

**ANEJO Nº 15. INSTALACIONES DE  
ELECTRIFICACIÓN, SEGURIDAD,  
SEÑALIZACIÓN Y COMUNICACIONES.**



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....	1	3. INSTALACIONES DE SEGURIDAD.....	24
2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN.....	1	3.1 INTRODUCCIÓN .....	24
2.1 INTRODUCCIÓN .....	1	3.2 ENCLAVAMIENTOS ELECTRÓNICOS.....	25
2.2 EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN A 2X25 KV .....	2	3.2.1 GENERALIDADES .....	25
2.2.1 GENERALIDADES .....	2	3.2.2 CONFIGURACIÓN.....	25
2.2.2 CONSTITUCIÓN DE LA CATENARIA.....	3	3.3 SISTEMA DE PROTECCIÓN DE TREN .....	26
2.2.3 TENSIONES DE LOS CONDUCTORES. COMPENSADORES .....	7	3.4 SUMINISTRO DE ENERGÍA.....	27
2.2.4 CRITERIOS GEOMÉTRICOS .....	7	4. TELECOMUNICACIONES.....	27
2.2.5 EQUIPO DE VÍA GENERAL .....	11	4.1 INTRODUCCIÓN .....	27
2.2.6 COMPENSACIÓN DE TENSIONES.....	16	4.2 SISTEMA DE RADIO MÓVIL GSM-R .....	28
2.2.7 PUNTOS FIJOS .....	17	4.3 TELEFONÍA FIJA .....	29
2.2.8 SECCIONAMIENTOS .....	17	5. APÉNDICE 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO.....	31
2.2.9 ZONAS NEUTRAS DE SEPARACIÓN DE FASES.....	19	6. APÉNDICE 2 PLANOS.....	35
2.2.10 COLAS Y TIRANTES DE ANCLAJE .....	19		
2.2.11 SISTEMAS DE RETORNO Y PUESTAS A TIERRA.....	22		
2.3 ALIMENTACIÓN Y CONEXIONES.....	22		
2.3.1 FEEDERS .....	22		
2.3.2 SECCIONADORES Y CONEXIONES .....	23		
2.3.3 HILO DE CONTACTO.....	23		
2.3.4 PÉNDOLAS .....	23		
2.4 AGUJAS .....	23		
2.5 PROTECCIONES Y CONEXIONES AL CARRIL.....	24		
2.6 VÍAS SECUNDARIAS.....	24		



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente anejo tiene como objetivo describir los sistemas principales para la explotación de la nueva línea ferroviaria de alta velocidad objeto del presente Estudio Informativo: la red de tracción eléctrica, sistemas de seguridad y sistema de comunicaciones.

dado que las líneas ferroviarias de alta velocidad españolas que se encuentran en fase de construcción o de proyecto han adoptado el sistema de electrificación 2x25 kV en base a las experiencias obtenidas en las líneas francesas de alta velocidad y de la línea Madrid-Zaragoza- Barcelona-Frontera francesa, se considerará la misma opción para el caso de la nueva línea de alta velocidad Madrid-Extremadura.

Queda de esta forma descartada la opción del sistema de electrificación 1x25 empleado en la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla (actualmente en funcionamiento). Los campos electromagnéticos inducidos generados por la puesta a tierra de las corrientes de retorno en este sistema, constituyen el origen de numerosas perturbaciones en el sistema de telecomunicaciones en determinadas zonas atravesadas por esta línea.

A lo largo del presente anejo se ha procedido a la descripción y definición de todas las instalaciones necesarias para la implantación del sistema de tracción 2x25 kV. La propuesta de ubicación de subestaciones eléctricas y a la definición de sus respectivas líneas de acometida ni son objeto del presente estudio.

Por último, se detallan las instalaciones necesarias para garantizar la seguridad y permitir la comunicación de las ramas que circulen por la futura infraestructura.

En cualquier caso, las instalaciones definidas en este anejo para el tramo Madrid-Oropesa de la futura línea de alta velocidad Madrid-Extremadura cumplirán los parámetros y especificaciones relativos a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad recogidas en la Directiva 2014/106/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de diciembre de 2014.

## 2. SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Las altas prestaciones de velocidad con las que ha sido diseñado el trazado del tramo Madrid - Oropesa de la futura línea de alta velocidad Madrid-Extremadura imponen una fuerte

demanda de potencia; por ello, es necesario aplicar una tensión de catenaria suficientemente que limite las caídas de tensión y la densidad de corriente en los conductores.

Por otra parte, desde el punto de vista del binomio catenaria-pantógrafo, es necesario el montaje de una catenaria ligera con objeto de tener una captación de corriente de calidad; es decir, es necesario acudir a conductores que tengan el menor peso posible, y, en definitiva, una sección conductora pequeña. En caso de que la tensión no fuera lo suficientemente alta sería necesario aumentar el tamaño de los conductores para disminuir las caídas de tensión a valores admisibles, aumentando el peso de la catenaria.

El sistema adoptado en España para la primera línea de Alta Velocidad, entre Madrid y Sevilla, adoptó el sistema de corriente alterna monofásica a 25 kV y frecuencia industrial de 50 Hz (conocido como sistema 1x25kV). Este sistema ha proporcionado unos resultados válidos, exceptuando las perturbaciones que se generan en el sistema de telecomunicaciones en ciertas zonas puntuales que atraviesa, particularmente en las poblaciones, donde la interrupción de las comunicaciones telefónicas ha sido un hecho habitual. Este problema está generado por la puesta a tierra de las corrientes de retorno, que inducen campos electromagnéticos que producen las perturbaciones al paso del tren, además de por falta de apantallamiento de equipo electrónico en algunas unidades móviles.

Con el objetivo de solucionar en lo posible este problema, y siguiendo la experiencia de la línea Madrid - Zaragoza - Barcelona - Frontera francesa y otras líneas españolas en fase de redacción de proyecto, se ha decidido adoptar el sistema de electrificación en 25 kV corriente alterna para la línea de alta velocidad Madrid - Extremadura, con una catenaria que permita la mejor captación con el mínimo desgaste en el tiempo.

La principal característica de esta catenaria es la introducción de un hilo para la corriente de retorno o feeder negativo. La tensión existente entre el feeder de alimentación y el de retorno es de 50 kV y 25 kV entre carriles y catenaria. De esta forma un mismo material móvil puede circular por líneas con diferente sistema de tracción. El transporte de intensidad por la línea se realiza a 50 kV y la alimentación a 25kV, de esta forma las caídas de tensión disminuyen prácticamente a la mitad, con lo que las subestaciones se pueden distanciar el doble que en el sistema 1x25kV. Este sistema de electrificación es conocido como sistema 2x25kV.

En el sistema 2x25 kV son necesarios, además de las subestaciones de tracción en línea, autotransformadores a lo largo de ésta para transformar la tensión de 50 kV a 25 kV. Éstos

permiten además el mantenimiento de un gran equilibrio en la tensión de la línea, además de protegerla contra corrientes vagabundas.

Si bien se consigue una disminución en el número de subestaciones a implantar, éstas son de mayor potencia instalada. Además se puede optimizar el emplazamiento de las mismas respecto a la traza de la línea de suministro disponible, lo que puede representar una disminución importante de nueva línea de acometida de alta tensión.

La solución en corriente continua a 3.000 V, utilizada generalmente por RENFE, no resulta técnicamente viable en este caso dado que exigiría secciones de catenaria enormes, pantógrafos con mesilla muy superior a la actual, y por tanto muy pesados, y una separación muy pequeña entre subestaciones.

## 2.2 EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN A 2X25 KV

### 2.2.1 Generalidades

El sistema 2x25 kV supone una sofisticación tecnológica importante respecto al sistema 1x25 kV implantado en la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla, constituyendo la tendencia internacional más empleado en líneas de alta velocidad semejantes a la que es objeto del presente estudio.

Se caracteriza por disponer de subestaciones de tracción con transformadores bifásicos de relación AT/ 52 kV conectados a una red eléctrica de Muy Alta Tensión (220 kV ó 400 kV). El secundario de los transformadores tiene tres tomas. Las dos extremas se conectan una a la catenaria y la otra al denominado “feeder negativo”, mientras que la toma central se conectará a la vía y a tierra. Esta conexión a tierra hace que en las tomas extremas aparezcan unas tensiones de +/- 25 kV, es decir, tensiones de 25 kV desfasadas 180º eléctricos.

Los vehículos de las líneas electrificadas a 2x25 kV están alimentados desde la catenaria a +25 kV, de forma que los vehículos que funcionen a 25 kV podrán trabajar indistintamente en sistemas 1x25 kV ó 2x25 kV.

La catenaria y el “feeder negativo” se encuentran seccionados en tramos o cantones eléctricos. Cada cantón está alimentado por un transformador de tracción conectado a una fase diferente a la de los cantones contiguos. De esta manera se intenta minimizar el desequilibrio de la red de Alta Tensión. A este efecto, a la altura de cada subestación existe una zona neutra de separación de fases de longitud superior a 200 m (s/ UNE 50163) para

evitar que los vehículos puedan cortocircuitar la catenaria con los pantógrafos delantero-posterior (“zona neutra de subestación”).

En la subestación se dispone de sendos transformadores que alimentan ambos lados de la zona neutra. En los puntos intermedios entre dos subestaciones también existirán zonas neutras de separación de fases con el objeto de separar eléctricamente los tramos alimentados por transformadores de subestaciones diferentes (“zona neutra inter-subestaciones”). Debe evitarse ubicar las zonas neutras en pendientes para que los vehículos puedan atravesarlas por inercia sin disminuir en exceso su velocidad.

Cada vehículo que circule por la línea estará alimentado en cada instante por la fase (R, S o T) del transformador que le corresponda. La zona de influencia de un transformador es la delimitada entre su subestación y la “zona neutra inter-subestaciones”. A partir de ese punto, el vehículo pasará a estar alimentado con otra fase, la del transformador de la subestación siguiente.

Para el funcionamiento del sistema 2x25 kV se requiere la presencia de centros de autotransformación distribuidos a lo largo del trazado, habitualmente a intervalos de 10 a 12 km. Las tomas extremas de los autotransformadores se conectan a la catenaria y al “feeder negativo” y la toma media al carril y a tierra.

La función de estos centros de autotransformación es la de redistribuir las corrientes de retorno que penetran por la toma media de los autotransformadores hacia el feeder negativo, el cual se convierte así en el cable de retorno de corriente principal. En función de su posición, los centros de autotransformación serán de tipo “intermedio” si se encuentran en un punto intermedio de un cantón, o de tipo “final” cuando se encuentren situados en una “zona neutra inter-subestaciones”.

En la figura 1 se muestra la configuración de una línea electrificada a 2 x 25 kV.

El efecto de la circulación de corriente entre toma media y “feeder negativo” es una inducción de tensión entre toma media y catenaria. La consecuencia inmediata es que la tensión de catenaria se mantiene en niveles altos.

Otra consideración importante es que el sistema funciona en este caso a 50 kV, por lo que a igualdad de potencia demandada por los vehículos, la corriente que circula por la catenaria se reduce a prácticamente la mitad que en un sistema de 1x25 kV, por lo que la caída de

tensión también se ve reducida aproximadamente a la mitad y las subestaciones de tracción pueden distanciarse el doble que en un sistema 1x25 kV.

Atendiendo a la mínima tensión permanente admisible en catenaria, cifrada en 19 kV según la norma UNE-EN 50163, las subestaciones pueden estar separadas del orden de 70 km como máximo.

