la central térmica juega un papel muy importante en la distribución de la energía eléctrica por la red, ya que se encarga de cerrar el bucle. Gracias a esta topología o configuración de la red de distribución es posible alimentar las líneas de la red de media tensión no sólo través del centro de distribución, si no también a través de la subestación de la central térmica.

Por eso, se define la subestación de la central térmica como el espejo del centro de distribución, porque puede desempeñar la misma función. Aunque la explotación de la red se hace siempre de forma radial.



## 6.5. CONCLUSIONES.

Es necesario conocer la estructura topológica y las diferentes opciones que existen respecto a la forma de explotación del centro de transformación de la central térmica. Debido a que su característica topología, que proporciona a la red una gran flexibilidad y asegura la continuidad del suministro, permitirá plantear posibles mejoras del sistema de protección de la red de media tensión.







## CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE PROTECCIÓN ACTUAL.

### 7.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se va a describir cual es el estado actual de la red de distribución, cómo se está explotando, qué cabinas del centro de distribución se encuentran abiertas y cuales cerradas, cuáles son las líneas que están en uso y cómo se alimentan cada uno de los centros de transformación que suministran energía eléctrica a la factoría. También se va a realizar un estudio y un análisis del ajuste y programación actual del sistema de protección de la red de media tensión.

### 7.2. FORMA DE EXPLOTACIÓN DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

#### 7.2.1. EL CENTRO DE DISTRIBUCIÓN.

En la actualidad la red de distribución está alimentada por los transformadores 1 y 2 del parque de 44 kV, quedando el transformador número 3 de reserva. Por lo que los interruptores de las cabinas 4, 5 y 11 del centro de distribución se encuentran cerrados, suministrando así energía eléctrica a dicho centro [figura 7.2.1.1].

En el centro de distribución se encuentran cerrados los interruptores de todas las cabinas:

- Cabina 2: Línea CF-2.
- Cabina 3: Línea CF-6.
- Cabina 5: Línea CF-5.
- Cabina 9: Línea CF-4.
- Cabina 8: Acoplamiento de barras.
- Cabina 10: Línea CF-3.
- Cabina 13: Línea CF-2.
- Cabina 14: Línea CF-1.

Por lo tanto aunque la estructura topológica de la red es en su conjunto un bucle, en realidad se explota de forma radial, alimentando toda la red desde el centro de distribución. Esto se puede observar en la figura 7.2.1.1. que es un esquema unifilar en el que los interruptores se encuentran dibujados abiertos o cerrados dependiendo de cómo se encuentren en la realidad.

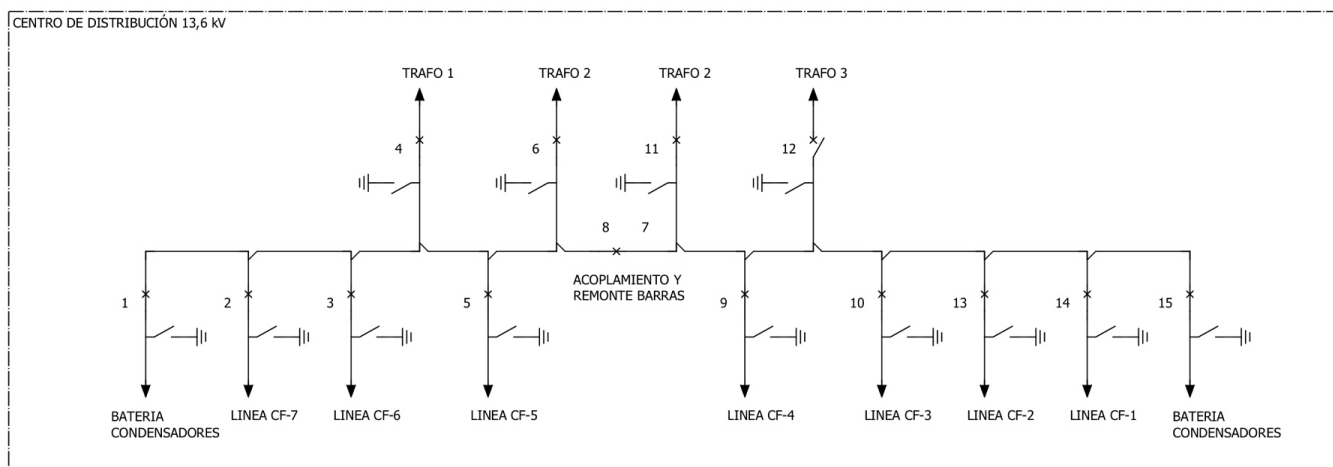


Figura 7.2.1.1: Estado del centro de distribución.

### 7.2.2. EL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA.

En el centro de transformación de la central térmica se encuentran cerrados todos los interruptores de las cabinas que alimentan o protegen a los transformadores: [figura 7.2.2.1]

- Cabina 3: Protección del Transformador 2C.
- Cabina 4: Protección del Transformador 3F.
- Cabina 9: Protección del Transformador 2F.
- Cabina 10: Protección del Transformador 3C.
- Cabina 15: Protección del Transformador 1F.
- Cabina 16: Protección del Transformador 4C.
- Cabina 26: Protección del Transformador 5C.

Y también se encuentran cerrados los interruptores de las siguientes cabinas:

- Cabina 7: Llegada de la línea CF-5. A través de esta línea se alimenta el centro de transformación de la central térmica. Dicha línea sale del centro de distribución y llega directamente hasta la central térmica..
- Cabina 19: Llegada de la línea CF-1. De esta forma se alimenta la parte la instalación correspondiente al alumbrado de la factoría.

Respecto a las cabinas de remonte y acoplamiento de barras existentes en el centro de transformación de la central térmica, tienen cerrados sus interruptores las cabinas 5 y 11, y se encuentra abierto el interruptor de la cabina 17.

De esta manera, existen en el centro de transformación dos juegos de barras independientes, uno de los juegos pertenece a la parte de la red de media tensión correspondiente a la fuerza, y el otro juego a la parte del alumbrado.

El resto de los interruptores de las cabinas del centro de transformación de la central térmica se encuentran abiertos:

- Cabina 1: Llegada de la línea CF-7.
- Cabina 2: Llegada de la línea CF-6
- Cabina 8: Llegada de la línea CF-4.
- Cabina 13: Llegada de la línea CF-3.
- Cabina 14: Llegada de la línea CF-2.

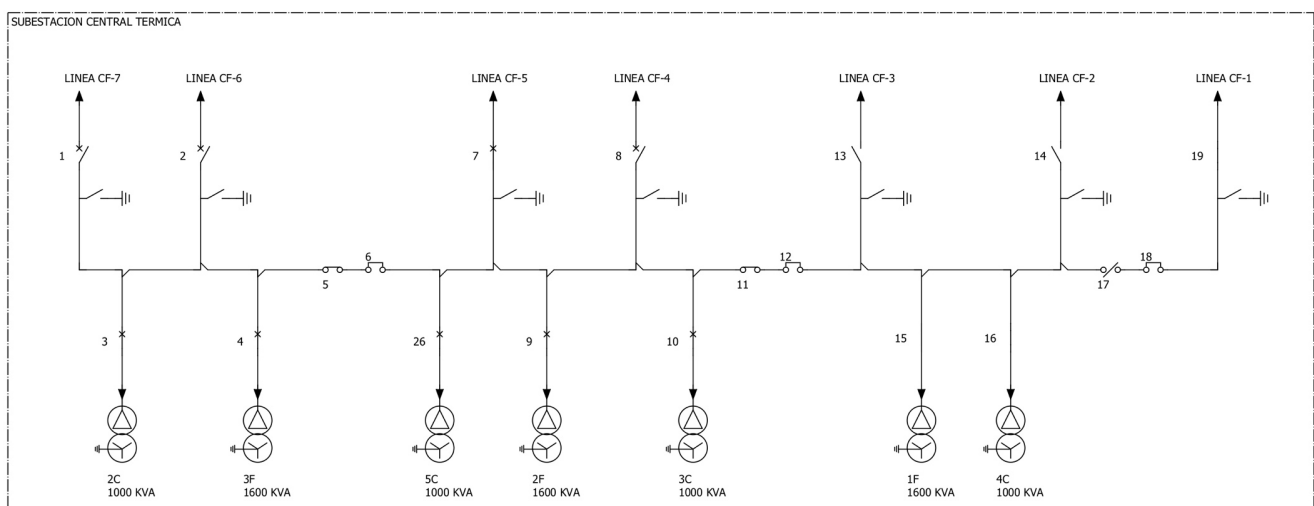


Figura 7.2.2.1: Estado del centro de transformación de la central térmica.

### 7.2.3. LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

Los interruptores de las cabinas de llegada y salida de línea del resto de los centros de transformación que conforman la red de media tensión se encuentran cerrados. Realizándose así una explotación de la instalación de forma radial.

Dependiendo del estado de los interruptores de las cabinas del centro de distribución y del centro de transformación de la central térmica, se obtienen diferentes configuraciones de la red de distribución.



De esta forma se puede alimentar eléctricamente a los centro de transformación que forman la red de múltiples maneras.