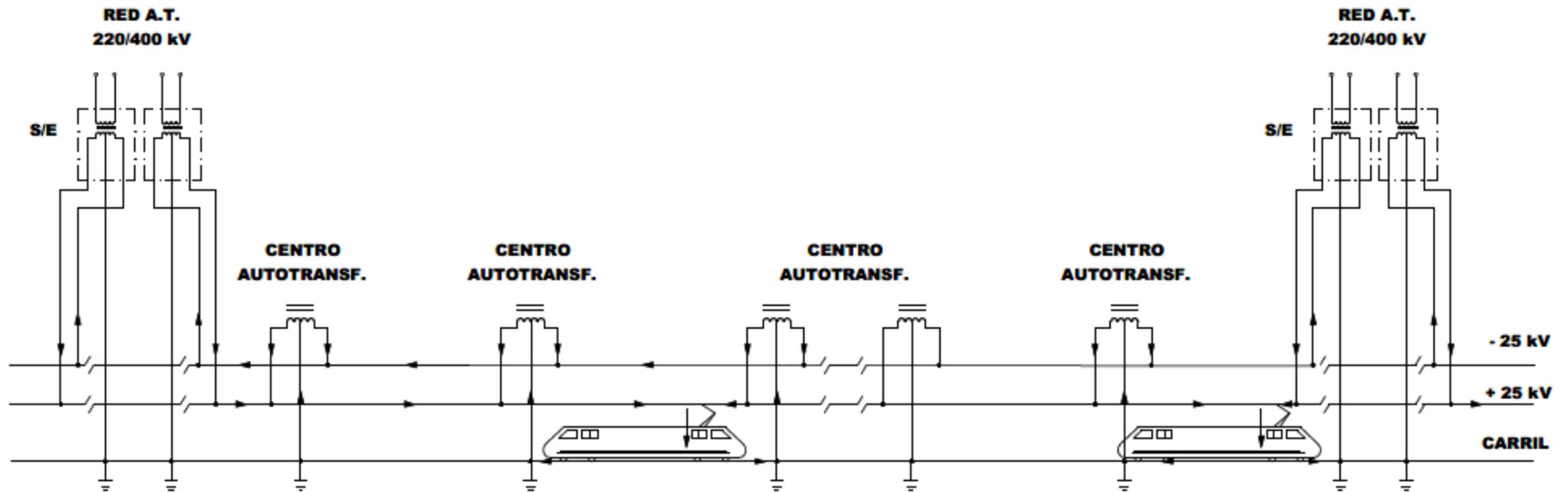


Figura 1.- Configuración de una línea electrificada a 2x25 kV.

## 2.2.2 Constitución de la catenaria

### a) Obras de paso

A la catenaria de líneas ferroviarias de altas velocidades de diseño, y por lo tanto de captación, se le plantean elevados requisitos. La energía ha de ser transmitida a los vehículos de forma segura, sin incidencias negativas en el medio ambiente (por efecto de

los arcos eléctricos, por ejemplo) y sin un desgaste elevado del hilo de contacto y de la mesilla en los vehículos motores.

La integración óptima del hilo conductor y el pantógrafo se consigue cuando la fuerza entre el hilo conductor y el pantógrafo permanece lo más constante posible y cuando los movimientos en altura del sistema se mantienen reducidos para evitar daños en los equipos de catenaria o en los vehículos.

Para ello, las catenarias deben cumplir unos requisitos de orden estático y dinámico:

- Posición de reposo uniforme.
- Elasticidad escasa y uniforme.
- Concentración uniforme de masas.

En comparación con los sistemas tradicionales, el sistema debe transportar altas intensidades de servicio y cortocircuito y reducir el coste de mantenimiento. Una rama ferroviaria de composición doble, circulando a velocidades de 350 km/h puede demandar con una catenaria de 25 kV del orden de 1.100-1.200 A. Para altas velocidades sólo resultan adecuados los sistemas de suspensión de catenaria. En estos modelos, el hilo conductor está suspendido de un hilo sustentador y así se mantiene a una altura determinada.

La fuerza de apriete entre el pantógrafo y el hilo conductor produce una elevación de la catenaria. Al elevar la velocidad de marcha debe aumentar las fuerzas de apriete para que siempre se garantice una fuerza mínima a pesar de los mayores componentes dinámicos que existen en las velocidades de marcha elevadas. Se asegura así una transferencia de corriente segura sin interrupción del contacto.

A altas velocidades, para mantener la elevación del hilo conductor provocada por el pantógrafo dentro de límites aceptables, es necesario reducir la elasticidad en la catenaria. Por elasticidad se entiende el desplazamiento vertical que experimenta la catenaria por efecto de un esfuerzo dado. La elasticidad no depende prácticamente del tipo de catenaria, por lo que se recurre a sistemas y artificios constructivos, como sustentadores, péndolas elásticas, catenarias compuestas, etc.

Cada catenaria constituye, junto con el pantógrafo, un sistema elástico capaz de oscilar con escasa atenuación. El pantógrafo produce oscilaciones en el sistema que también afectan a las secciones situadas delante del pantógrafo y que tienen efecto sobre el contacto. Cuanto mayor es la velocidad, mayor es la influencia de este efecto.

Las oscilaciones en la fuerza de contacto, y con ello las interrupciones en la tensión, se valoran por su cantidad y duración (“arcos eléctricos”). La aparición de estos arcos se debe a la disminución de las fuerzas de apriete y es un criterio para el comportamiento dinámico de la catenaria. Estos arcos provocan, además de perturbaciones radiofónicas, el desgaste en el hilo conductor.

Los criterios estáticos y dinámicos requieren necesariamente una alta calidad de montaje. Por ello, las tolerancias de montaje son extremadamente reducidas para una catenaria de alta velocidad.

La catenaria será de tipo poligonal, dado que la superficie que contiene el hilo sustentador, hilos y péndolas, tiene una proyección ortogonal con vértices en los puntos de sustentación debido al descentramiento.

La catenaria de última generación propuesta mejora las características y parámetros de las catenarias de alta velocidad existentes en la actualidad. Presenta las siguientes características:

- Catenaria simple, poligonal, atirantada, con regulación automática e independiente de la tensión mecánica.
- Formada por un sustentador de cobre electrolítico de 100 mm<sup>2</sup> de sección y por un hilo de contacto ranurado de 150 mm<sup>2</sup> de aleación de sección cobremanganeso (0,6%) con una alta resistencia mecánica.
- Como circuito de retorno, un hilo de retorno de aluminio-acero de sección LA-28 que conecta todos los postes.
- Cableado con menor elasticidad en el centro del vano que la actual.
- Un “feeder negativo” de cable de Al-Ac-180 situado sobre una cruceta, lado campo, y a una distancia de 1,30 m del poste. Este feeder puede coexistir con el feeder de acompañamiento que se sitúa en el lado vía.
- Coeficiente de homogeneidad menor del 10%.

Cable situado bajo la canaleta de comunicaciones a todo lo largo del trayecto para la recolección de todas las puestas a tierra de la instalación. A él se unen todas las estructuras que se encuentran en el interior de las vallas de protección, las mismas vallas, los puntos medios de los autotransformadores, el cable de guarda y los puntos centrales de las juntas inductivas o elementos sustitutos en el tipo de señalización que se elija. También se unen a este cable las armaduras de puentes, viaductos y túneles, así como las estructuras

metálicas que se encuentren en el área de influencia de la instalación. La función de este colector de tierras es crear una plataforma equipotencial a todo lo largo de la línea que elimine el riesgo de sobretensión en cualquier elemento de la línea.

### **b) Dimensionamiento mecánico**

La catenaria a instalar debe cumplir los siguientes criterios de dimensionado mecánico:

- Criterios estáticos.
- Criterios dinámicos.
- Criterios de calidad de captación de corriente.

#### **b.1) Criterios estáticos**

La catenaria ha de tener una elasticidad lo más constante posible a lo largo de los vanos. Dispondrá de péndolas en “Y” con las que se pretende garantizar un coeficiente de irregularidad inferior al 10%.

#### **b.2) Criterios dinámicos**

Se validará el conjunto sustentador-hilo de contacto mediante un estudio de comportamiento dinámico de la catenaria para las velocidades de circulación previstas.

Este comportamiento dinámico se calibra mediante el cumplimiento de un conjunto de parámetros que fijan una elasticidad adecuada de la catenaria conforme a la normativa UIC 794 y EN 50.119:

- Velocidad de propagación de ondas: > 110 m/s
- Factor Doppler > 0'26
- Coeficiente de reflexión < 0'5
- Factor de amplificación < 1'9

La forma de calcular estos parámetros es la siguiente:

- Velocidad de propagación de la onda en el hilo de contacto:

$$V_p = \frac{THC}{mHC} \cdot 0,5$$

Vp Velocidad de propagación (m/s)

THC Tensión del hilo de contacto (N)

mHC Masa por unidad de longitud (kg)

- Factor de reflexión:

$$r = \frac{(TS \cdot mS) \cdot 0,5}{(TS \cdot mS) \cdot 0,5 + (THC \cdot mHC) \cdot 0,5}$$

TS Tensión del hilo sustentador (N)

mS Masa por unidad de longitud (kg)

- Factor Doppler:

$$\alpha = \frac{(V_p - V_c)}{(V_p + V_c)}$$

- Factor de ampliación:

$$FA = \frac{r}{\alpha}$$

#### **b.3) Criterios de captación de corriente**

La tipología de catenaria a utilizar tendrá que cumplir los siguientes criterios en la interrelación con el pantógrafo:

- Criterio de la fuerza de contacto

Conforme EN 50119 la catenaria deberá admitir los siguientes esfuerzos dinámicos máximos:

- Esfuerzo dinámico máximo (Fm + 3T) < 350 N
- Esfuerzo dinámico mínimo (Fm - 3T) > 0 N

- Criterio de pérdida de contacto.

El porcentaje de generación de arcos será inferior al 1%.

- Criterio de elevación del hilo de contacto en el apoyo.

La máxima elevación máxima admisible del hilo de contacto en el apoyo al paso del pantógrafo será de 120 mm.

### **2.2.3 Tensiones de los conductores. Compensadores**

Para realizar la compensación mecánica se recurre a poleas en bloque, contrapesos y polipastos. Se prescinde pues de los dispositivos de muelle con polea excéntrica, ya en desuso, y de los cilindros de gas nitrógeno comprimido con cierre estanco en aceite, inviables para tensiones elevadas.

Las tensiones mecánicas del sustentador e hilo de contacto están reguladas mediante polipastos y contrapesos independientes para cada uno de ellos. Este mecanismo asegura que las tensiones mecánicas del sustentador e hilo de contacto permanecerán constantes entre -20° y +80° C.

Entonces, dado que con el frotamiento del pantógrafo se desgasta el hilo de contacto y se reduce su sección, es necesario realizar la compensación mecánica quitando contrapesos cada cierto tiempo, dependiendo del número de circulaciones.

### **2.2.4 Criterios geométricos**

#### **a) Generalidades**

Con objeto de que el desgaste del pantógrafo se reparta a lo largo de todo el frotador por igual, se sitúa el hilo de contacto en recta formando un zig-zag respecto del eje de vía. En curva se opera de igual manera para que siga la curva sin perder el contacto hilo-pantógrafo.

Los vanos máximos serán de 60 m y el descentramiento será de  $\pm 20$  cm en vía recta. En curvas el descentramiento podrá ser de  $\pm 24$  cm.

#### **b) Altura de la catenaria**

Siguiendo las recomendaciones de la UIC será:

- A cielo abierto: 1,40 metros.
- Seccionamiento a cielo abierto: 1,40-2,30 metros.

- Longitud del cantón de compensación: Máximo-1.280 metros.

Si bien la altura de los pasos superiores y obra de fábrica debe permitir, en cualquier caso, la instalación de catenarias con altura de 1,40 m es posible el paso con alturas inferiores utilizando equipos de altura reducida, perfectamente ensayados y aceptados.

La longitud de péndolas debe estar calculada para que el hilo de contacto presente en posición estática una flecha de 1/1.000 del vano.

#### **c) Altura del hilo de contacto**

La altura del hilo de contacto de diseño respecto al plano de rodadura de la catenaria a suministrar será de 5,08 a 5,30 metros.

En el caso de tener que realizar transiciones debidas a la variación de altura (presencia de pasos superiores, por ejemplo), la pendiente de transición nunca deberá ser superior a 1‰, no siendo superior al 0'5‰ en las transiciones, conforme EN 50199.

#### **d) Vanos**

Conforme UIC 799 la longitud máxima de los vanos será de 64 metros, y únicamente se permitirán diferencias de longitud de vanos continuos no superiores a 10 metros. Como norma general en este estudio, la longitud máxima del vano será de 60 metros.

El número de vanos de los seccionamientos, será como mínimo:

- Seccionamientos de compensación: 4 vanos
- Seccionamientos de lámina de aire : 4 vanos

En las figuras 2 y 3 se presentan los esquemas de los seccionamientos en 4 vanos para compensación y de lámina de aire de la línea aérea de contacto de alta velocidad y 25kV de alimentación.

#### **e) Tolerancias de instalación**

La posición de cimientos y soportes en relación con la posición teórica de la vía no debe diferir de la teórica más de 10 cm.

El montaje de ménsulas y catenaria deberá hacerse con la vía en primera nivelación. Las tolerancias de altura y posición del hilo de contacto serán de 1 cm, menores que las tolerancias absolutas de la vía.

Por lo tanto, y para evitar posibles diferencias entre la posición teórica de la vía y la definitiva, se utilizarán ménsulas que permitan la corrección de alturas y descentramiento de la catenaria después de construida debido a las variaciones de la posición de la vía respecto a la teórica. Ello se realizará sin modificar el pendolado hasta diferencias de altura de 18 cm y descentramientos de 10 cm en ambas direcciones.



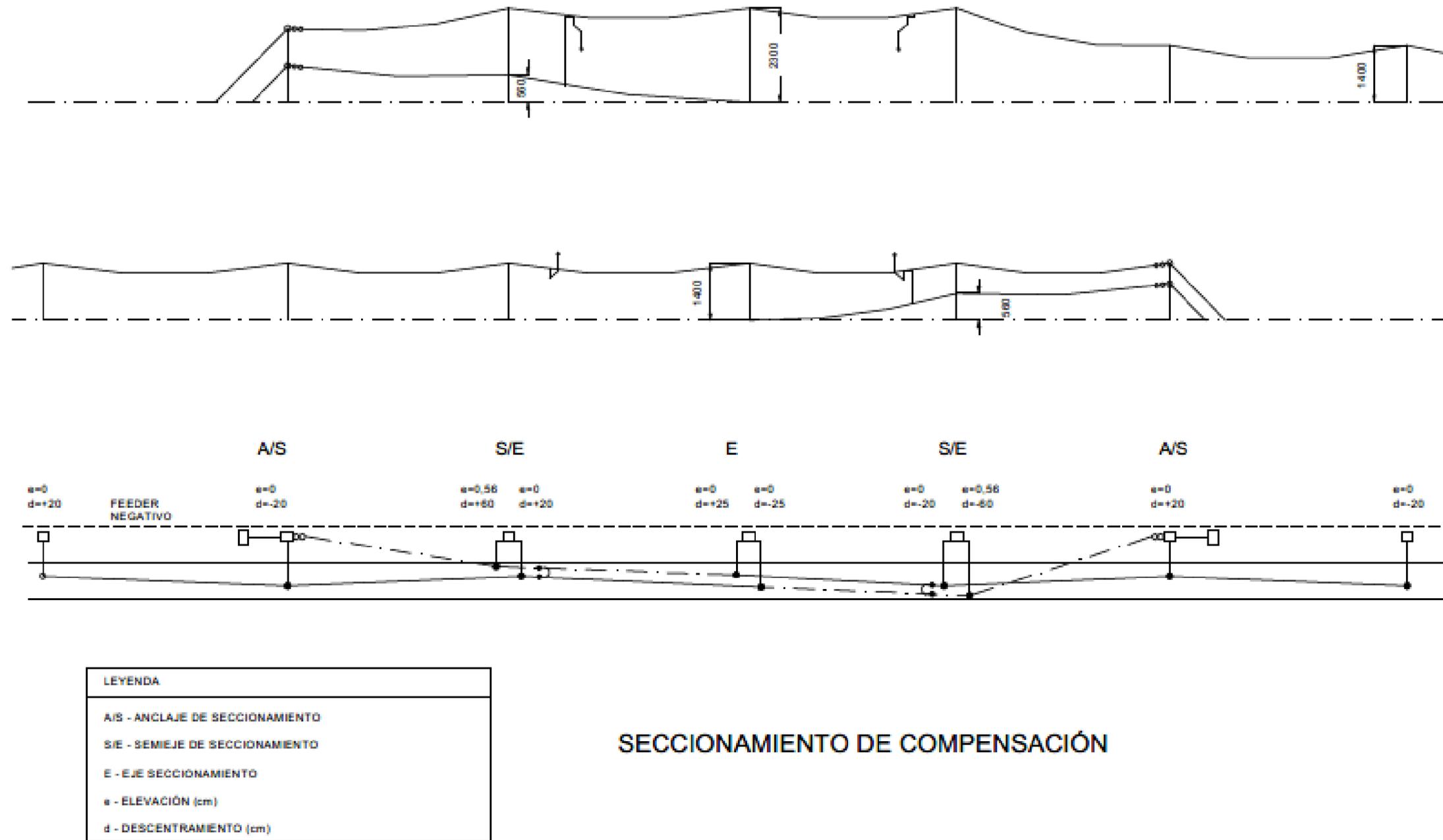


Figura 2.- Seccionamiento de compensación.

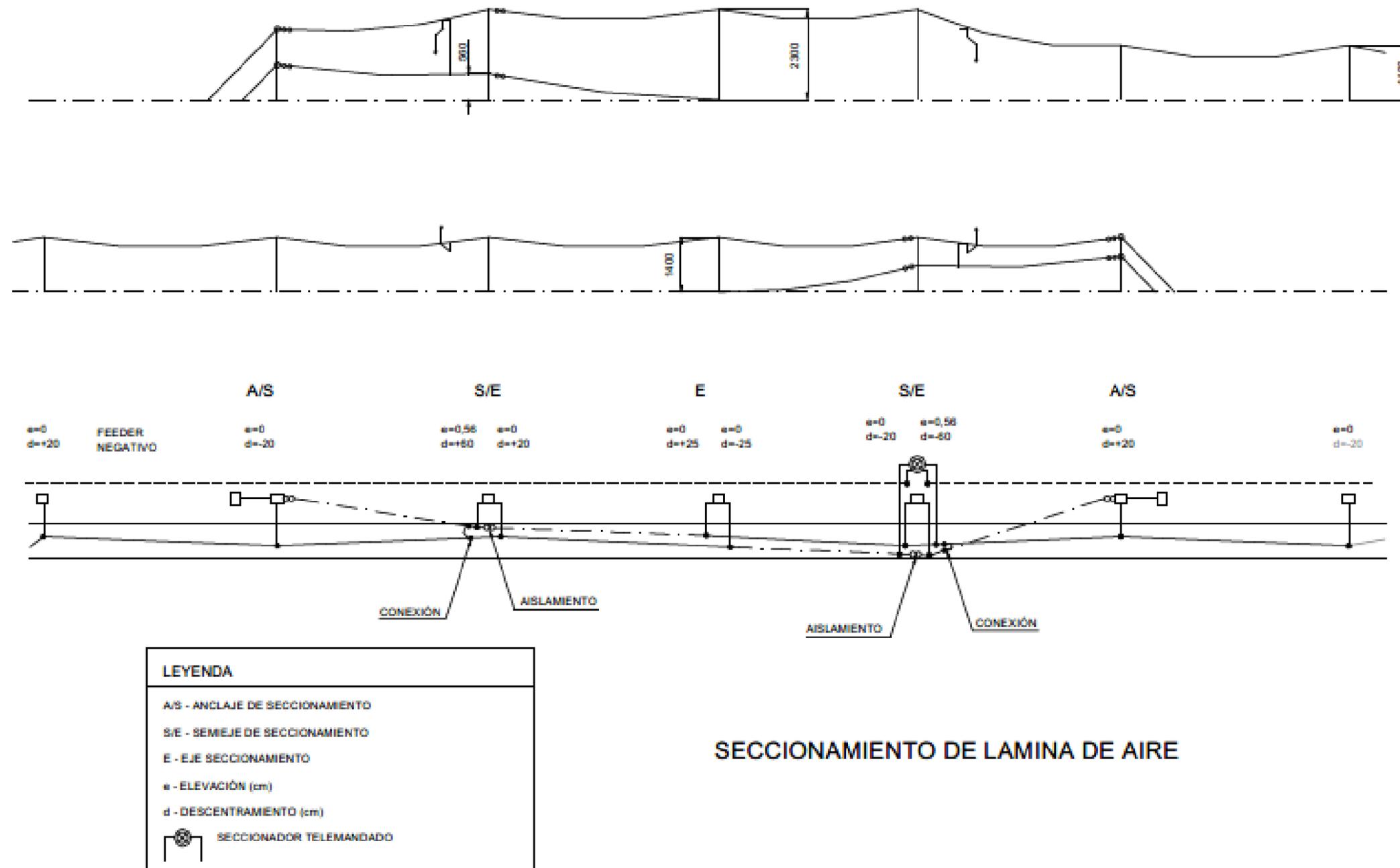


Figura 3.- Seccionamiento de lámina de aire.

### 2.2.5 Equipo de vía general

#### a) Postes

Los postes deberán permitir la adaptación a las diferentes alturas del hilo de contacto. La altura respecto al plano de rodadura será de 5,08 a 5,30 metros.

Los postes a utilizar para sustentar las catenarias, podrán ser de los tipos siguientes:

#### **Postes de vía general**

Podrán emplearse tanto postes de hormigón como metálicos.

Si se opta por los postes de hormigón, deberán ser armados pretensados y preferentemente centrifugados.

Los postes metálicos deberán protegerse debidamente mediante tratamientos químicos (galvanizado, etc.) pudiendo complementarse con pintura.

#### **Postes en zona de puentes y viaductos**

Se aconseja el uso de postes de acero, bien de perfiles HEB galvanizados, o de perfil compuesto con embarrado diagonal también galvanizado.

Pueden emplearse postes de hormigón si se adecua apropiadamente la base para fijarlo en la losa o estructura correspondiente.

#### **Postes en Puesto de Banalización y Apartaderos**

El tipo a utilizar dependerá de la ubicación, del gálibo y de las cargas a soportar.

Podrán ser de hormigón armado pretensado o bien metálicos de celosía galvanizados con pintura protectora posterior si fuese necesario.

Los postes de hormigón armado y pretensado deberán cumplir las siguientes normas y condiciones:

- Incorporación de casquillos con rosca métrica para fijación de todos los equipos propios del sistema de catenaria, así como para la puesta a tierra.

- Incorporación de una varilla de armado no tensada o cable para la puesta a tierra interior del poste. Dicha varilla o cable deberá estar protegido para que en caso de descargas atmosféricas no afecten a la estructura del mismo. Todos los casquillos roscados deberán estar conectados a la instalación de puesta a tierra interior del poste.
- Incorporación de letreros de identificación del tipo de poste, así como casquillos para su referencia topográfica.
- Cálculo de la estabilidad de la estructura, incluyendo un cálculo de deformación que permita verificar que la geométrica de la catenaria no resulte alterada fuera de los límites admisibles debido tanto a cargas no permanentes como a las originadas por la presión del viento.
- Para la fijación tanto del tacón como del tirante de la ménsula deberán llevar incorporados una serie de casquillos roscados para poder regular la altura de la catenaria.
- Los postes de hormigón serán del tipo troncocónicos con el fin de mejorar la relación peso-resistencia.
- Fijación al terreno mediante tubos o cimentaciones especiales.
- Los tubos se colocarán en el terreno mediante hinca o bien mediante perforación.
- La base de los postes se colocarán en los tubos, debiendo penetrar la longitud necesaria.
- La serie de postes de hormigón a utilizar será definida en función de la tecnología del sistema de catenaria a utilizar.

Los postes metálicos deben cumplir las siguientes normas y condiciones:

- Incorporación de letreros de identificación del tipo de poste, así como casquillos para su referencia topográfica.
- Se calculará la estabilidad de la estructura, incluyendo un cálculo de deformación que permita verificar que la geometría de la catenaria no resulte alterada fuera de los

límites admisibles a causa tanto de cargas no permanentes como de las originadas por la presión del viento.

- Pueden ser de perfil simple o compuesto unidos por presillas, diagonales o cualquier otro sistema.
- Los postes deberán incorporar elementos que impidan el fácil acceso a las partes altas (en tensión eléctrica).
- Los postes estarán protegidos mediante galvanizado.
- La fijación de los postes al terreno se realizará mediante pernos de anclaje de acero galvanizados sobre cimentaciones de hormigón armado o pilotaje por tubos o cimentaciones especiales.

En su caso, los tubos se colocarán en el terreno mediante hinca o bien mediante perforación. La base de los postes se colocará en los tubos, debiendo penetrar la longitud necesaria.

En cualquier caso, los criterios y reglas que deberán aplicarse y tenerse en cuenta para el dimensionamiento y cálculo de postes, son:

- Acciones sobre el poste:
  - Peso propio de los cables (sustentador, hilo de contacto y colas de anclaje).
  - Acción del viento sobre los cables (V =120 km/h).
  - Esfuerzo horizontal debido al atirantamiento del cable.
  - Esfuerzo horizontal provocado por el trazado en curva (R>2000 m).
  - Peso propio del poste y de los accesorios.
  - Acción del viento sobre el poste en las dos direcciones (V=120 km/h).

En el cálculo no se considerará el peso del hielo dado que se trata de un sistema de cables compensado.

Estos esfuerzos se obtendrán para cada tipo de cable y se sumarán según el tipo de poste conforme a la tabla siguiente:

TIPO POSTE	SUSTENTADOR	CONTACTO	RETORNO	FEEDER +	FEEDER -	COLA SUSTENT.	COLA CONTACTO
VIA GENERAL	1	1	1	1	1	0	0
PUNTO FIJO	1	1	1	1	1	2	0
ANCL P FIJO	1	1	1	1	1	1	0
ANCL SECC	1+1/2	1+1/2	1	1	1	1	1
SEMI EJE SECC.	1	1	1	1	1	1	1
EJE SECC.	1	1	1	1	1	0	1

Además de los esfuerzos de flexión, se considerará en los semiejes el esfuerzo torsor que produce la cola de anclaje.