Debido a la configuración actual de estos dos nodos de la red (el centro de distribución y la central térmica) y al estado de los interruptores de llegada y salida de línea de los diferentes centros de transformación, estos se alimentan de la siguiente manera (ver esquema del anexo 2):

- Centro de transformación de Másticos: se alimenta a partir de la cabina número dos del centro de distribución.
- Centro de transformación de TTS-KTL: recibe la energía eléctrica a través del centro distribución, después de haber alimentado a la subestación de Másticos.
- Centro de transformación de Soldadura 2B: se alimenta eléctricamente a partir de la cabina tres del centro de distribución.
- Centro de transformación de Soldadura 1B: se alimenta a través del centro de distribución, después de haber suministrado energía eléctrica a la subestación de Soldadura 1B.
- Centro de transformación de Soldadura 1A: recibe la energía eléctrica del centro de distribución, después de alimentar las subestaciones de Soldadura 2B y Soldadura 1B.
- Centro de transformación de Soldadura 2A: la energía eléctrica con la que se alimenta procede del centro de distribución, que llega hasta esta subestación tras haber alimentado las subestaciones de Soldadura 2B, Soldadura 1B y Soldadura 1A.
- Centro de transformación de Soldadura 2C: se alimenta a través del centro de distribución, después de haber suministrado energía eléctrica a las subestaciones de Soldadura 2B, Soldadura 1B, Soldadura 1A, Soldadura 2A.
- Centro de transformación de Soldadura 2D: recibe la energía eléctrica del centro de distribución, tras alimentar las subestaciones de Soldadura 2B, Soldadura 1B, Soldadura 1A, Soldadura 2A, Soldadura 2C.
- Centro de transformación de Carga de Baterías: se alimenta a través del centro de distribución. Después de que este haya suministrado energía eléctrica a todas las subestaciones de Soldadura.
- Centro de transformación de la Central de Aguas: se alimenta a través de la cabina número nueve del centro de distribución.



- Centro de transformación de Prensas: las dos subestaciones que conforman la subestación de Prensas se alimentan a partir del centro de distribución, tras haber suministrado energía eléctrica a la subestación de la Central de Aguas.
- Centro de transformación de Pintura 1C: se alimenta a través de la cabina número diez del centro de distribución.
- Centro de transformación de Pintura 1A: la energía eléctrica con la que se alimenta procede del centro de distribución, que llega hasta la subestación de Pintura 1A tras alimentar la subestación de Pintura 1C.
- Centro de transformación de Entregas: se alimenta a través de la cabina número trece del centro de distribución.
- Centro de transformación de Montaje 1B o Bout: recibe la energía eléctrica del centro de distribución tras alimentar a la subestación de Entregas.
- Centro de transformación de Montaje 1A: se alimenta a través del centro de distribución, tras haber suministrado energía eléctrica a las subestaciones de Entregas y Montaje 1B.
- Centro de transformación de Escapes o R.A.R.T.: la energía eléctrica con la que se alimenta procede del centro de distribución, que llega hasta esta subestación tras alimentar la subestación de Entregas, Montaje 1B y Montaje 1A.

### 7.3. ANÁLISIS DE LOS AJUSTES DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS.

A continuación se va a realizar un estudio y posterior análisis del estado y ajuste de todas las protecciones presentes en el centro de distribución y en el centro de transformación de la central térmica, cuando se está explotando la red de forma radial, para conocer así los valores a los que se encuentran tarados y ajustados los dispositivos que se encargan de proteger la red de distribución.

En el caso del centro de distribución, el tipo de dispositivos y elementos que se encargan de realizar esta función de protección son los Sepam Serie 40, que se mencionaron y estudiaron en apartados anteriores. Esta serie de Sepam posee varios tipos diferentes de relés de protección, la instalación objeto de estudio incorpora dos diferentes, el Sepam T40 en la cabina de protección de transformador 1, el Sepam T42 en las cabinas de protección de los trafos 2 y 3 y el Sepam S40 en las cabinas de salida o llegada de línea.

En el caso del centro de transformación de la central térmica, existen dos dispositivos encargados de realizar la función de protección.



Por un lado, desde la cabina número uno hasta la cabina número doce desempeña este papel el Sepam Serie 40, igual que el del centro de distribución, y de la cabina doce en adelante está el relé de protección ITG 7271. Aunque de dichas cabinas solamente incorporan protección en la actualidad las cabinas que alimentan a las transformadores. Por lo que las cabinas de llegada de línea, CF-1, CF-2 y CF-3, no incorporan relé de protección.

Se protege toda la instalación, es decir, el centro de distribución y todos los centros de transformación mediante los elementos anteriormente mencionados frente a tres tipos diferentes de fallos:

1. Máxima intensidad de fase o protección contra sobreintensidad, código ANSI 50-51: Esta función de protección, que se explicó de forma extensa en el Capítulo 4, se encarga de proteger la instalación frente a elevados valores de corriente que pudieran dañar los diferentes elementos de la misma.
2. Máxima corriente de tierra o protección frente corriente homopolar, código ANSI 50N-51N: esta protección se encarga de detectar corrientes homopolares, que aparecen cuando el sistema se desequilibra, ante un fallo o falta.
3. Protección del neutro, la función de esta protección es la de vigilar y detectar posibles corrientes residuales que circulen por el neutro del transformador.

Este trabajo se va a centrar de forma especial en la protección de máxima intensidad, porque es la encargada de proteger la instalación frente a cortocircuitos trifásicos francos. Se estudian estos cortocircuitos porque son los más peligrosos, tanto para los diferentes elementos que conforman la instalación o que se alimentan de ella como para las personas, debido a que generan elevadas corrientes de falta.

En la actualidad, con el fin de proteger la instalación frente a sobreintensidades, se han definido dos valores de corriente ante los cuales debe actuar el Sepam en un tiempo determinado:

- Intensidad de disparo térmica ( $I_{>}$ ) igual al 120% del valor de la corriente nominal de la línea, con un tiempo de respuesta ( $t(I_{>})$ ) de 300 milisegundos.
- Intensidad de disparo en cortocircuito ( $I_{>>}$ ): igual a cuatro veces la intensidad de disparo térmica, con un tiempo de actuación ( $t(I_{>>})$ ) instantáneo, 5 milisegundos.



También se han definido dos curvas de disparo en el Sepam, la primera es la IEC o CEI muy inversa correspondiente a la intensidad de disparo térmica y la segunda es una curva de tiempo definido o independiente, correspondiente a la intensidad de disparo de cortocircuito. Es decir, que cuando el valor de la sobreintensidad sea igual o mayor al valor  $I_{>>}$ , la curva característica que empleará el relé será la curva de tiempo independiente, siendo su actuación siempre instantánea. Mientras que cuando el valor de dicha sobreintensidad sea mayor o igual que  $I_{>}$  pero inferior a  $I_{>>}$ , entonces el Sepam utilizará la curva IEC muy inversa.

Este criterio de ajuste de las protecciones es un criterio conservador, ya que la corriente de disparo de la protección será siempre inferior a la corrientes de cortocircuito que aparecerán en la línea ante un falta, asegurándose así que las protecciones siempre actuarán ante una sobreintensidad en la línea.

Se encuentran tarados siguiendo este criterio todos los Sepam presentes en las cabinas del centro de distribución y del centro de transformación de la central térmica, ocupando el juego de protecciones A de dichos dispositivos.

Al realizarse una explotación radial de la red y alimentarse cada una de las líneas desde el centro de distribución [figura 7.2.1.1] no es necesario que las protecciones sean selectivas entre sí, por lo tanto se puede aplicar el mismo criterio en todas, sin necesidad de calcular las corrientes de cortocircuito, obteniendo el mismo valor de  $I_{>}$  e  $I_{>>}$  en todos los relés.

Se ha expuesto el estado de las protecciones del centro de distribución y del centro de transformación de la central térmica porque este trabajo se centra en el estudio de la red de media tensión de una factoría de automóviles y la optimización de las protecciones que se encargan de proteger dicha red, por lo tanto cómo se encuentren ajustadas las protecciones del resto de centros de transformación, es irrelevante para nuestro estudio.





## 7.4. COROLARIO DE LOS AJUSTES DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS.

Tras realizar el análisis y estudio de la situación actual de la red de media tensión, de cuál es el estado de los interruptores del parque de 44 kV y del centro de transformación de la central térmica, de cómo se alimentan los diferentes centros de transformación y de cómo se encuentran taradas las protecciones del centro de distribución y del centro de transformación la central térmica, se puede concluir que la estructura o topología de la red es correcta, ya que proporciona a la red un elevado grado de seguridad y flexibilidad.

Aunque el estado y el valor de las protecciones es adecuado para la forma de explotación actual de la instalación, se podría realizar una mejora en la forma de protección de la instalación. Basándonos en que los relés del tipo Sepam Serie 40 poseen dos bancos de protecciones que pueden bascular según necesidad, de forma automática o de manera manual.

Como ya se ha estudiado anteriormente, la estructura topológica de la red de distribución es en bucle, lo que dota a la instalación de una gran flexibilidad, siendo múltiples las formas de alimentación de los diferentes centros de transformación. Pero al modificar la forma de explotación, siguiendo las necesidades de la instalación, los valores fijados en el primer banco de protecciones quedarán obsoletos por diferentes motivos: porque la impedancia de la línea variará, variando así la intensidad de cortocircuito, porque la intensidad que circula por la línea será diferente respecto a la situación de explotación actual, variando así los valores de  $I >$  e  $I >>$  o porque debido a la nueva configuración puede ser necesario que las protecciones sean selectivas.

Al quedarse obsoletos los valores definidos en el primer juego no protegerán adecuadamente la instalación, por lo que será necesario definir unos valores nuevos que sí lo hagan.

Actualmente sólo se utiliza un juego de protecciones, desaprovechando el segundo juego. Por lo tanto, la ampliación en cuanto al nivel de protección de la instalación que se plantea en este trabajo consiste en aprovechar ese segundo juego de protecciones.

Podría pensarse que ambos juegos de protecciones estarían tarados con los mismos valores, por lo que no supondría ninguna mejora aprovechar ambos bancos de protecciones, pero no es así, ya que los valores de las corrientes cortocircuito variarán según la configuración del bucle. A continuación se desarrolla esta idea, también mencionada anteriormente.



El valor de la intensidad de cortocircuito que se origina cuando se produce una falta, depende de varios factores. Uno de estos factores es la impedancia total desde el punto de defecto hasta el punto de suministro de la energía eléctrica. Las impedancias que se deben tener en cuenta para calcular la impedancia total son: la impedancia de la red aguas arriba, la impedancia interna del transformador y la impedancia de la línea.