También se estudiará como carga accidental, el momento (My) que produciría sobre el poste una rotura de catenaria. Esta situación de carga supone que el poste soporta la tensión de trabajo de los cables únicamente en uno de sus lados.

- Verificación tensional

Se comprobará que la tensión en el poste no supere la tensión máxima admisible:

$$\sigma = \frac{N\omega}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} < \frac{f_y}{\gamma_s \gamma_d}$$

Donde:

- fy            Límite elástico del acero del poste.
- γy=1,10    Coeficiente de minoración de la resistencia del acero.
- γd =1,50    Coeficiente de mayoración de cargas.
- N            Esfuerzo axil.
- ω            Coeficiente para considerar los fenómenos de inestabilidad en perfiles comprimidos (Método omega de la Norma EA-95).
- A            Sección del poste en el empotramiento.
- Wx, W        Momentos resistentes del poste en el empotramiento.

Por otro lado, si se trata de un poste empresillado la obtención de tensiones se realizará de la siguiente forma:

Esfuerzo horizontal que se absorbe por la inclinación de los montantes:

$$H_{\text{montantes}} = 2 \cdot M_x \cdot \frac{\tan \alpha}{d}$$

Siendo  $\alpha$  la inclinación de los montantes,  $M_x$  el momento total y  $d$  la separación de los cordones.

La fuerza residual que produce los momentos secundarios es:

$$H_{\text{reducido}} = H_x - H_{\text{montantes}}$$

Y el momento secundario es:

$$M_{\text{secundario}} = H_{\text{reducido}} \cdot s/4$$

Donde  $s$  es la separación entre presillas.

Finalmente se obtiene la tensión de trabajo de los perfiles como:

$$\sigma = \frac{N\omega}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_{\text{secundario}}}{W_{\text{cordones}}} + \frac{M_y}{W_y}$$

utilizando la nomenclatura anterior.

### **b) Macizos**

Las cimentaciones que se utilizarán en los proyectos dependerán del tipo de poste a emplear.

Para postes de hormigón la cimentación se realizará preferentemente mediante tubos que podrán ser instalados mediante hinca o bien mediante perforación.

Las cimentaciones de los tubos dependerán del tipo de poste de hormigón a utilizar y de las características del terreno.

Se proyectarán tubos a instalar mediante hinca en terrenos que no sean compactos ni rocosos.

Se proyectarán tubos a instalar mediante perforación en aquellos terrenos que sean compactos o rocosos, para lo cual deberá realizarse el agujero y posteriormente se hormigonará el tubo con hormigón de resistencia mínima a compresión a 28 días de 25 N/mm<sup>2</sup>.

La cara superior de los tubos deberá proyectarse a una cota inferior respecto del plano medio de rodadura de la vía de 0,85 m.

Para el caso de postes metálicos (de celosía o perfiles metálicos) se proyectarán cimentaciones de hormigón con pernos de anclaje o mediante tubos.

Las cimentaciones serán armadas con acero galvanizado y podrán ser de sección circular y de profundidad apropiada en función de las cargas a aplicar.

En el caso de terrenos rocosos de cimentación de los postes metálicos se podrá realizar mediante micropilotes y bases prefabricadas con pernos de anclaje.

En la fijación mediante pernos de anclaje de acero galvanizado se deberán asegurar las dimensiones exactas de los pernos y las distancias apropiadas mediante plantillas al objeto de que la instalación del poste pueda realizarse de forma correcta.

La cara superior de los macizos se colocará a una cota por debajo del plano medio de rodadura de la vía de 0,85 m.

Todos los elementos estructurales de los macizos deberán conectarse a la tierra del sistema de tracción.

Para la verificación de los macizos se han hallado los momentos de vuelco ( $M_v$ ) y los momentos actuantes ( $M_t$ ), imponiéndose la condición:

$$M_v > M_t$$

### **Momentos actuantes**

Para hallar los momentos actuantes  $M_t$  se consideran las acciones sobre el poste y las características del hilo de contacto y sustentador. La tabla siguiente recoge las tensiones en kN y la masa en kg: de ambos.

Sustentador			Hilo de contacto		
Tipo	Tensión	Masa	Tipo	Tensión	Masa
100	16.396	0,89	150	21.547	1,335

Acciones sobre el poste

Las acciones consideradas sobre el poste son:

- Peso propio de los cables (sustentador, hilo de contacto, y colas de anclaje).
- Acción del viento sobre los cables (V=120 km/h).
- Esfuerzo horizontal debido al atirantamiento del cable.
- Esfuerzo horizontal provocado por el trazado en curva (R>2000 m).
- Peso propio del poste y de los accesorios.
- Acción del viento sobre el poste en las dos direcciones (V=120 km/h).
- En los semiejes el esfuerzo torsor que produce la cola de anclaje.
- Momento (My) que produciría sobre el poste una rotura de catenaria. Esta situación de carga supone que el poste soporta la tensión de trabajo de los cables únicamente en uno de sus lados.

#### Momento volcador de macizos

Macizos tipo Md (Desmonte)

Para la verificación de la cimentación se utiliza el método propuesto por el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión. En este reglamento se exige que la cimentación tenga un ángulo de rotación máxima  $\alpha$  con  $\text{tg}(\alpha) < 0,01$ . Sin embargo para aumentar el coeficiente de seguridad se considera un valor  $\text{tg}(\alpha) = 0,005$ .

El momento total respecto al eje de giro del macizo es:

$$M_{total} = 0,0138 \cdot C_t \cdot t^3 \cdot b \cdot 10^4 + \text{Peso} \cdot a \left( \frac{1}{2} - \frac{2}{3} \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{\text{Peso}}{C_t \cdot a^2 \cdot b}} \right)$$

Con

$$\text{Peso} = 2.200 \cdot a \cdot b \cdot h + K$$

Ct es el coeficiente de compresibilidad del terreno, K el peso del poste y accesorios (estimado en 400 kg) y a, b, y h las dimensiones del macizo.

El momento respecto la base del poste se obtiene con:

$$M_v = M \cdot \frac{H}{H + 0,1 + 0,666 \cdot t}$$

H es la altura total del poste y t la altura del terreno estimada que se moviliza con empuje activo.

Este momento Mv deberá ser en todo caso mayor que el momento solicitante en la base del macizo.

Macizos tipo Mt (Terraplén)

Idénticamente al caso anterior se obtiene la expresión para Mtotal para la geometría del macizo tipo T.

$$M_{total} = \frac{1}{108} \cdot 10^4 \cdot C_t \cdot t^3 \cdot b + P_1 \cdot \frac{a}{2} + P_2 \cdot \left( a + \frac{c}{3} \right) - (P_1 + P_2) \cdot d \left( \frac{2}{3} \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{P_1 + P_2}{C_t \cdot d^2 \cdot b}} \right)$$

$$M_v = M \cdot \frac{H}{H + 0,1 + 0,666 \cdot t}$$

Macizos tipo Ma (anclaje)

La catenaria ejerce sobre el conjunto poste-tirante una fuerza que se absorberá mediante una componente vertical a través del poste y una componente oblicua (F) a través del tirante y que, por tanto, debe ser compensada por el macizo de anclaje. La expresión de F es la siguiente:

$$F = \sqrt{2} \cdot 640 \cdot t^2 (a + b) + 358,6 \cdot t^3 + 2200 \cdot a \cdot b \cdot h$$

A su vez la tensión mecánica máxima (N) del sustentador de hilos de contacto se

obtiene mediante la expresión:

$$N = 640 \cdot t^2 (a + b) + 358,6 \cdot t^3 + 2200 \cdot a \cdot b \cdot h$$

### **c) Aisladores**

Los aisladores a emplear serán de porcelana o de vidrio templado.

Se distinguirán entre aisladores de ménsulas, aisladores para soportar feeders y cables y, por último, aisladores de cola de anclaje o intermedios. Todos ellos fabricados y ensayados conforme normativa EN.

El nivel de aislamiento de los aisladores será de 36 kV, conforme EN-50124-1.

La longitud de línea de fuga aconsejada por la B.E.I. (Publicación 815 de 1986) para líneas de 25 kV nominales entre fase y tierra, que suponen una tensión máxima no permanente de 29.000 V (Norma UNE EN 50163), será superior a 803 mm para un grado de polución ligera conforme Anexo A de la EN 50119.

La tensión mínima de rotura de los aisladores deberá ser superior al 95% de la tensión mínima de rotura del sistema de cables que soporta. Asimismo, el máximo esfuerzo de trabajo no deberá superar el 40% de valor de la tensión mínima de rotura del mismo.

### **d) Atirantados**

El hilo de contacto se atirantará 200 mm alternativamente en cada poste. En eje de seccionamiento se atirantará 250 mm alternativamente.

En curvas y ejes de seccionamiento se permitirá un atirantado mayor siempre y cuando el hilo de contacto únicamente trabaje dentro de la zona de captación del pantógrafo, según UIC 794. Como máximo se recomiendan descentramientos laterales no superiores a 300 mm.

El descentramiento máximo del hilo de contacto bajo el efecto del viento transversal en el centro del vano será 400 mm.

En curvas de radio entre 2.500 y 3.000 m el atirantado se realizará con valores de +200 mm y cero en el poste siguiente.

En radio superiores a los 3.000 m el atirantado será como en rectas, alternativo dentro y fuera de 20 cm.

### **e) Ménsulas**

En la vía general la disposición de la catenaria será sobre ménsulas de tubo triangulares y aisladas, ligeras, preferiblemente de aluminio.

Cuando sea necesario suspender varias catenarias se emplearán disposiciones de doble y triple ménsula sobre el mismo apoyo y, si es necesario, se emplearán pórticos rígidos o voladizos soporte de ménsulas sobre los que se apoyan los equipos que soportan tensiones diferentes. Siempre que sea posible se instalarán los aislamientos de modo que todas las ménsulas sobre el mismo soporte estén sometidas a la misma tensión.

En los casos como ejes de seccionamiento de aire o en zonas neutras en que obligatoriamente debe preverse la existencia de tensiones diferentes en el mismo apoyo, se preverán las distancias eléctricas necesarias tal como se ha indicado anteriormente.

Del mismo modo, cada ménsula tendrá la posibilidad de moverse libremente entre los límites de temperaturas admitidos sin interferir con el movimiento de otras ménsulas situadas en el mismo soporte.

Los soportes y dispositivos de atirantado tendrán como misión minimizar los movimientos de conductor de contacto con respecto a la vía y deben ser estables incluso con viento en dirección inversa al atirantado.

### **f) Catenaria en viaducto**

La electrificación en viaductos y puentes se realizará teniendo presente las siguientes indicaciones:

- La altura de los hilos de contacto será de 5,08 ó 5,30 m.
- La altura de la catenaria será de 1,40 m salvo en caso de seccionamiento, en que podrá ser mayor.
- La ubicación de los postes se realizará normalmente sobre los pilares de los viaductos y puentes, sin afectar la estructura de aquellos.

- La colocación de los postes se realizará sobre bases preparadas con ejes roscados sobre el tablero.
- El gálibo de colocación de postes es de 3,225 m de eje de vía a eje de poste.
- No se ubicarán zonas neutras ni seccionamientos en puentes ni en viaductos debido al difícil acceso en caso de incidencias y/o tareas de mantenimiento.
- En caso de tener que proyectar anclajes sobre puentes y viaductos, estos se realizarán con placas montadas sobre el tablero.
- La longitud de los vanos en viaducto y puente dependerá de si es recta o curva y de la velocidad del viento.

#### **g) Equipamiento en estación**

La electrificación de las estaciones se realizará teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La altura de los hilos de contacto será de 5,08 - 5,30 m.
- La altura de la catenaria será variable al existir equipos de agujas aéreas y de seccionamiento.
- Independización mecánica de las catenarias de las vías generales de las catenarias de las vías secundarias. Esto se logrará instalando equipos de ménsulas sobre postes independientes, sobre dinteles de pórticos rígidos o bien sobre dinteles de ménsulas rectas.
- Instalación del mismo tipo de catenaria compensada en todas las vías.
- No existirán zonas neutras en las estaciones en las vías generales.
- Realización de agujas aéreas en función del tipo de aparato de vía y de la velocidad de circulación por vía desviada.
- Instalación de seccionamientos de lámina de aire a la salida y entrada de las estaciones en coordinación con el sistema de señalización.
- No se ubicarán postes delante de los edificios de viajeros o en zonas donde se entorpezca la circulación de viajeros.