La impedancia de la línea dependerá de su longitud. Por lo que dependiendo del estado de la red de media tensión, es decir, de por donde se esté cerrando el bucle, la distancia hasta el punto situado aguas arriba desde el cual se alimenta a la red variará, variando también la impedancia de la línea y afectando directamente al valor de la intensidad de cortocircuito. Por lo tanto, se confirma lo que se establecía con anterioridad, las corrientes de falta dependerán de la configuración de la red de media tensión. Por lo que al modificar la forma de explotación de la red, deben modificarse también los ajustes de las protecciones. Estos nuevos valores podrían incluirse en el juego B de protecciones del Sepam.

La configuración del bucle, afectarán también a cuál de las protecciones debe actuar ante una falta.

Actualmente, debido a que la explotación de la red se hace de forma radial y todas las líneas son alimentadas desde el centro de distribución, la falta debe ser vista siempre por el interruptor de la cabina de dicho centro, ya que el interruptor de la cabina de llegada de línea del centro de transformación de la central térmica se encuentra abierto.

En cambio, si se modifica la forma de explotación del bucle y ya no se alimentan las líneas de forma radial desde el centro de distribución, si no que primero se alimenta el centro de transformación de la central térmica y desde ahí se suministrara energía eléctrica a otras de líneas, la falta sería vista por hasta tres sistemas de protección diferentes. El relé situado en la central térmica que alimenta a la línea, el relé por el cual se alimenta a la central térmica y el relé del centro de distribución.

Por lo que para el correcto funcionamiento del sistema de protecciones, estos tres relés tendrían que ser selectivos. Esta selectividad podría conseguirse también con el segundo juego de protecciones.



## 7.5. CONCLUSIONES.

En este capítulo se ha realizado una exposición de la situación actual de la red de media tensión, conociendo así cuál es su estado y cómo se alimenta.

Por tanto, sabiendo cómo se encuentran ajustadas las protecciones tanto del centro de distribución como del centro de transformación de la central térmica, se ha llevado a cabo un análisis sobre si la solución aplicada es la más óptima.

Teniendo en cuenta que la explotación de la red se hace de forma radial desde el centro de transformación, que las protecciones se sitúan al inicio de la línea y por tanto no tienen que coordinarse con ninguna otra, y que el criterio para ajustar las protecciones es conservador, ya que la actuación de la protección se lleva a cabo siempre por debajo de la corriente de cortocircuito, podría concluirse que es una buena solución para el estado actual de la red.

El problema del criterio de protección actual ocurre cuando se modifica la forma de alimentación de la red, cuando cambia la configuración del bucle de media tensión, principalmente porque será necesario que las protecciones sean selectivas entre sí.

Para dar solución a este problema, en este capítulo se plantea una posible solución, utilizar el juego libre de protecciones B para ajustar unos valores de protecciones que sean selectivos entre sí cuando se modifica la forma de explotación de la red de media tensión, pero que correspondan también con la corriente de cortocircuito que podría generarse ante una falta en la nueva situación.



## CAPÍTULO 8: PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED.

### 8.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se van a plantear y estudiar las diferentes posibilidades de reconfiguración de la red de media tensión. Debido a que la estructura topológica de la red es en bucle las posibilidades de configuración de la red son múltiples.

A continuación se presentarán cuáles son las alternativas que se van a estudiar en este trabajo y por qué se han desechado otras posibilidades.

Una vez elegidas las alternativas con las que se va a trabajar, se va a realizar un estudio para ajustar las protecciones a dichas configuraciones.

### 8.2. ELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS OBJETO DE ESTUDIO.

Tal y cómo se explicó en el capítulo 5, correspondiente a la descripción de la red de media tensión, la red de distribución consta de un total de siete líneas. Cada una de ellas posee un interruptor automático al inicio de la línea en el centro de distribución, y otro al final de la misma en el centro de transformación de la central térmica. Esta estructura topológica en bucle proporciona a la red una gran flexibilidad, ya que abriendo y cerrando dichos interruptores se obtendrán diferentes configuraciones de la red.

Cabe recordar que actualmente cada línea se alimenta directamente desde el centro de distribución y que el centro de transformación de la central térmica se alimenta a través de la línea CF-5 [Anexo 2].

Algunas de las alternativas que se han estudiado son:

1. Alternativa 1: se alimenta la central térmica a partir de la línea CF-5 y desde ésta se suministra energía eléctrica al resto de las líneas. Todos los interruptores del centro de distribución se encuentran abiertos, excepto el de la línea 5, y por el contrario, todos los interruptores de la central térmica se encuentran cerrados.
2. Alternativa 2: idéntica a la alternativa 1, pero en esta ocasión la central térmica se alimenta a partir de CF-7.
3. Alternativa 3: igual que las dos anteriores, pero se alimenta la red a partir de la línea CF-6.
4. Alternativa 4: se alimenta la central térmica a partir de la línea CF-4, y a partir de ella, el resto de la red.



5. Alternativa 5: en este caso, la red se alimenta a partir de la línea CF-3, aunque ésta primero suministra energía eléctrica al centro de transformación de la central térmica.
6. Alternativa 6: idéntica a la alternativa anterior, pero en esta ocasión se hace a partir de la línea CF-2.
7. Alternativa 7: se alimenta la red de media tensión mediante dos “bucles”. El primer “bucle” estaría formado por las líneas CF-7 y CF-6, suministrándose la energía eléctrica a través de la línea CF-7. Y el segundo “bucle” estaría formado por las líneas CF-4, CF-3 y CF-2, alimentado por CF-4. La línea CF-5 no se utilizaría y el juego de acoplamiento y remonte de barras 5 y 6 de la térmica estaría abierto. Se utiliza la palabra bucle para definir la alternativa porque es sencillo de comprender que la explotación continúa siendo radial, porque los interruptores de las líneas CF-6, CF-3 y CF-2 del centro de distribución se encuentran abiertos.
8. Alternativa 8: igual que la alternativa anterior. Pero en este caso, el primer “bucle” formado por las líneas CF-7 y CF-6, se alimentaría a través de la línea CF-6. Y el segundo “bucle” a partir de CF-4. La línea CF-5 no se utilizaría y el juego de acoplamiento y remonte de barras de 5 y 6 de la térmica estaría abierto.
9. Alternativa 9: se suministra energía eléctrica a la red mediante tres “bucles”. El primer “bucle” estaría formado por las líneas CF-7 y CF-6, y se alimentaría mediante la línea CF-7. El segundo “bucle” estaría constituido por las líneas CF-5 y CF-4, suministrándose la energía eléctrica a través de la línea CF-5. Y el tercer “bucle” estaría formado por las líneas CF-3 y CF-2 y alimentado por CF-3. Los juegos de acoplamiento y remonte de barras de 5 y 6 y 11 y 12 de la térmica estarían abiertos.
10. Alternativa 10: similar a la alternativa anterior, sólo que varían las líneas a partir de las cuales se suministra la energía eléctrica. El primer “bucle” formado por CF-7 y CF-6, se alimenta ahora mediante la línea CF-6. Y el segundo “bucle” formado CF-3 y CF-2 se alimenta a través de CF-2. La línea CF-5 alimenta la central térmica y la CF-4 se alimenta desde el centro de distribución igual que en la situación actual. Los juegos de acoplamiento y remonte de barras de 5 y 6 y 11 y 12 de la térmica estarán abiertos.

Planteadas estas alternativas se explican cuáles se eligen y por qué otras se desechan.



El primer criterio utilizado para eliminar algunas alternativas de reconfiguración de la red es el criterio térmico. La intensidad que circula por una línea no puede superar la intensidad máxima admisible de dicho cable, ya que se produciría un calentamiento excesivo que podría dañarle. En el capítulo 5, descripción de la red de media tensión, se realizó un estudio de las características de los cables de cada línea. Observando las tablas 5.3.1, 5.8.1 y 5.8.2 de dicho capítulo, se advierte que el valor más pequeño de la intensidad máxima admisible y por lo tanto el más condicionante, es el correspondiente a los cables del tipo RHV y RHZ1, siendo éste de 455 A.

En el anexo 3 se incluye una tabla con el valor de la corriente que consume cada uno de los centros de transformación que forman la red de media tensión, y se puede observar que en condiciones normales, la intensidad total que consumirá la red estará en torno a los 767 A.

Por lo tanto, las alternativas en las que se alimenta la red a través de una sola línea no son posibles, ya que el cable no sería capaz de soportar sin dañarse la intensidad total que consume la red. Una posible solución, sería instalar un cable igual en paralelo con el ya existente, doblándose de esta forma la capacidad. Esta medida sólo sería factible en la línea CF-5, ya que el resto alimentan a los centros de transformación de la factoría. Aun aplicando esta medida, no se va a estudiar la alternativa 1, porque tiene otro gran inconveniente, que es que si se produjera un fallo en la línea 5, toda la red se quedaría sin suministro.

En las cabinas del centro de distribución y de la central térmica, junto al interruptor automático, se encuentra el Sepam, otorgando a la red un grado de protección elevado. Recordar que el Sepam es la unidad de protección y medida que se encarga de proteger cada una de las líneas y que se alimenta a través del transformador de intensidad.

El Sepam Serie 40 de Schneider consta de dos juegos de protecciones, el juego A y el juego B, y como se veía en el capítulo anterior, en el juego A están ajustadas las protecciones para la situación de explotación actual, por lo tanto sólo queda un juego libre de protecciones para una configuración de la red diferente. Por esta razón, y debido a que sólo se puede plantear una configuración diferente a la actual manteniendo un buen funcionamiento de las protecciones y la selectividad entre ellas, se han elegido como alternativas objeto de estudio la 9 y la 10.

En el caso de la alternativa 9 se encuentran cerrados los interruptores 2, 5 y 10 del centro de distribución. Estos interruptores situados en las cabinas de llegada de línea de las líneas CF-7, CF-5 y CF-3 respectivamente, alimentan cada uno de los “bucles”.



El resto de interruptores, 3, 9 y 13, que corresponden con el inicio de líneas CF-6, CF-5 y CF-2 respectivamente, se encuentran abiertos. Los interruptores de la central térmica se encuentran todos cerrados, excepto los correspondientes a los juegos de acoplamiento y remonte de barras 5 y 6, 11 y 12, 17 y 18, por lo que el centro de transformación de la central térmica estará formado por tres embarrados diferentes.

La alternativa 10 es similar a la alternativa anterior, pero en este caso las líneas que alimentan la red son diferentes. Se encuentran cerrados los interruptores 3, 5, 9 y 13 del centro de distribución, que corresponden al inicio de línea de las líneas CF-6, CF-5 y CF-4 y CF-2. Los interruptores 2 y 10, que corresponden con el inicio de líneas CF-7 y CF-3 respectivamente, se encuentran abiertos. Los interruptores de la central térmica se encuentran todos cerrados, excepto los correspondientes a los juegos de acoplamiento y remonte de barras 5 y 6, 11 y 12, 17 y 18, por lo que el centro de transformación de la central térmica estará formado por tres embarrados diferentes.

En los anexos 4 y 5 se puede ver el estado de la red cuando está configurada según lo propuesto en las alternativas 9 y 10 respectivamente.

Se han descartado las alternativas 7 y 8, porque aunque la intensidad que tiene que circular por las líneas que suministran energía eléctrica a la red se encuentra por debajo del valor de la intensidad máxima admisible, sin embargo es muy próximo. Y aunque la alimentación se realiza a través de dos líneas y por tanto no presenta el problema respecto a la continuidad del suministro que presentaba la alternativa 1, las alternativas 9 y 10 serán más fiables respecto a la continuidad de suministro ya que la alimentación se realiza por a través de tres líneas.

### 8.3. AJUSTE DE LOS RELÉS DE PROTECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

En el capítulo anterior se exponía que en la actualidad el ajuste de las protecciones es función de la corriente nominal que circula por la línea, criterio que asegura que las protecciones van a actuar siempre que exista una sobrecorriente en la línea y por supuesto, siempre que se produzca un cortocircuito, ya que las corrientes de corto son muy superiores a los valores de actuación planteados.

Pero el principal inconveniente de este criterio es que no se puede plantear una selectividad amperimétrica entre dos relés de diferentes líneas, porque la intensidad nominal, determinada por la intensidad admisible del conductor en ambas líneas es la misma, y por tanto la intensidad de disparo térmica ( $I>$ ) y la intensidad de disparo en cortocircuito ( $I>>$ ) serán las mismas en ambos relés.





Por lo tanto, para conseguir que dos protecciones sean selectivas siguiendo el criterio actual, solamente se podría plantear una selectividad cronométrica, lo que provocaría que los tiempos de actuación de los relés situados aguas arriba fuesen inaceptables.

En las alternativas que se van a estudiar, la 9 y la 10, la explotación continúa siendo radial pero ahora se va a alimentar a más de una línea desde el mismo interruptor (ver anexos 4 y 5) por lo que para un correcto funcionamiento de las protecciones presentes, éstas deben ser selectivas. Por ejemplo, en el caso de la alternativa 9, el primer bucle, CF-7+ CF-6, ante un fallo en la línea CF-6 la falta se alimentará desde el centro de distribución, por lo que la corriente de corto será vista por el relé de la cabina 2 del centro de distribución y por los relés de las cabinas 1 y 2 del centro de transformación de la central térmica. Aunque la falta sea vista por estos tres Sepam, sólo deberá actuar el relé más cercano a la falta, en este caso, el relé de la cabina 2 de la térmica, mientras que los otros dos funcionarán como back- up en el caso de que no despejase la falta el más próximo. Cabe señalar que sólo se utilizará cómo back-up el relé del centro de distribución, reservando el otro relé de la central térmica para la alternativa 10.

Para conseguir que la selectividad sea tanto amperimétrica como cronométrica, el criterio a utilizar va a ajustar las protecciones en función de las corrientes de cortocircuito de la línea.

La coordinación debe estar basada en la actuación frente a la corriente de cortocircuito en el extremo más lejano de la línea, el interruptor más próximo debe actuar lo más rápidamente posible, por lo que se elegirá la curva que actúe más rápidamente, es decir, aquella curva que posea el menor tiempo de actuación,  $T$ .

La curva característica elegida para ajustar las protecciones es la curva CEI o ICE muy inversa o tipo B. Por tanto, para el interruptor más próximo a la falta en el extremo más lejano de la línea, se elegirá la curva CEI muy inversa con un tiempo de actuación de  $T= 0,05$  segundos, que es el mínimo tiempo de actuación de toda la familia de curvas. Conocida la curva y el valor del cociente de la corriente de cortocircuito dividido entre la corriente de ajuste,  $I/I_s$ , se obtiene el valor del tiempo de actuación del Sepam,  $t$ . Se pueden ver las curvas en el anexo 7.

También se puede obtener este valor a través de la ecuación que define la curva:

$$t(s) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} * \frac{T}{\beta}$$



Se ha fijado como corriente de ajuste la intensidad máxima admisible de los cables, 455 A. Los valores de  $k$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son los presentes en la tabla 8.3.1.

Curvas Características	$k$	$\alpha$	$\beta$
CEI Muy Inversa B	13,5	1	1,5

Tabla 8.3.1: Valores para el cálculo de  $t$ .

Los relés aguas arriba del defecto, que también detecten la corriente de falta, deberán actuar como respaldo, de modo que su tiempo de actuación debe ser superior, siendo el margen de seguridad establecido de 0,2 segundos. Para conocer el tiempo de actuación  $T$  y por consiguiente la curva de actuación de estos relés se utilizará el valor del tiempo de actuación del relé anterior más el tiempo de cobertura fijado, valores del eje de ordenadas de la curva, y el valor de la corriente de corto dividido entre la corriente de ajuste,  $I/I_s$ , valores del eje de abscisas de la curva. Utilizando la familia de curvas CEI tipo B y conociendo estos datos, se obtiene la curva con el valor de  $T$  correspondiente.

Para las corrientes de cortocircuito que se producen inmediatamente después de los interruptores, es decir, al inicio de la línea es muy sencillo calcular el valor del tiempo de actuación  $t$ , porque conocida la curva o  $T$ , sólo es necesario calcular el cociente  $I/I_s$ .

En el caso de los relés que actúan como respaldo ,pero que también se encargan de proteger una línea, y debido a que sus tiempos de actuación son algo mayores, se va a añadir un elemento instantáneo, cuya función es actuar instantáneamente frente a la mayor corriente de corto en un defecto próximo. El elemento instantáneo tendrá actuación en el 80% de la línea y se ajustará al valor más bajo, en este caso a 0,05 segundos. Alcanzado el 80% de la línea, la curva de actuación de la protección será la obtenida anteriormente, pero debe calcularse la corriente de cortocircuito en este punto para conocer el valor del tiempo de actuación del relé.

El tipo de cortocircuito con el que se van a ajustar las protecciones es el cortocircuito trifásico franco. Para calcular el valor de la corriente de cortocircuito es necesario conocer el valor total de la impedancia de cortocircuito. Y conocido dicho valor se obtiene la corriente de corto dividiendo la tensión nominal de la instalación entre la impedancia de corto.



En la red de media tensión, la impedancia de corto engloba la potencia de cortocircuito de la red, en este caso, hemos realizado los cálculos con tres valores 600 MVA, 450 MVA y 300 MVA, las impedancias de los transformadores del parque de 44 kV, hay que tener en cuenta que están en paralelo, y la impedancia de la línea. En el anexo 6 se explica mediante un formulario el cálculo de la corriente de corto.

A continuación se va a explicar, mediante un ejemplo, el proceso a seguir para realizar el ajuste de las protecciones. El ejemplo se va a efectuar sobre el “bucle” CF-7+ CF-6 de la alternativa 9, recordando que este bucle se encuentra alimentado por la línea CF-7 a través del interruptor 2 del centro de distribución.

En el presente trabajo los ajustes se han realizado con el valor de 300 MVA de la potencia de cortocircuito, porque aunque las corrientes de cortocircuito varían notoriamente de una potencia de corto a otra, cuando se calculan los tiempos de actuación las diferencias son mínimas, de milésimas de segundo. Se ha escogido el valor más pequeño de la potencia de corto porque es el que genera las corrientes de corto más pequeñas y las protecciones deben actuar a partir del valor mínimo de la corriente de falta.

Se conocen las corrientes de corto al final de ambas líneas y justo después de los interruptores. En la figura 8.3.1 se observa un esquema formado por la línea CF-7+CF-6 en el que se indican los puntos en los que se han calculado las corrientes de cortocircuito y sus respectivos valores.

- Al inicio de la línea CF-7:  $I_{cc} (A) = 6230$  A.
- Final de la línea CF-7:  $I_{cc} (B) = 5410$  A.
- Al inicio de la línea CF-6, justo antes del CT Baterías:  $I_{cc} (C) = 5280$  A.
- Al final de la línea CF-6:  $I_{cc} (D) = 4520$  A.

El ajuste se basa en la actuación frente a la corriente de corto en el punto de la línea más alejado aguas abajo, ajustando el relé más próximo para que actúe lo más rápido posible. Por lo tanto se comenzará a realizar el ajuste por el relé de la cabina 2 de la central térmica y la corriente de corto en D. Conociendo  $I_{cc} (D)$  se calcula el cociente  $I/I_s$ .

$$\frac{I}{I_s} = \frac{4520}{455} = 9,9$$

El tiempo de actuación debe ser el mínimo, por lo que el tiempo de actuación de la curva será  $T = 0,05$  segundos. Conociendo  $I/I_s$ , y  $T$  se calcula el tiempo de actuación de la protección,  $t$ , mediante la curva IEC muy inversa [figura 8.3.2] o a través de la fórmula. El tiempo de actuación de la protección es  $t = 0,05$  s.