- La ubicación de los postes deberá tener presente el gálibo solicitado en cada lugar, debiendo ser 3,00 m la distancia mínima de eje de vía a eje de poste en zonas fuera de andenes. En éstos la distancia deberá ser mayor.

#### **h) Efectos en túneles**

La electrificación en los túneles deberá realizarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- No deben instalarse seccionamientos de compensación en túneles cortos, procurando desplazarlos al exterior.
- No es conveniente proyectar zonas neutras en túnel debido al gálibo necesario.
- La longitud de los vanos dependerá del gálibo existente y de la altura de catenaria.
- La altura de los hilos de contacto será de 5,08 ó 5,30 m e igual a la del exterior.
- La altura de la catenaria será variable dependiendo de los equipos normales o de seccionamiento.
- La compensación de las catenarias en el interior del túnel se realizará mediante poleas o polipastos de relación 1:3 ó 1:5 y equipos de contrapesos. Estos deberán estar diseñados para que su geometría se adapte al gálibo del túnel.

#### **2.2.6 Compensación de tensiones**

La tensión del sustentador y del hilo de contacto será compensada de forma independiente y automática mediante poleas y pesos apropiados. La relación de poleas será 1:3 para el sustentador y 1:5 para compensar el hilo de la catenaria.

Las tensiones de trabajo del sustentador y del hilo de contacto cumplirán las indicaciones de la EN 50119.

En el centro de dos equipos de contrapesos se colocará un punto fijo que impedirá el desplazamiento de la catenaria. La longitud prevista entre dos equipos compensados no será superior a 1.280 m.

Los equipos de compensación a cielo abierto se ubicarán en el mismo poste, colocando las poleas en paralelo y a la misma altura sobre el centro, o bien colocando las poleas a distinta altura pero en vertical y con distinta separación del poste.

Los equipos de compensación se equiparán adecuadamente para impedir el movimiento de los contrapesos por agentes externos a la catenaria o su caída en caso de rotura del conductor. Llevarán protecciones para garantizar la seguridad de las personas, así como sistema antirrobo de pesas.

En el apéndice fotográfico se adjunta la imagen de un equipo de compensación de tensiones que están siendo actualmente instaladas en la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza - Barcelona-Frontera francesa.

### 2.2.7 Puntos fijos

En el centro de los cantones de compensación mecánica se instalarán puntos fijos que deben cumplir los siguientes requisitos:

- La longitud de los semicantones deberá ser lo más igual posible para evitar desplazamientos de los conductores.
- El cable de arriostamiento podrá ser de cobre o bronce.
- La carga de trabajo del cable se determinará según la norma EN 50119.
- En caso de condiciones ambientales diferentes en ambos equipos de compensación, es conveniente que los puntos fijos lleven latiguillos.
- Los latiguillos deberán instalarse entre la 2ª y 3ª péndolas normales, de longitud aproximada cinco veces la altura entre el sustentador y el hilo de contacto.
- El cable de los latiguillos podrá ser de bronce BzII o de Cu.

En la figura 4 se representa el esquema de un punto fijo del cantón de compensación de la línea aérea de contacto.

### 2.2.8 Seccionamientos

Los seccionamientos se proyectarán atendiendo a los siguientes criterios:

- Estarán situados como máximo a cada lado de un cantón de 1.200-1.280 m.
- La altura de hilo de contacto será de 5,08-5,30 m
- La separación de las catenarias en un seccionamiento será:

- Tipo compensación > 200 mm

- Tipo lámina de aire > 400 mm

- Número de vanos de un seccionamiento:

- Tipo compensación a cielo abierto > 4 vanos

- Tipo lámina de aire a cielo abierto > 4 vanos

En los seccionamientos de lámina de aire las colas de anclaje aisladas deberán llevar conexiones equalizadoras, uniendo dichas colas a las catenarias del trayecto.

Para la ubicación de los seccionamientos deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- No deben instalarse seccionamientos de compensación en túneles cortos, procurando desplazarlos al exterior.
- No deben instalarse seccionamientos de compensación en puentes cortos ni bajo pasos superiores.
- Se recomienda no situar seccionamientos en puentes y viaductos debido al difícil acceso en caso de incidencias o en caso de trabajos de mantenimiento preventivo.
- Debe evitarse la instalación de seccionamientos en zonas de agujas aéreas, debido a la complicada ejecución de la instalación de la catenaria en cruce.

En el apéndice fotográfico se han incorporado imágenes de un seccionamiento de compensación de los instalados en la nueva línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa.

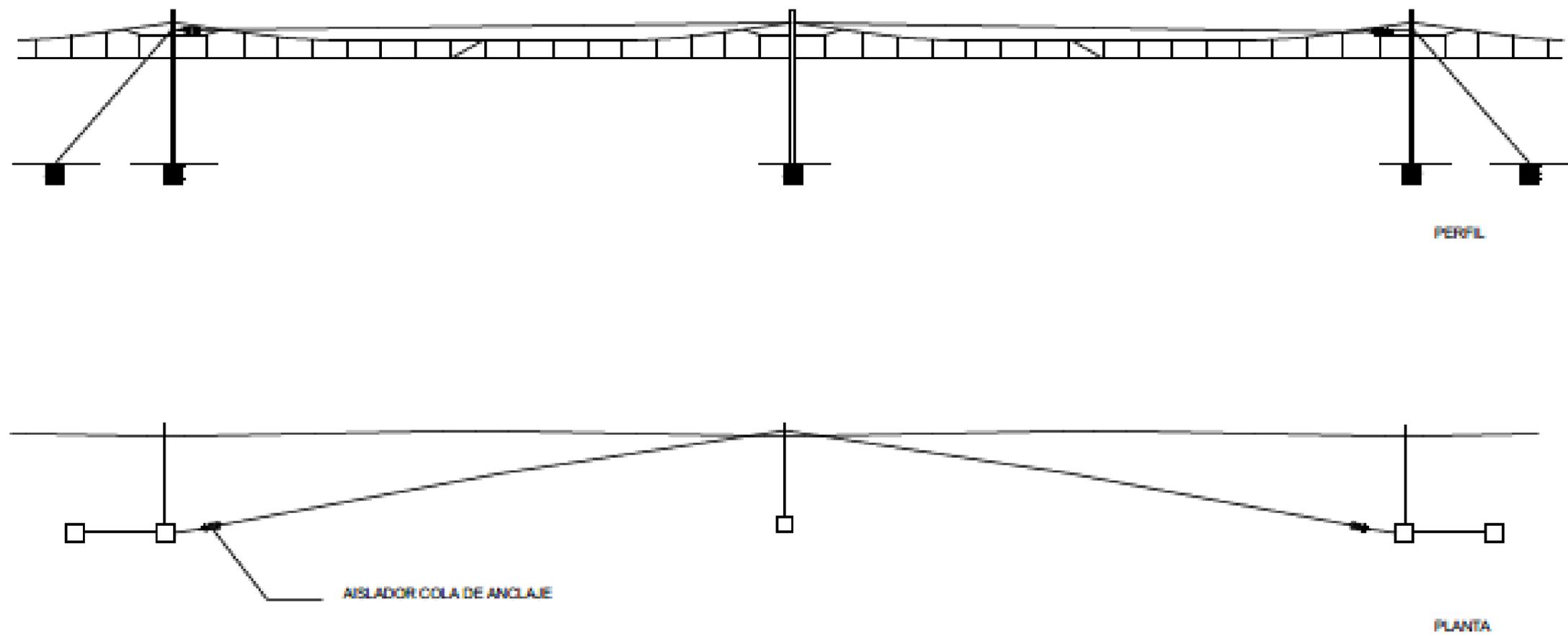


Figura 4.- Esquema de punto fijo del cantón de compensación de la línea aérea de contacto.

### **2.2.9 Zonas neutras de separación de fases**

La catenaria dispondrá de zonas neutras apropiadas a la separación de fases eléctricas del sistema de electrificación.

Las zonas neutras tendrán una longitud superior a la distancia entre pantógrafos extremos conectados eléctricamente (200 m).

Las zonas neutras serán realizadas mediante seccionamientos eléctricos que dispondrán de seccionadores y telemandos que permitirán interrumpir y reponer la continuidad eléctrica de los diferentes tramos.

Las distancias entre los conductores paralelos de diferentes fases en los seccionamientos será superior a 540 mm conforme EN 50119.

La ubicación de las zonas neutras se realizará a ser posible en las zonas horizontales para facilitar la inercia de los trenes. En desplazamiento máximo de la zona neutra del centro de la subestación eléctrica no debe ser superior a 3 km para evitar el aumento de la caída de tensión en la sección más larga.

Las figuras 5 y 6 muestran los esquemas de las zonas neutras de separación de fases para vía general y de salida de subestación eléctrica de tracción.

### **2.2.10 Colas y tirantes de anclaje**

Todos los conductores se anclan separadamente y llevan un tirante de anclaje.

Los cables de las colas del sustentador y contacto tienen la finalidad de poder resistir la eventual perforación o contorneo de un aislador. Del mismo modo, al ser múltiples los cables de los polipastos, también pueden soportar el paso de la corriente de cortocircuito a tierra durante el corto tiempo que tarde en reaccionar la subestación.

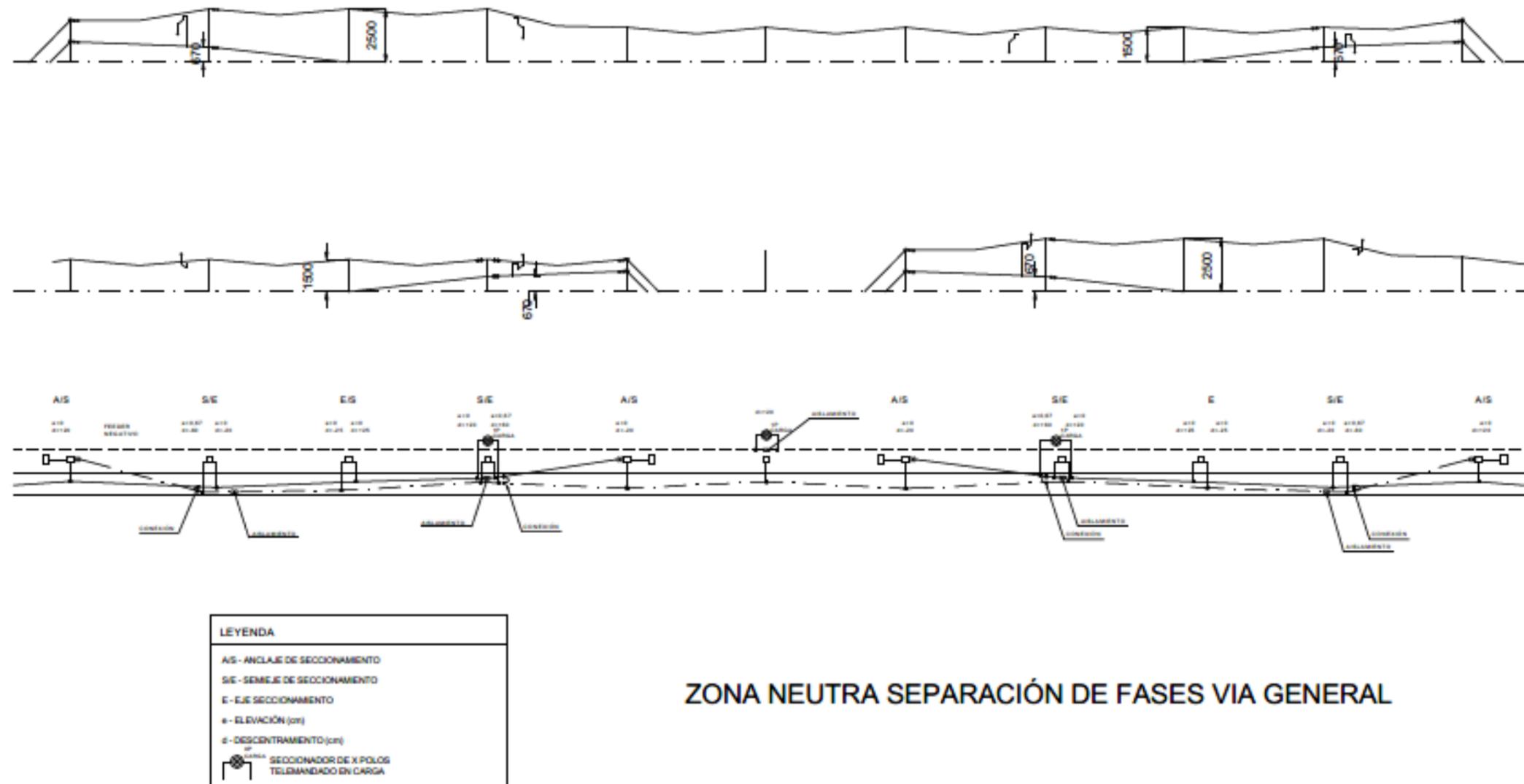


Figura 5.- Zona neutra de separación de fases en vía general.