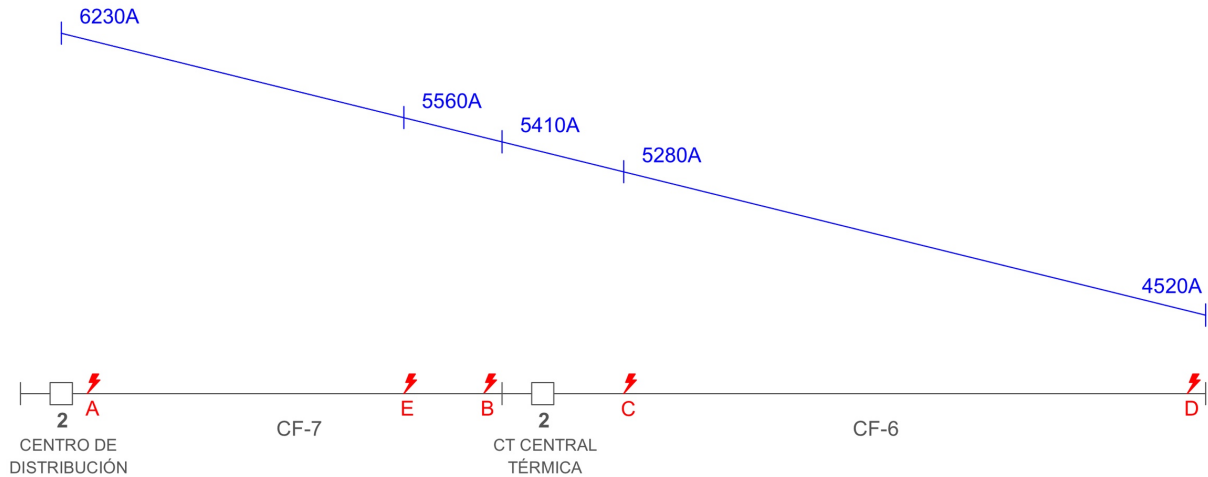


Figura 8.3.1: Esquema de la línea junto con los valores de las corrientes de corto.

Se hace lo mismo con el valor de  $I_{cc}$  en el punto (C):

$$\frac{I}{I_s} = \frac{5280}{455} = 11,6$$

Siendo  $T=0,05$  segundos, el tiempo de actuación de la protección es  $t=0,045$  s.

Ahora que se ha ajustado el relé de la cabina 2 de la térmica, se ajusta el relé situado en el centro de distribución en la cabina 2. Se empieza igual que antes, analizando el corto en D y luego en C. Ante cualquier fallo en la línea CF-6 el relé situado en el centro de distribución debe actuar como respaldo, por lo que el tiempo de actuación en estos puntos debe ser mayor, por tanto se añade un tiempo de cobertura de 0,2 segundos. El tiempo de actuación  $t$  del relé del centro de distribución será de 0,25 segundos en D y de 0,245 segundos en C.

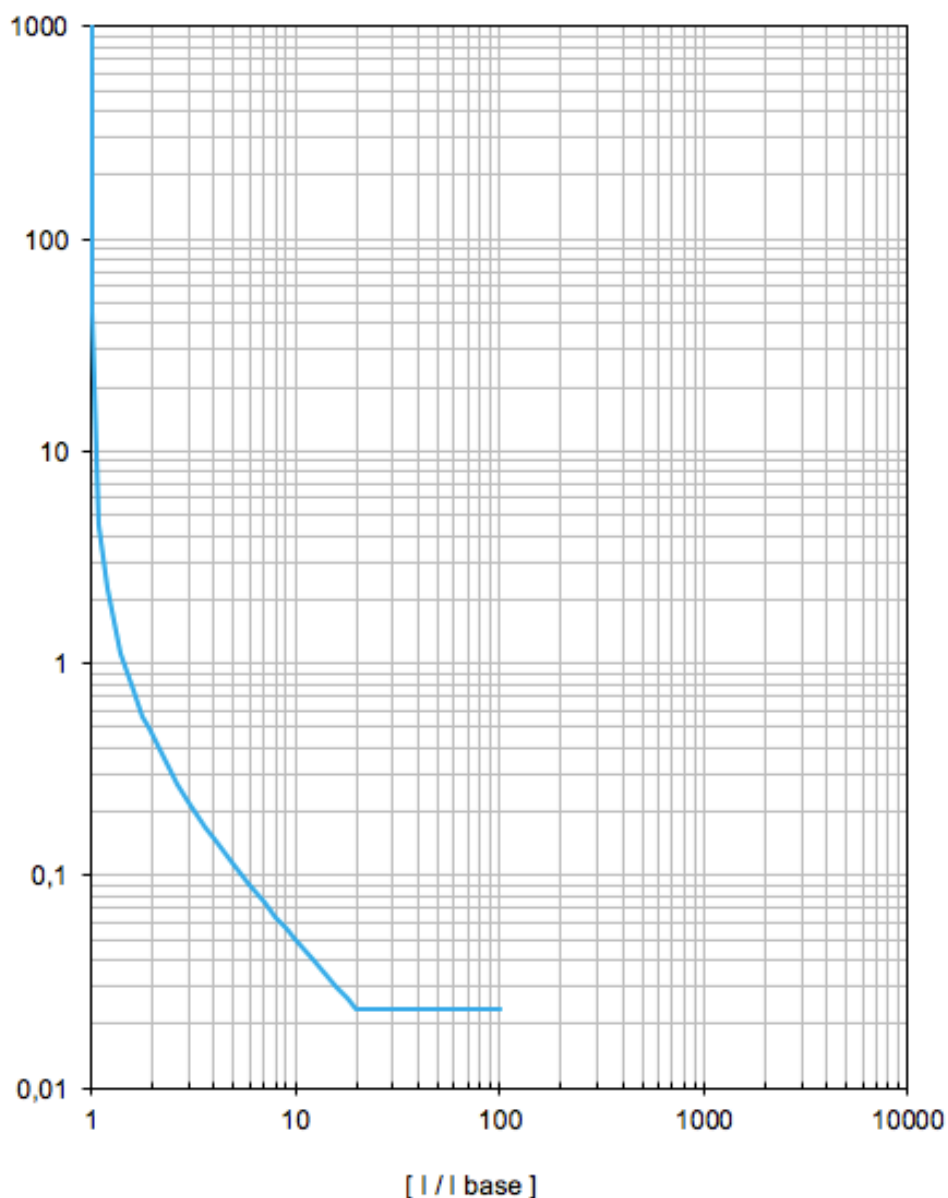


Figura 8.3.2: Curva IEC muy inversa con  $T=0,05$  s.

En ambos puntos se conoce el valor de  $I/I_s$  y el valor de actuación de la protección  $t$  por lo que a partir de la familia de curvas o de la formula se puede obtener el tiempo de actuación  $T$  para el relé del centro de distribución, que será  $T=0,25$  segundos

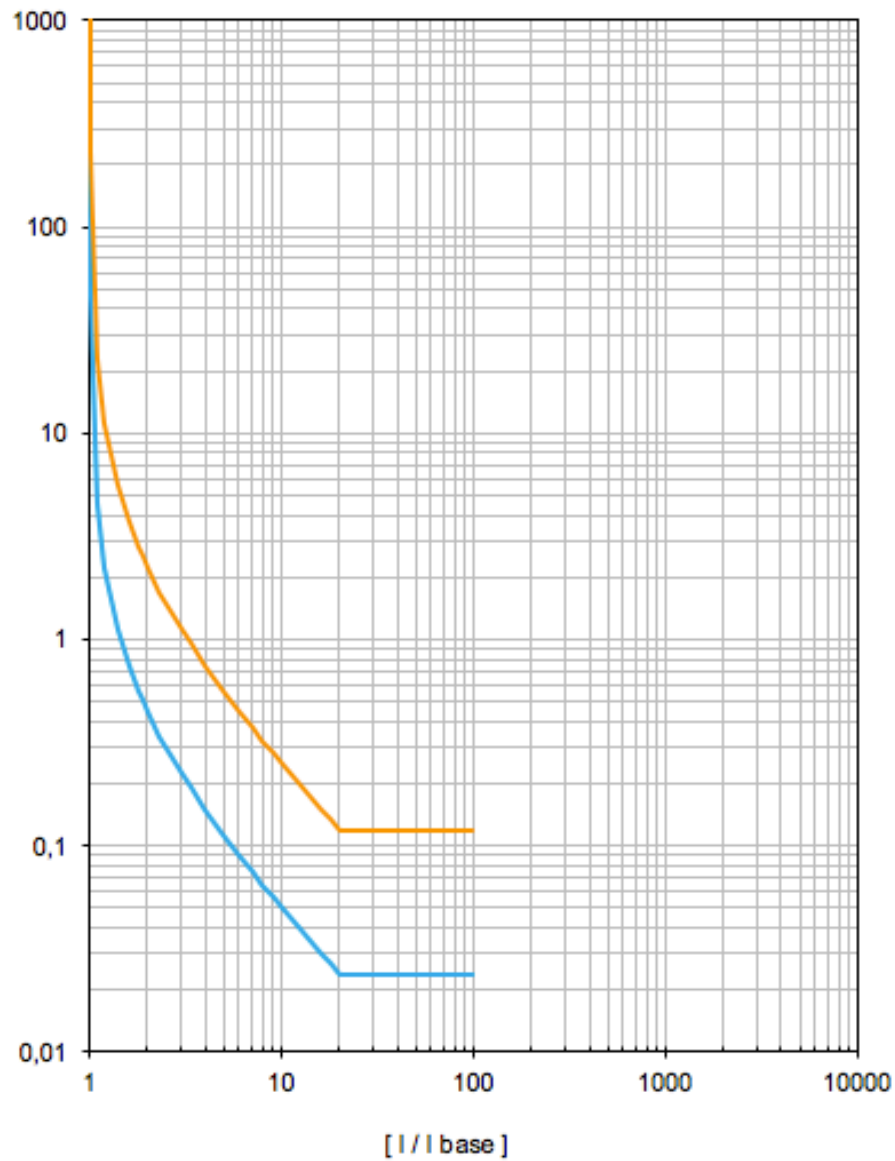


Figura 8.3.3: Curva IEC muy inversa con  $T = 0,05$  s y  $T = 0,25$  s.

En la figura 8.3.3 se representan las curvas IEC muy inversa para un tiempo de actuación de  $T = 0,05$  s, en color azul, y para  $T = 0,25$  s, en naranja, y en dicha figura se puede observar que la curva con mayor tiempo de actuación, utilizada en el relé situado en el centro de distribución, es la que presenta unos mayores tiempos de actuación del sistema de protección.

Conocido el tiempo de actuación  $T$ , se calculan los tiempos de actuación de las protecciones en A y en B, puntos que pertenecen a la línea CF-7 donde debe actuar el interruptor situado en el centro de distribución. Y se obtienen 0,18 segundos y 0,2 segundos respectivamente. Para reducir el tiempo de actuación del relé en la línea CF-7 se añade un elemento instantáneo que protegerá en un tiempo establecido de 0,05 segundos el 80% de la línea. A partir de este punto la actuación será la marcada por la curva IEC muy inversa de  $T=0,25$  segundos. Para conocer el tiempo de actuación en el 80% de la línea, se calcula la intensidad de cortocircuito:

- Al 80% de la línea CF-7:  $I_{cc}(E) = 5560$  A, por lo tanto  $I/I_s$  será 12,2.

Teniendo en cuenta que para el relé del centro de distribución el tiempo de actuación de la curva es 0,25 segundos, el tiempo de actuación de la protección en el punto E será 0,2 segundos.

En la figura 8.3.4. se observa un dibujo en el que se ha representado la línea CF-7+CF-6 junto con los valores de las corrientes de tiempo y los tiempos de actuación de las dos protecciones.

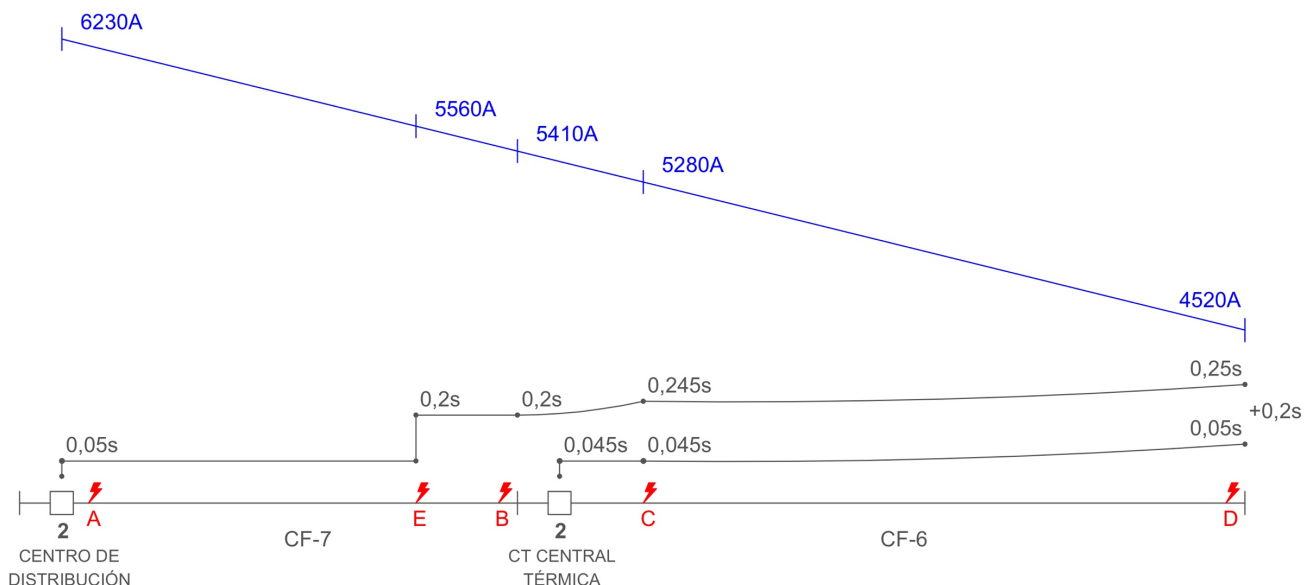


Figura 8.3.4: Esquema de la línea con los valores de las corrientes de corto y los tiempos de actuación.





Presentado y explicado el caso de la línea CF-7+ CF-6, a continuación se van a presentar los resultados para el resto de casos, es decir, para el resto de “bucles” de las alternativas 9 y 10. Recordar que los resultados corresponden al cálculo de la corriente de corto para una potencia de cortocircuito de 300 MVA. Es importante recordar también que en este trabajo se va a considerar que todas las cabinas de la central térmica poseen Sepam Serie 40, para poder realizar un ajuste más completo y porque las que aún no lo tienen contarán con ello en un periodo corto de tiempo.

#### 8.4.RESULTADOS OBTENIDOS.

A continuación se muestran los ajustes de los sistemas de protección para la alternativa 9, tablas 8.4.1 y 8.4.2, y para la alternativa 10, tablas 8.4.3 y 8.4.4. En todas ellas se definen cuatro puntos en los cuales se calcula la corriente de corto, dichos puntos son idénticos en situación a los expuestos en el ejemplo:

- Punto D: corresponde al final de la segunda línea del “bucle”, el corto tiene lugar justo antes del centro de distribución.
- Punto C: ubicado justo antes del primer centro de transformación de la segunda línea del “bucle”.
- Punto B: localizado en el extremo más lejano de la primera línea antes del centro de transformación de la central térmica.
- Punto E: punto situado en el 80% de la primera línea del “bucle”.
- Punto A: punto situado al inicio de la primera línea, después del centro de distribución.

Es importante recordar que en la actualidad las cabinas 13, y 14 de llegada de línea de la central térmica no poseen Sepam, pero en este trabajo se va a considerar que sí poseen este sistema de protección



### 1. ALTERNATIVA 9: CF-5+ CF-4.

		<b>Relé 5 Centro Distribución.</b>	<b>Relé 8 CT Central Térmica.</b>
Punto donde ocurre la falta.	Corriente cortocircuito Icc (A).	Tiempo actuación protección (s).	Tiempo actuación protección (s).
D	4350	0,252	0,052
C	5460	0,245	0,045
B	5890	0,19	
E	5960	0,19	
A	6230	0,05	

Tabla 8.4.1: Ajuste protecciones alternativa 9 CF-5+CF-4.

### 2. ALTERNATIVA 9: CF-3+ CF-2.

		<b>Relé 10 Centro Distribución.</b>	<b>Relé 14 CT Central Térmica.</b>
Punto donde ocurre la falta.	Corriente cortocircuito Icc (A).	Tiempo actuación protección (s).	Tiempo actuación protección (s).
D	4580	0,25	0,05
C	5120	0,245	0,045
B	5510	0,2	
E	5660	0,2	
A	6230	0,05	

Tabla 8.4.2: Ajuste protecciones alternativa 9 CF-3+CF-2.



### 3. ALTERNATIVA 10: CF-6+ CF-7.

		<b>Relé 3 Centro Distribución.</b>	<b>Relé 1 CT Central Térmica.</b>
Punto donde ocurre la falta.	Corriente cortocircuito I <sub>cc</sub> (A).	Tiempo actuación protección (s).	Tiempo actuación protección (s).
<b>D</b>	4540	0,25	0,05
<b>C</b>	4880	0,245	0,045
<b>B</b>	5080	0,22	
<b>E</b>	5270	0,21	
<b>A</b>	6230	0,05	

Tabla 8.4.3: Ajuste protecciones alternativa 10 CF-6+CF-7.

En el caso de la alternativa 10, y como se veía antes, la central térmica se alimenta a partir de la de línea CF-5 como en la situación actual y la línea a través del centro de distribución, también como en el caso de la explotación actual. Por lo tanto, estas protecciones no poseerán un nuevo ajuste en el alternativa 10.



#### 4. ALTERNATIVA 10: CF-2+ CF-3.

		Relé 13 Centro Distribución.	Relé 13 CT Central Térmica.
Punto donde ocurre la falta.	Corriente cortocircuito I <sub>cc</sub> (A).	Tiempo actuación protección (s).	Tiempo actuación protección (s).
D	4540	0,25	0,05
C	4880	0,245	0,045
B	5080	0,22	
E	5270	0,21	
A	6230	0,05	

Tabla 8.4.4: Ajuste protecciones alternativa 10 CF-2+CF-3.

#### 8.5. CONCLUSIONES.

En este capítulo tras realizar un análisis de las diferentes posibilidades de configuración de la red, se ha llevado a cabo un estudio de dos alternativas de explotación para la operación de la misma. En base a las corrientes de cortocircuito que pueden llegar a circular por las líneas se han ajustado las protecciones de la red, en concreto, el juego B de cada uno de los Sepam.

De esta manera se ha conseguido que frente a dos configuraciones de la red diferentes a la actual, la red esté protegida y que las protecciones sean selectivas, de manera que actúe siempre la protección más cercana al cortocircuito.





## CAPÍTULO 9: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.

### 9.1. CONCLUSIONES.

La protección de redes o instalaciones frente a faltas es parte esencial en el diseño de éstas.

En este TFG se han cumplido los objetivos iniciales del proyecto en el que se proponen configuraciones de explotación de la red alternativas a la actual junto con el cálculo de los ajustes de los sistemas de protección.