### 2.2.11 Sistemas de retorno y puestas a tierra

Las funciones de este sistema de corriente de retorno y puesta a tierra serán las siguientes:

- Retorno seguro de la corriente de tracción con reducción de la corriente en el subsuelo.
- Control del potencial carril-tierra para evitar tensiones inadmisibles de contacto accidental durante el servicio y en caso de cortocircuito, conforme MIE-RAT 13 y EN 50122-1.
- Limitación de perturbaciones inductivas en cables de señalización y comunicación tendidos en paralelo con la catenaria.
- Disparo seguro de las protecciones de feeder en subestación al romperse el hilo de contacto o el sustentador.

El sistema de retorno y puesta a tierra estará constituido por los propios carriles, el cable de retorno y el colector de tierra. Además cada poste dispondrá de una pica de puesta a tierra conectada eléctricamente al poste.

El cable de retorno está formado por un cable de aleación acero-aluminio desnudo de 180 mm<sup>2</sup> de sección.

El cable de retorno estará ubicado a una altura de 5,5 m respecto al carril y grapado y conectado eléctricamente a los postes de catenaria por su cara exterior.

Este cable de retorno se conectará cada 500 m aproximadamente al carril de su lado mediante dos cables de cobre.

El cable colector de tierras es un conductor de Cobre (Cu) electrolítico flexible y desnudo de 50 mm<sup>2</sup> que va situado junto a la canaleta de cables y al que se conectan los elementos conductores que no forman parte del sistema intrínseco de retorno. Este cable se conecta al carril cada 500 m aproximadamente, en el mismo punto de las conexiones del cable de retorno descritas anteriormente.

Al cable colector de tierra se le conectarán todos los elementos exteriores a la catenaria como viseras, estructuras de puentes, barandillas, valla de protección y en general, todos los elementos metálicos próximos a la instalación que son susceptibles de entrar en tensión bien por contacto, bien por inducción. También se conectan a este colector los postes en los que no es posible clavar una pica, o en los que el terreno es de características tales que dicha pica sería inútil.

Tanto el cable de retorno como el colector de tierra, se conectan al carril cada 500 m aproximadamente, y asimismo, se conectan los de ambas vías entre sí para asegurar un buen retorno de las corrientes de defecto que haga actuar las protecciones en la subestación.

Como norma, a esta tierra de tracción deben conectarse todos aquellos elementos que no tienen una conexión directa a los 25.000 V de la catenaria o del feeder negativo en su caso.

El cable colector de tierra se instalará únicamente en aquellas zonas en que existan estos elementos exteriores o en que, por las características del terreno, sea imposible clavar las picas de la puesta a tierra de los postes.

Todas las conexiones entre cables se realizarán mediante grapas de conexión. Las conexiones de los cables a la vía se realizarán mediante soldadura aluminotérmica.

Las conexiones entre los cables de retorno, colector de tierras y carriles, se realizarán mediante cables de cobre aislado 0,6/1 kV flexible de sección mínima de 50 mm<sup>2</sup> y/o reutilizando el cable de Cu-150 sobrante.

## 2.3 ALIMENTACIÓN Y CONEXIONES

### 2.3.1 Feeders

En el sistema de electrificación 2x25 kV la alimentación a la catenaria se realiza por medio de autotransformadores conectados entre el “feeder negativo” (hilo de retorno) conectado con cada subestación y la catenaria con un punto central al carril. Este “feeder negativo” va situado sobre una cruceta que lo aleja del poste en dirección al campo y va suspendido de la misma mediante una cadena de elementos aisladores.

### 2.3.2 Seccionadores y conexiones

Los seccionadores son de apertura vertical. Se montan en los pórticos de salida de subestaciones y puestos de alimentación con autotransformador o en soportes independientes. En los seccionamientos de lámina de aire los seccionadores se montan en el eje de seccionamiento.

Se prevé la utilización en el exterior de las subestaciones de seccionadores de apertura en carga con mando eléctrico o electro-hidráulico que podrá ser mandado a distancia desde el puesto de mando que se establezca.

### 2.3.3 Hilo de contacto

El hilo de contacto cumplirá los requerimientos de la norma EN 50149 y será instalado cumpliendo la norma EN 50119.

El material del hilo de contacto será una aleación de Cobre (Cu) con Magnesio (Mg) ranurado y de altas prestaciones mecánicas y de conductividad.

Se utilizará 1 único hilo de contacto. Su sección será escogida conforme directrices indicadas en apartados anteriores.

El aspecto exterior será el que establece la norma prEN 50149 apartado 4.2.

El hilo de contacto deberá tener una sección circular de 150 mm<sup>2</sup> y una ranura de anclaje tipo B, identificado como RIM-150 según norma prEN 50149 apartado 4.4.4.

La sección podrá tener una tolerancia de +/-3%, por lo que deberá estar comprendida entre los valores 145.5/154.5 mm<sup>2</sup>. Además, la tolerancia del diámetro estará comprendida entre los valores 14.3/14.7 mm.

La masa por kilómetro podrá tener una tolerancia de +/-3%, por lo que deberá estar comprendida entre los valores 1293/1374 kg/km.

La tolerancia de la longitud del hilo de contacto será de 0+30 m. Según la norma prEN 50149 apartado 6.3. No se permitirán soldaduras ni uniones.

La resistencia eléctrica por unidad de longitud a 20 °C no deberá exceder de 0'185 O/km

Por efecto de radiación solar y calentamiento resistivo, los conductores pueden alcanzar temperaturas no superiores a los 80 °C, para lo que el Reglamento de

Líneas aéreas determina la densidad de corriente admisible para cada tipo de conductor, material y composición.

Como desgaste máximo de hilo de contacto se admitirá el 20%.

### 2.3.4 Péndolas

Conforme la UIC-799 la separación entre péndolas será menor a 9,5 m con el objetivo de limitar las flechas del hilo de contacto entre las mismas. Asimismo, la longitud mínima de péndola será de 250 mm.

Las conexiones con el sustentador y el hilo de contacto serán robustas y seguras para garantizar el contacto eléctrico. Asimismo, su sección será la adecuada para asegurar riesgos por calentamiento.

Se recomienda el empleo de péndolas en "Y" para conseguir mayor homogeneidad de la elasticidad de la catenaria.

## 2.4 AGUJAS

En las agujas sobre vía general se evita el ataque lateral del pantógrafo a la catenaria elevándola y no permitiendo que apoye hasta que su eje no se encuentre sobre el pantógrafo.

Esto se consigue mediante el empleo de una catenaria auxiliar que va haciendo seccionamientos primero con una catenaria y luego con otra.

Para poder montar las catenarias en la zona de agujas es necesario montar pórticos rígidos de los cuales se suspenden silletas a las que se fijan las ménsulas precisas para el montaje de las agujas.

Para el caso de agujas menos importantes que, partiendo de una vía secundaria conduzcan a una vía de apartado con cambios de velocidad reducida, se emplearán agujas tangenciales pero simplemente con dos catenarias.

## 2.5 PROTECCIONES Y CONEXIONES AL CARRIL

Debido a la elevada tensión que se maneja, una de las cuestiones de vital importancia en esta instalación es la seguridad de los usuarios y del personal de explotación.

Igualmente, la propia instalación de la electrificación y las instalaciones cercanas deben protegerse: las primeras contra los fenómenos eléctricos atmosféricos, y la segunda, contra las corrientes vagabundas.

Efectivamente, en una instalación de corriente alterna de 25 kV pueden aparecer efectos de inducción y de resonancia que no se presentan en corriente continua y que pueden provocar corrientes de importancia en puntos no deseados como son las armaduras de las obras de fábrica y de los túneles. Así pues, todas las protecciones de la C-350 se basan en la filosofía de que “cualquier parte de la instalación que no está unida al circuito de retorno está sometida a la tensión de 25 kV”.

Para reducir al mínimo todos estos riesgos es preciso crear una placa equipotencial a lo largo de toda la instalación a la cual irán conectados todos los elementos metálicos conductores no activos de la instalación.

En los postes de anclaje se preverá una placa atornillada al poste asegurando un buen contacto eléctrico. A ella se unirán todas las estructuras de sujeción de contrapesos, poleas, colas, etc.

De la base del poste se sacará una conexión al cable colector de tierras que a su vez, y cada tres vanos, irá conectado al cable de retorno. Cada seis se conectará a cable de retorno y a carril.

Uniéndolo las cabezas de todos los postes de cada lado de la instalación se dispone un cable de guarda. Este cable, tanto de un lado como de otro, se conecta al cable colector de tierra, normalmente cada 1,5 km.

Todos los puntos centrales de juntas inductivas o condensadores de las secciones de separación de frecuencia de señalización irán conectados al cable de guarda y al cable colector.

Las obras de fábrica deberán dejar en el exterior del hormigón una placa metálica a la cual se haya soldado un redondo que conecte eléctricamente, mediante soldadura, todas las armaduras del hormigón y que se conectará al cable de tierra.

En las alimentaciones a la catenaria desde el autotransformador el punto central del mismo se conectará al carril, tendrá una tierra independiente y se conectará además al cable colector de tierra.

En los túneles se deben seguir las normas de las obras de fábrica. A su entrada se anclarán los cables de guarda conectándolos al colector de tierra, el cual pasará a lo largo del túnel por debajo de la canaleta de comunicaciones.

Al cable colector deberán conectarse también todas las tierras de señalización, comunicaciones, etc., así como los soportes aislados, las vallas de protección y, en general, todas las masas metálicas no sometidas a tensión por razones de su función.

Se protegerá especialmente la maniobra de seccionadores, conectando el poste a una rejilla sobre la que debe situarse al operador. También es importante la conexión a tierra de las viseras de los pasos superiores.

El objeto de esta medida es hacer funcionar los extrarrápidos de las subestaciones en caso de perforación o fuga de los aisladores, pues además se presenta la acción electrolítica destructora en el acero de las armaduras.

## 2.6 VÍAS SECUNDARIAS

Las vías secundarias y de servicio llevarán un equipo de catenaria exactamente igual que las vías generales cuando formen aguja con las mismas.

## 3. INSTALACIONES DE SEGURIDAD

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Los estrictos sistemas de seguridad y protección exigidos al transporte ferroviario se ven incrementados en el caso de la alta velocidad, debido a que los tiempos de reacción de los equipos y del personal humano implican mayores distancias recorridas, lo que influye, por ejemplo, en las longitudes de frenado o en la apreciación de la señalización lateral.

Por ello este tipo de circulaciones necesita un sistema de señalización que integre los enclavamientos de la línea junto con el sistema de ayuda a la conducción (conducción automática).

Los enclavamientos controlan la realización en condiciones seguras de los itinerarios marcados en los distintos puestos de explotación. Es el único sistema que contiene señalización lateral.

Las funciones de bloqueo están contenidas en el sistema de ayuda a la conducción, así como la banalización de la línea (Sistema B.A.B's de Bloqueos Automáticos Banalizados).

El sistema contará con un sistema de protección automática del tren (Automatic Train Protection; ATP) que regulará el proceso de frenado de forma que los trenes no rebasen las velocidades permitidas en cada punto del recorrido.

En los apartados siguientes se desarrollan todos los sistemas mencionados anteriormente.

## 3.2 ENCLAVAMIENTOS ELECTRÓNICOS

### 3.2.1 Generalidades

La instalación de los enclavamientos incluye los siguientes dispositivos:

- Detectores de presencia del tren.
- Señalización.
- Elementos para el control y supervisión de los motores de los accionamientos de desvíos.
- Equipos de suministro de energía.
- Red de cables.
- Casetas de señalización.
- Equipos interiores propios de los enclavamientos.
- Equipos de comunicaciones.

La tecnología de los enclavamientos a instalar en el tramo objeto del presente Estudio Informativo será electrónica, limitando el uso de relés a aquellos casos en que sean necesarios para el mando y control de elementos específicos.