Inicialmente se ha analizado la solución actual de protección de la red de media tensión de la factoría concluyendo que es correcta desde el punto de vista de las protecciones.

Finalmente se presentan diferentes alternativas de configuración de la red, con el fin de aprovechar todas las características ofrecidas por los relés de protección y de aumentar así el nivel de protección de la red ante diferentes configuraciones de la misma aprovechando el elevado grado de flexibilidad de la red.

Gracias al presente trabajo se han profundizado en conocimientos estudiados durante el Grado en Ingeniería Eléctrica, tales como centros de distribución, redes de transporte y distribución, aparamenta de alta, media y baja tensión, cálculo de corrientes de cortocircuito y diseño y ajuste de sistemas de protecciones, entre otros.

### 9.2. LÍNEAS FUTURAS.

A continuación se plantean dos líneas futuras con las que seguir mejorando el nivel de protección de la red de media tensión:

1. Realizar un estudio similar al del presente trabajo pero para la protección de máxima corriente a tierra, es decir, la corriente homopolar. El Sepam Serie 40 cuenta con dos juegos de protecciones, juego A y juego B, también para esta protección. Partiendo de las alternativas propuestas en este trabajo, calcular cómo deberían estar ajustadas las protecciones para esta componente de la corriente.
2. Estudiar la selectividad y la coordinación de las protecciones de la red de media tensión con las ubicadas aguas arriba, con los sistemas de protección de llegada de transformador del centro de distribución y los presentes en el parque de 44 kV.







## BIBLIOGRAFÍA.

General Cable, *Catálogo Cables de Media Tensión* [en línea]. España. [consultado: 4 de febrero de 2019]. Disponible en:

[https://www.generalcable.com/eu/gc\\_pvapp/1802](https://www.generalcable.com/eu/gc_pvapp/1802)

General Cable, *HERSATENE RHV* [en línea]. [consultado 1 de febrero de 2019]. Disponible en:

<https://cdn.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Ecuador%20Site/Productos/media%20tension/HERSATENE-RHV-Commercial-sheet-V4.pdf?ext=.pdf>

Montané Sagra, Paulino. *Protecciones en instalaciones eléctricas: evolución y perspectivas*. 2ª Edición. Barcelona: Marcombo 1993. ISBN 8426706886.

Metron BBC, *Seccionadores en carga tripolares*. España.

Luis E. Garcia, *Celdas Metal Clad ABB*. X Jornadas Técnicas ABB en Chile, 2017. [consultado 12 de febrero]. Disponible en:

<https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/jjts-2017/presentaciones-chile/celdas-metal-clad-luis-garc%C3%ADa.pdf?sfvrsn=2>

Suarez Creo, Juan M. *Protección de instalaciones y redes eléctricas*. 2ª Edición. Santiago de Compostela: Andavira 2011. ISBN 978-84-8408-599-7.

Schneider Electric, *Catálogo General MCset 1-2-3 17,5kV* [en línea]. España, 2012. [consulta: 1 de octubre 2018]. Disponible en : <https://www.schneider-electric.es/es/download/document/ESMKT01073A12/>

Schneider Electric, *CSH30 Interposing Ring Current Transformer (CT)*. [en línea]. LaVergne, TN, USA, 2007 [consulta: 4 de octubre de 2018]. Disponible en :

[https://www.schneider-electric.fr/library/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/SE\\_LOCAL/APS/191289\\_5056/63230-216-252A1\\_CSH30\\_Install\\_Sheet.pdf](https://www.schneider-electric.fr/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/191289_5056/63230-216-252A1_CSH30_Install_Sheet.pdf)

Schneider Electric, *Sepam series 40* [en línea]. 2017. [consulta: 2 diciembre de 2017]. Disponible en:

[http://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=PCRED301006EN.pdf&p\\_Doc\\_Ref=PCRED301006EN](http://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=PCRED301006EN.pdf&p_Doc_Ref=PCRED301006EN)



Schneider Electric, *VAMP 221 Selective Arc Flash Protection for Low and Medium Voltage Power Systems*. [en línea]. 2017. [consulta: 10 de octubre de 2018].

Disponible

en:

[https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiD1\\_Ke37\\_eAhUH-YUKHXHVAicQFjAFegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fm.vamp.fi%2Fdmsdocument%2F49&usg=AOvVawOjBuwk8xBxOHpVLoPzikhY](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiD1_Ke37_eAhUH-YUKHXHVAicQFjAFegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fm.vamp.fi%2Fdmsdocument%2F49&usg=AOvVawOjBuwk8xBxOHpVLoPzikhY)

*Vamp, Operation and configuration instructions Technical description*, [en línea].

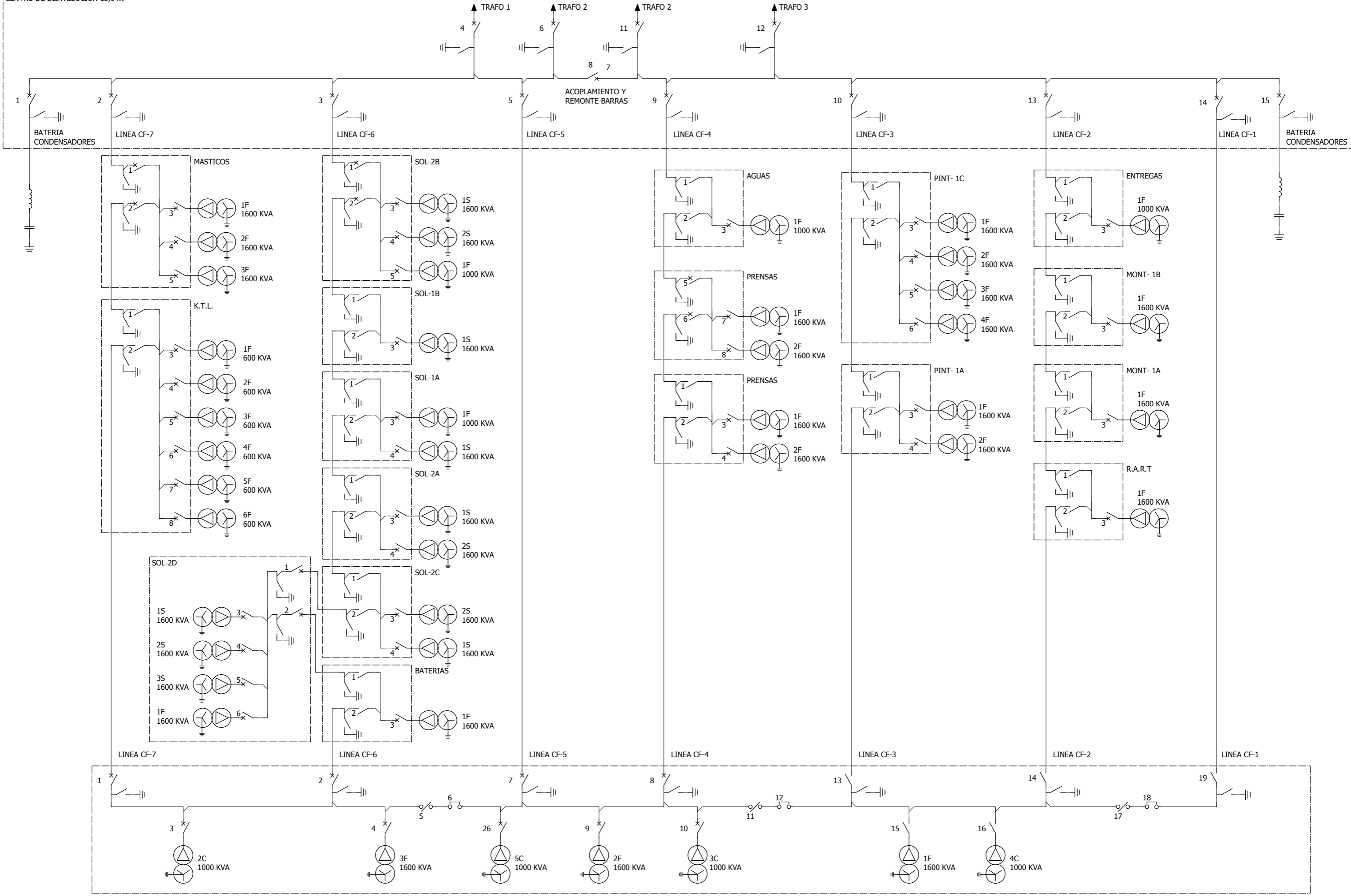
2017. [consulta 8 de octubre de 2018]. Disponible en:

[https://www.schneider-electric.com/eg/library/SCHNEIDER\\_ELECTRIC/SE\\_LOCAL/APS/210247\\_43F2/VM221.EN018.pdf](https://www.schneider-electric.com/eg/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/210247_43F2/VM221.EN018.pdf) o <https://www.schneider-electric.co.in/en/faqs/FA180062/>