Los enclavamientos electrónicos deberán estar diseñados con los siguientes criterios:

- Máximo nivel de seguridad.
- Alta disponibilidad mediante el uso de arquitecturas redundantes.
- Modularidad, que permita una fácil ampliación, tanto funcional como geográfica.
- Conexiones entre módulos separados geográficamente a través de interfaces serie redundantes.
- Funcionamiento en modo local o telemandado, pudiéndose realizar el telemando desde varios puestos remotos.
- Sistema de ayuda al mantenimiento que facilite la diagnosis y localización de averías y el mantenimiento.
- Fácil adaptabilidad a los futuros avances tecnológicos que favorezcan la rentabilidad del sistema.
- Interfaces adaptados a estándares internacionales que permitan la conexión con equipos comerciales para el intercambio de información no vital.

### 3.2.2 Configuración

La configuración de los enclavamientos estará determinada fundamentalmente por los factores que afectan a la flexibilidad de la explotación, la disponibilidad de la instalación y el mantenimiento de ésta. Se podrán establecer configuraciones diferentes en función de la zona de control del enclavamiento y de la ubicación del mismo a lo largo de la línea en estaciones, apartaderos o puestos de banalización. La zona de control de cada enclavamiento electrónico dependerá de la capacidad de control del mismo y determinará a su vez el número de enclavamientos a equipar.

Si la zona de control del enclavamiento es pequeña (por ejemplo, un puesto de banalización y parte de los bloqueos con los colaterales) el número de enclavamientos a instalar será superior que si se eligen zonas de control mayores (por ejemplo, un enclavamiento que controle varios puestos de banalización y apartaderos). Ahora bien, las incidencias que se produzcan tienen una repercusión distinta en cada caso, especialmente en aquellos casos en que el enclavamiento completo queda fuera de servicio.

Dada la necesaria automatización del sistema, los enclavamientos locales carecerán de personal y se operarán a distancia desde el Puesto Central de Mando. No obstante, serán susceptibles de operación local cuando las necesidades de explotación así lo requieran.

Dependiendo de la tecnología por la que finalmente se opte podrán establecerse puestos centrales de mando a lo largo del trazado que gobiernen enclavamientos que se encuentren dentro de una cierta distancia.

En los apartados siguientes se describen los distintos niveles que conforman un enclavamiento.

#### **a) Nivel de entrada – salida**

Este nivel contiene los interfaces hombre/máquina del sistema, como son:

- Los equipos de mando e indicación en cada uno de los puestos fijos.
- Módulo de operación e indicación.
- Módulos de control de monitores.
- Interfase con elementos exteriores.

#### **b) Nivel de seguridad**

Aquí se establecen las funciones principales del enclavamiento, comprobándose y estableciendo itinerarios, y enclavando o desenclavando los elementos exteriores.

Este nivel está interrelacionado con los equipos de mando e indicación y a su vez con el sistema de conducción automática.

#### **c) Nivel de mando.**

Está constituido por los elementos que físicamente controlan el enclavamiento transmitiendo su estado al módulo de seguridad.

Precisa una alimentación de energía separada al menos para los equipos actuadores exteriores: agujas, circuitos de vía y focos.

La comunicación entre el módulo de seguridad y los elementos de mando se realiza mediante canales de comunicación seguros.

### **3.3 SISTEMA DE PROTECCIÓN DE TREN**

Los Sistemas de Protección del tren incluyen todo el equipamiento necesario para proporcionar un sistema ERTMS nivel 2, un sistema de respaldo ERTMS nivel 1 y un equipamiento ASFA (aviso de señales y frenado automático) para funcionamiento degradado o trenes no equipados con ERTMS.

El nivel 1 del ERTMS emplea sólo Eurobaliza y Euroloop. Los trenes son detectados por circuitos de vía. La información del estado de las señales es transmitida de forma puntual a los trenes a través de las Eurobalizas. Utilizando el Euroloop o la radio infill, es posible adelantar posibles cambios en el aspecto de la señal precedente para evitar la entrada de la curva de frenado cuando la señal cambia a un aspecto permisivo.

El nivel 2 emplea como sistema de transmisión principal el sistema GSM-R (ver apartado 4.2) y Eurobalizas. La detección del tren sigue recayendo en circuitos de vía por lo que el cantonamiento es fijo. La Eurobaliza sólo transmite información pasiva (punto kilométrico, gradiente de la vía, etc.), siendo la información de seguridad relativa al cantonamiento transmitida a través de la red GSM-R.

El suministro para la instalación del sistema de protección de tren incluye los RBC´s y su puesto central, balizas fijas y conmutables, codificadores, unidades de línea, interfaces con los enclavamientos, interfaces con equipos de supervisión, equipos a bordo de los trenes con sus elementos asociados y todos los elementos necesarios para obtener una instalación completa y totalmente operativa.

La línea se equipará para proporcionar un ERTMS/ETCS nivel 2 como sistema de operación principal. El sistema se basará en la información que proporciona el enclavamiento para la detección de presencia de tren en las secciones de vía, utilizando la red de radio móvil GSM-R para el intercambio de mensajes entre los centros de radio bloqueo y el tren, y eurobalizas fijas para que el tren actualice su información de posición.

Adicionalmente, la línea dispondrá del equipamiento necesario para proporcionar un segundo modo de operación ERTMS/ETCS nivel 1 (modo de respaldo), que permitirá mantener la supervisión de los trenes ante fallos de la radio (infraestructura de tierra o equipos a bordo), así como la circulación de trenes solamente equipados con ERTMS/ETCS nivel 1.

Las prestaciones en cuanto a velocidad máxima de circulación e intervalo entre trenes que se exigen en cada uno de los niveles se recogen en la tabla siguiente:

	VELOCIDAD MÁXIMA	INTERVALO ENTRE TRENES
ERTMS nivel 2	350 km/h	2 min 30 s
ERTMS nivel 1	300 km/h	5 min 3 s

El nivel 2 será el Sistema principal, tendrá una muy alta disponibilidad, y permitirá circulaciones con la frecuencia y velocidad indicadas en la tabla anterior; la instalación admitirá circulaciones con velocidades de hasta 350 km/h.

Los trenes que circulen bajo el sistema ERTMS/ETCS recibirán autorizaciones de movimiento lo suficientemente amplias, y renovadas con la suficiente antelación, para que puedan mantener su velocidad máxima en todo momento sin llegar a entrar en la curva de frenado.

El sistema permitirá que circulen trenes bajo diferentes niveles de supervisión sin más restricciones que las necesarias para garantizar la protección de los mismos.

El sistema ERTMS/ETCS, en sus dos niveles de operación, recibirá la información necesaria para realizar su función directamente de los enclavamientos, a través de canales independientes de los que se usen para el control de las señales luminosas. El sistema ASFA tomará la información necesaria de dichas señales.

El equipamiento fijo para el nivel de operación 1 de ERTMS/ETCS se compondrá básicamente de:

- Eurobalizas y dispositivos infill.
- Codificadores.

El equipamiento fijo para el nivel de operación 2 de ERTMS/ETCS se compondrá fundamentalmente de:

- Eurobalizas fijas
- Centros de bloqueo por radio (RBCs)
- Centro de Conmutación de Móviles (MSC)

### 3.4 SUMINISTRO DE ENERGÍA

Los equipos de suministro de energía se ubicarán principalmente en los edificios técnicos de las estaciones, apartaderos y puestos de banalización que se encuentran ubicados a lo largo de la línea. Desde ellos se realizará una distribución a los elementos de campo que lo precisen; se prevé para ello una red de distribución mediante un cable de energía a lo largo de la canaleta o canalización.

El subsistema de energía se dimensionará para admitir una carga de 1,5 veces la nominal.

El subsistema de energía dispondrá de mecanismos de diagnóstico de averías, indicaciones y alarmas que se integrarán en el sistema de ayuda al mantenimiento.

Cada edificio técnico recibirá dos acometidas de energía:

- Una monofásica que proviene del sistema de catenaria a través de un transformador de 25 kV/220 Vac. Esta acometida será suministrada por la técnica de electrificación. Será la acometida principal y se usará normalmente para alimentar toda la instalación.
- Otra trifásica que proviene de la red pública en las estaciones comerciales o de un grupo electrógeno en el resto de edificios técnicos.

El equipamiento de energía incluirá un dispositivo de conmutación automática para pasar de la red de suministro principal a la de reserva en caso de ausencia de la primera, arrancando automáticamente el grupo electrógeno donde exista. El dispositivo de conmutación volverá a conectar la red principal cuando se reponga el suministro en la misma, parando a continuación el grupo.

## 4. TELECOMUNICACIONES

### 4.1 INTRODUCCIÓN

- Telefonía:
  - Escalonada entre estaciones.
  - Automática.
  - Selectiva.

- De Señales.
- Telemando:
  - C.T.C.
  - Subestaciones.
  - Teleindicadores.
  - Cronometría.
  - Megafonía:
    - Local.
    - Desde el Puesto de Mando.
- GSM-R.
- Otras transmisiones de datos.
- Centralización y Difusión de vídeo.

Para dar servicio a todos los sistemas enumerados, se hace imprescindible dotar a la línea de una red de transmisión por fibra óptica.

Se propone la implantación de un anillo troncal basado en tecnología SDH con una capacidad de tráfico estimado correspondiente a la jerarquía STM-4.

La configuración podría corresponder a un doble anillo ocupando dos fibras del cable general de fibras para uso ferroviario.

Sobre esta red troncal se transporta el tráfico de las redes de conmutación de voz y datos IP, así como el de los sistemas de radio GSM-R (Global System for Mobile Communication-Sistema Global de Comunicaciones Móviles), señalización ferroviaria y otros sistemas a desplegar a lo largo de la línea.

De este anillo doble a STM-4 se segregarán los subanillos a STM-1 de acceso necesarios para dar servicio a todos los sistemas. Estos subanillos se proyectarán con los mismos criterios de redundancia que el de nivel superior.

Por tanto, se propone dotar de nodos de comunicaciones a todas las estaciones e instalaciones que necesiten de acceso a la red de datos, como las nuevas subestaciones a proyectar.

#### 4.2 SISTEMA DE RADIO MÓVIL GSM-R

El sistema GSM-R basado en el GSM del ETSI es una red de radiotelefonía móvil para uso de los ferrocarriles en las líneas transeuropeas. Proporcionará soporte para las comunicaciones de voz y datos entre los trenes y la infraestructura, así como para los servicios y necesidades asociadas a la operación y explotación de la línea.

Atendiendo a una clasificación funcional, el sistema constará de los siguientes subsistemas:

- El subsistema de estaciones base (BSS) que comprenderá un conjunto de estaciones base (BTS) conectadas y controladas por una o más controladoras de estaciones base (BSC).
- El subsistema de red y conmutación (NSS) compuesto por el centro de conmutación de móviles (MSC) conectado a:
  - Registro de localización local (HLR).
  - Centro de Autenticación (AuC).
  - Registro de localización de visitantes (VLR).
  - Equipamiento de interconexión y adaptación de protocolos con otras redes (IWF).
  - Registro de identificación de suscripciones (EIR).
  - Red inteligente (IN).
- El subsistema de operación y mantenimiento (OMSS) compuesto por:
  - Centro de Operación y Mantenimiento (OMC) con su interfaz al sistema de gestión integral de la red de telecomunicaciones (TMN).
  - Registro de Gestión de Suscripciones y Monitorización de Llamadas.

Se tendrán en cuenta los diferentes servicios y protocolos manejados por la red GSM-R para garantizar la total transparencia en los enlaces establecidos a través de la red de telecomunicaciones. En la figura 7 de la página siguiente se muestra el esquema general de este tipo de red.

Los servicios demandados para esta aplicación son los siguientes:

- Servicios de datos.
  - Todos los servicios catalogados en las especificaciones de EIRENE como obligatorios para la interoperabilidad.
  - Servicios de SMS, GPRS y transmisión de fax.
  - Servicios de transmisión de datos para los sistemas de información al viajero a bordo del tren.
- Servicios de voz.
  - Todos los servicios catalogados en las especificaciones de EIRENE como obligatorios para la interoperabilidad
  - Servicios funcionales de numeración y el conjunto de facilidades ASCI.
  - Servicios de aplicación a la radiotelefonía móvil operacional y de vigilancia y seguridad.

#### 4.3 TELEFONÍA FIJA

El sistema telefónico que finalmente se implemente deberá basarse en centralitas telefónicas digitales dotadas de todo tipo de facilidades (desvío de llamadas, conversaciones múltiples, etc.) que estarán situadas en los edificios técnicos, desde donde se podrá establecer una comunicación inmediata con cualquier otro punto de la línea. Además, deberá poder accederse con este sistema de telefonía al sistema de megafonía del sistema de las estaciones.

El sistema incluye las comunicaciones con el Puesto Central, que identificará automáticamente el punto desde donde se está efectuando la llamada.