## ANEXO 1: ESQUEMA UNIFILAR DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

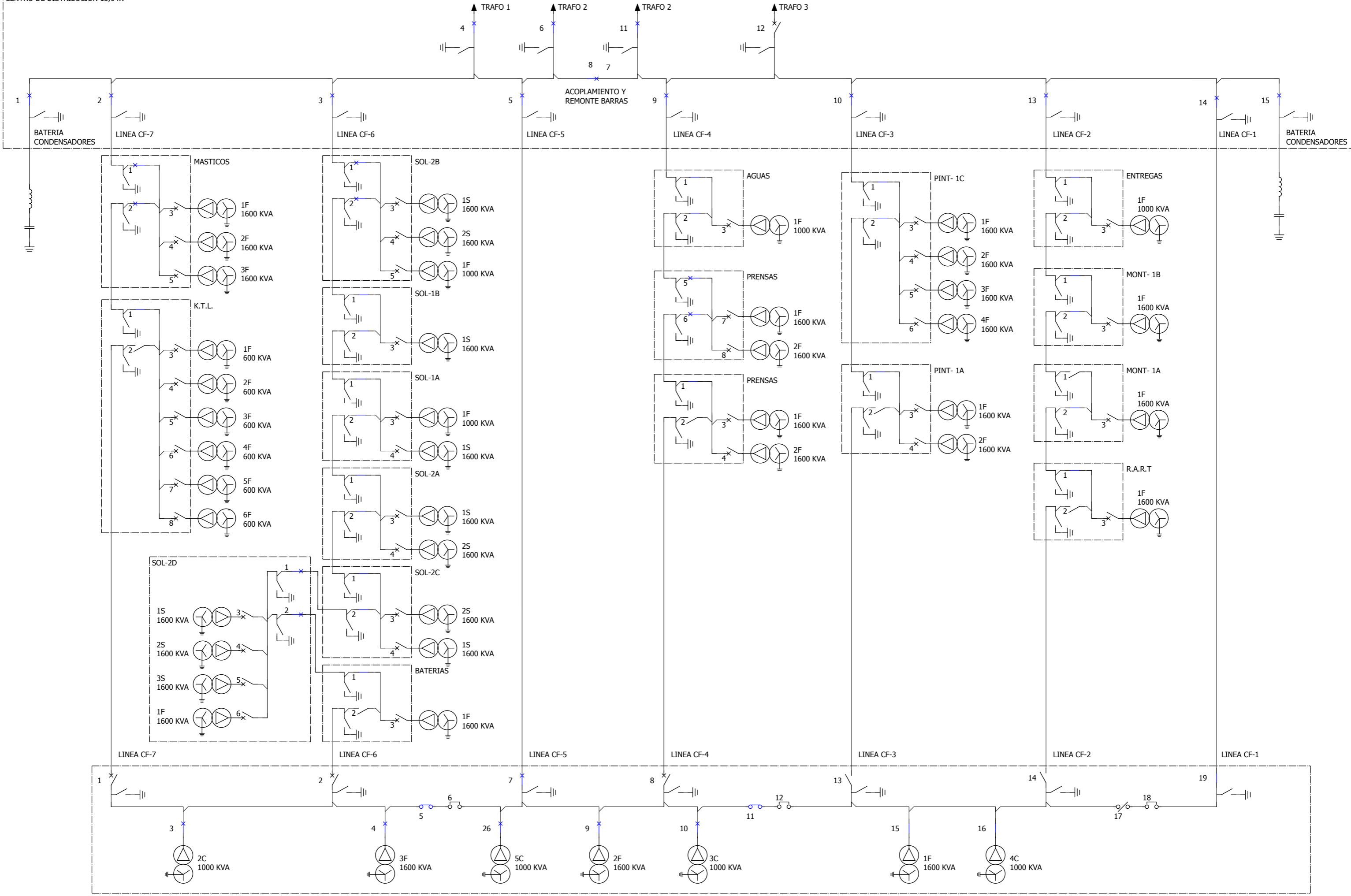
En este anexo se incluye el esquema unifilar de la red de media tensión.





## ANEXO 2: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN.

En este anexo se incluye un esquema unifilar en el que se han dibujado los interruptores de la misma forma a cómo se encuentran en la realidad.





### ANEXO 3: FLUJOS DE CARGA.

A continuación se presenta en formato tabla los valores aproximados de los consumos de cada uno de los centros de transformación.

<b>Centro de transformación</b>	<b>I (A)</b>
Másticos	112
KTL	31
Soldadura 2B	25
Soldadura 1B	14
Soldadura 1A	14
Soldadura 2A	4
Soldadura 2C	4
Soldadura 2D	8
Aguas	8
Prensas	13
Pintura 1C	96
Pintura 1A	29
Entregas	9
Montaje 1B	2
Montaje 1A	16
RART	2
Central Térmica	137
Baterías	18
<b>Total</b>	<b>767</b>







**Universidad de Valladolid**

ANEXO 4: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED  
DE MEDIA TENSÓN ANTE LA ALTERNATIVA 9.



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

ANEXO 4: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED DE MEDIA  
TENSIÓN ANTE LA ALTERNATIVA 9.





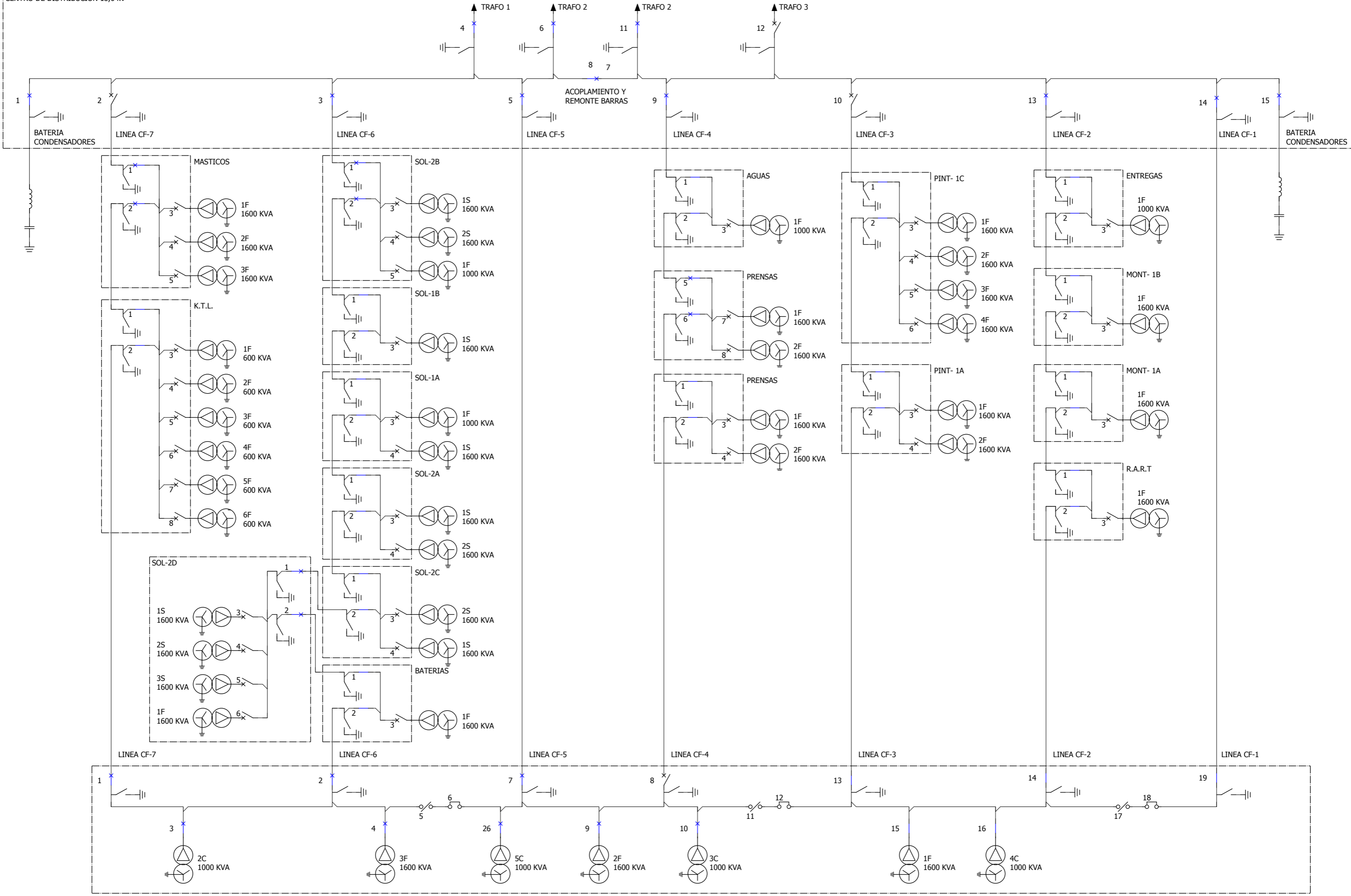
**Universidad de Valladolid**

ANEXO 5: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED  
DE MEDIA TENSÓN ANTE LA ALTERNATIVA 10.



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

ANEXO 5: ESQUEMA UNIFILAR DEL ESTADO DE LA RED DE  
MEDIA TENSÓN ANTE LA ALTERNATIVA 10.





## ANEXO 6: FORMULARIO PARA EL CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

A continuación se presentan las fórmulas utilizadas para el cálculo de la corriente de corto.

Impedancia de la red a 44kV ( $\Omega$ )	$Z^0 = \frac{V_n^2}{P_{cc}} \Omega$
Impedancia equivalente de la red a 13,6 kV	$Z'^0 = Z^0 * \frac{V_{13,6}^2}{V_{44}^2} \Omega$
Impedancia transformador 12 MVA a 44kV	$Z^{12} = U_{cc} * \frac{V_{44}^2}{P_{12}} \Omega$
Impedancia transformador 12 MVA a 13,6 kV	$Z'^{12} = Z^{12} * \frac{V_{13,6}^2}{V_{44}^2} \Omega$
Impedancia trafos 12 MVA en paralelo 13,6 kV	$Z_T'^{12} = \frac{Z'^{12}}{2} \Omega$
Impedancia de la línea	$Z_T^{linea} = \sqrt{R_{linea}^2 + X_{linea}^2} \Omega$
Impedancia de la red, trafos 12 MVA y línea 13,6 kV	$Z_T = Z'^0 + Z_T'^{12} + Z_T^{linea} \Omega$
Corriente de cortocircuito (kA)	$I_{cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} * Z_T} kA$







### ANEXO 7: CURVAS CEI A TIEMPO MUY INVERSO TIPO B.

Aquí se presenta la familia de curvas de la curva característica CEI muy inversa o tipo B.