Este sistema se complementa con teléfonos fijos dispuestos a lo largo de la vía (a ambos lados) cada 1.500-2.000 m, conectados con el siguiente nudo mediante un cable local de línea. Este sistema será válido para equipos de obra o para personal de movimiento caso de fallo del tren-tierra. Estará conectado con el siguiente puesto de explotación y el Puesto de Mando Central.

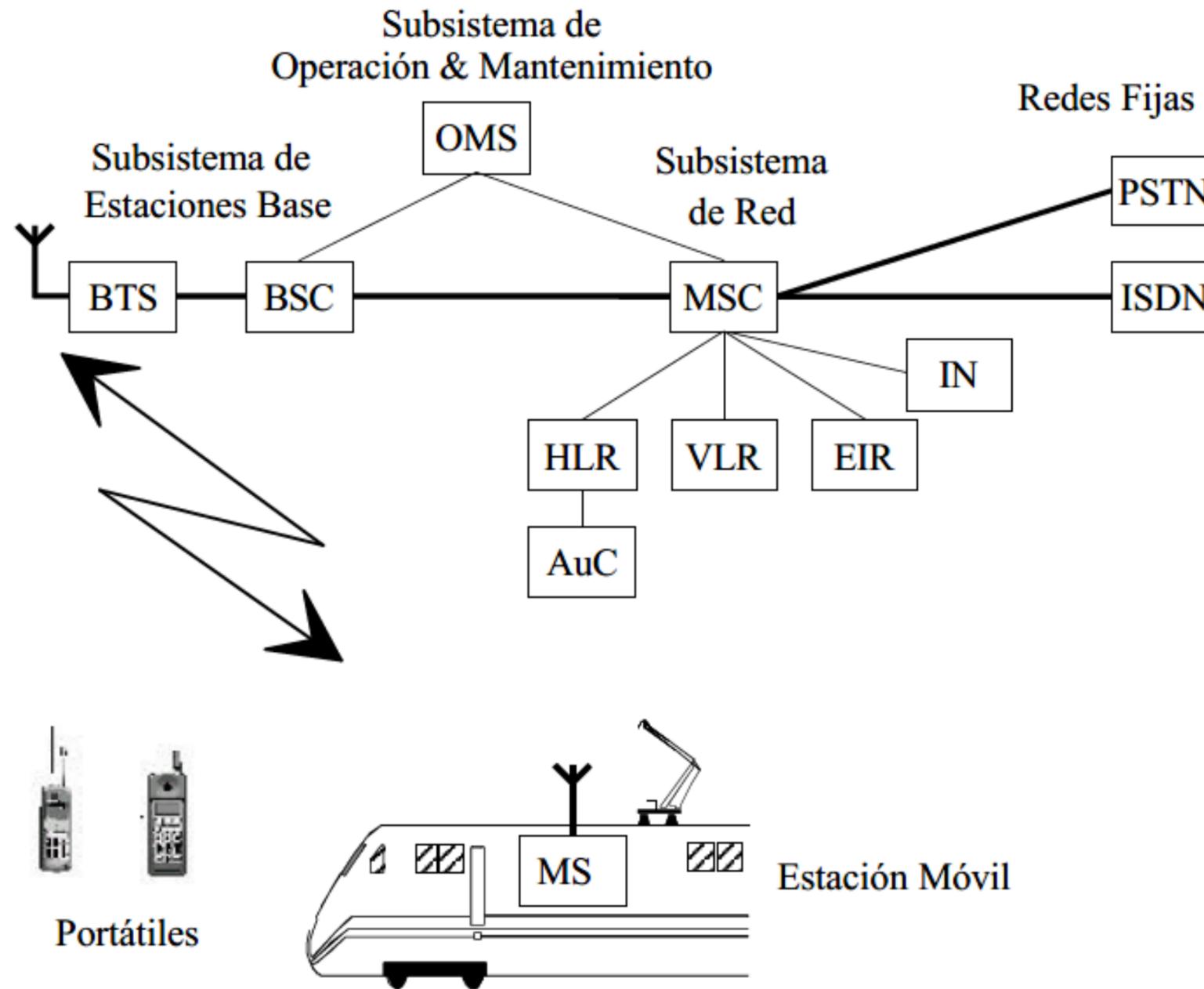


Figura 7.- Esquema general de la red GSM-R.

5. APÉNDICE 1.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Foto1.- Equipo de compensación de tensiones instalado en la LAV Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera Francesa.



Foto 2.- Seccionamiento de compensación instalado en la LAV Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera Francesa.

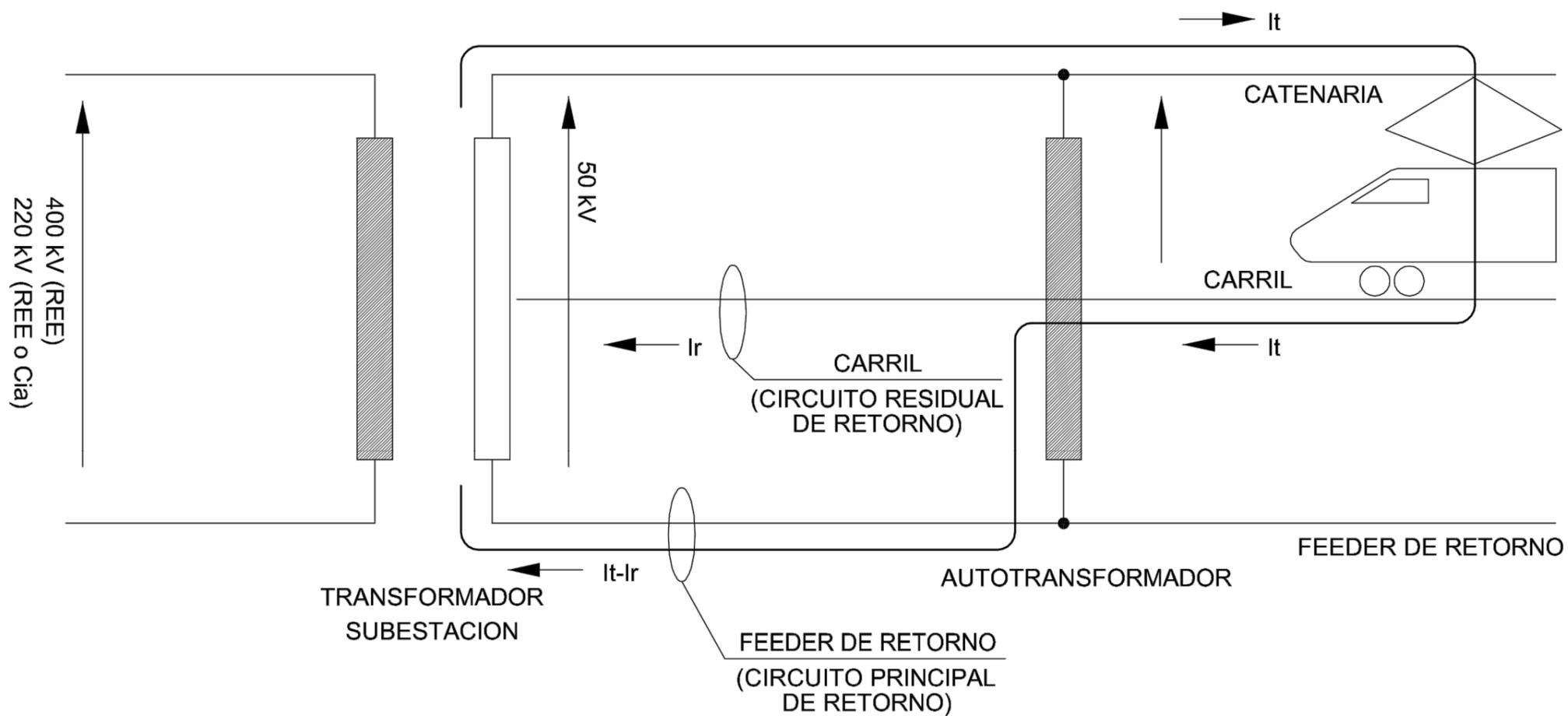


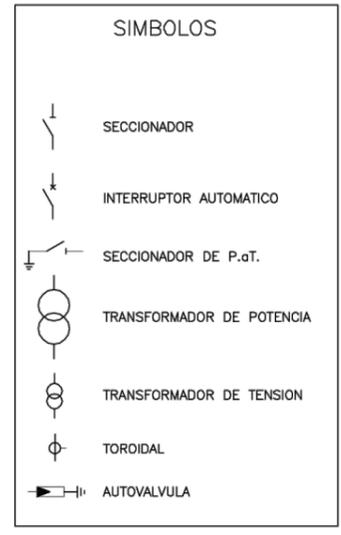
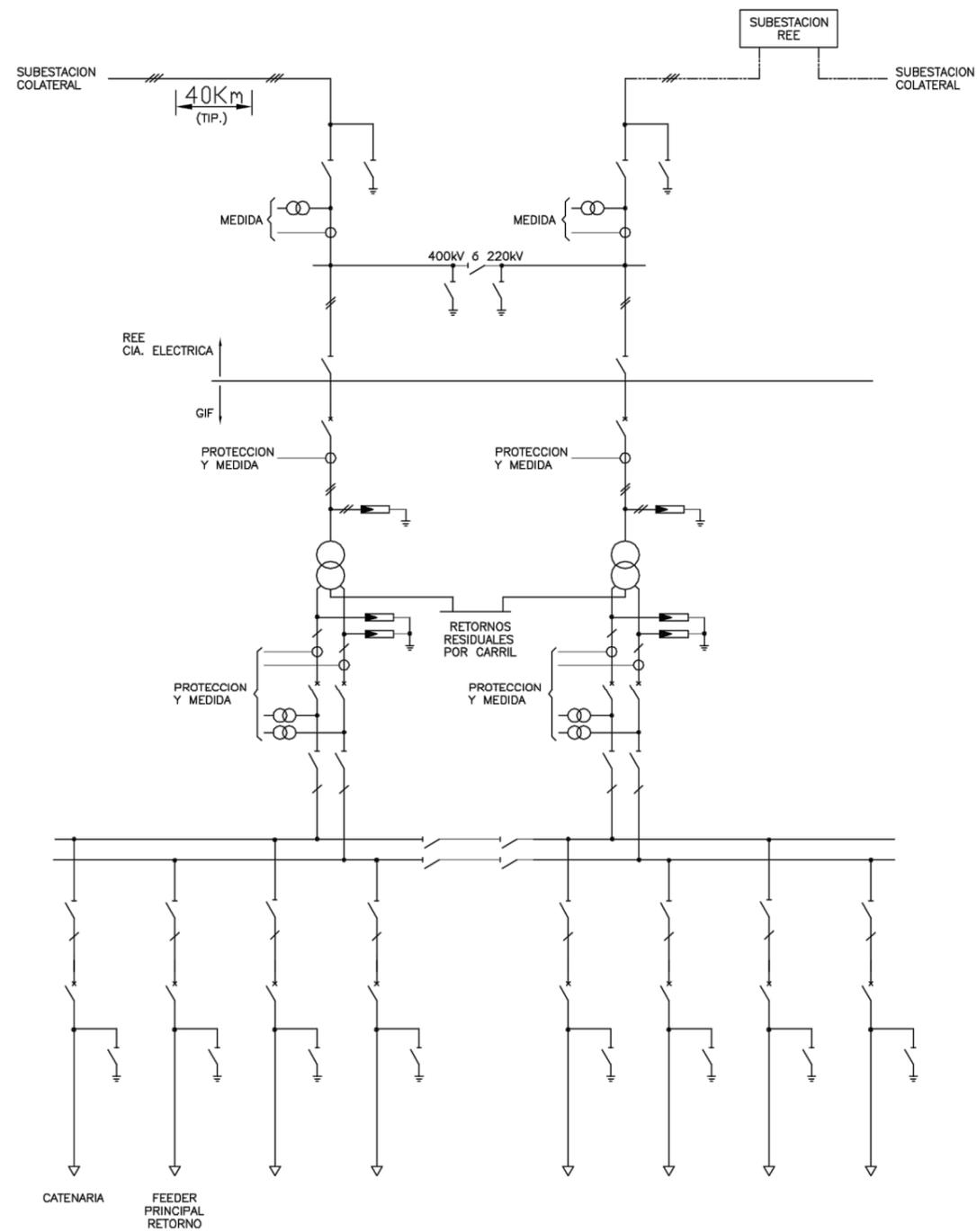
Foto 3.- Seccionamiento de compensación instalado en la LAV Madrid – Zaragoza – Barcelona – frontera Francesa. Detalle.



6. APÉNDICE 2 PLANOS







SISTEMA DE ELECTRIFICACION 2x25kV

