
ELECTRIFICACIÓN

ANEJO 08

1. Introducción y Objeto	1
2. Antecedentes	2
3. Ubicación del estudio	3
4. Actuaciones de electrificación	3
4.1. Línea Aérea de Contacto CA-200 (25kV).....	3
4.1.1. Características generales del sistema.....	3
4.1.2. Parámetros geométricos.....	7
4.1.3. Características de los Materiales, Equipos y Montajes.....	7
4.2. Sistema de alimentación.....	15
4.2.1. Pórticos de salida de subestación y centros de auto transformación final.....	16
4.2.2. Pórticos de salida de centro de autotransformación intermedio.....	17
4.2.3. Seccionadores en línea.....	17
4.2.4. Feederes y su disposición.....	17
4.2.5. Centros de autotransformación.....	17
4.2.6. Línea de Alta Tensión.....	19
5. Ventajas e inconvenientes técnicos de cada uno de los sistemas	20
5.1. Sistema 1 x 25 kV.....	20
5.2. Sistema 2 x 25 kV.....	21
5.3. Conclusiones.....	22
6. Replanteo de catenaria	23
6.1. Alimentación de la catenaria.....	23
6.2. Puntos de aguja.....	23
6.3. Señalización.....	24

6.4.	Gálbos	24
6.5.	Andenes.	24
6.6.	Seccionamientos.	25
6.7.	Tendido entre estaciones.....	25
6.8.	Feeder en estaciones.	25
6.9.	Seccionadores en el trayecto.....	25
6.10.	Alturas de catenaria.....	25
6.11.	Distancias de seguridad.....	26
7.	Estudio de Perturbaciones	27

APÉNDICE 1. ESTUDIO DE GÁLIBOS DE PASOS SUPERIORES

APÉNDICE 2. SUBESTACIÓN DE RONDA.

1. Introducción y Objeto

El presente anejo se redacta dentro del marco de los trabajos relativos al Estudio Informativo de la “*Electrificación de la línea Bobadilla-Algeciras, tramo Bobadilla-Ronda*” de la línea de ADIFad04-420-Bifurcación Bobadilla-Algeciras, y en él se recoge la descripción del sistema de electrificación propuesto para la solución adoptada en el tramo Bobadilla-Ronda de la línea Bobadilla-Algeciras.

El tramo en cuestión tiene una longitud total de 73,6 km y consta de cinco estaciones (Bobadilla, Campillos, Almargen/Cañete la Real, Setenil y Ronda) y tres apeaderos (Teba, Atalaya y Parchite).

La electrificación del tramo Bobadilla-Ronda será a 25 kV en corriente alterna. Por tanto, se podrían plantear dos alternativas:

- Alternativa 1. Sistema de electrificación de 1 x 25 kV, 50 Hz de corriente alterna.
- Alternativa 2. Sistema de electrificación de 2 x 25 kV, 50 Hz de corriente alterna.

Del mismo modo, se indica que la catenaria a instalar será del tipo CA-200, según punto 5.2 de la nota técnica de ADIF SDE/LAC/2020/NT-0301 “*Plan de racionalización de tipologías de línea aérea de contacto en proyectos y obras*”. Esta catenaria está diseñada eléctricamente para un sistema de electrificación de 1 ó 2 x 25kV de corriente alterna, y mecánicamente para una explotación en líneas existentes de Red Convencional, con trazado irregular y velocidades hasta los 200 km/h. La catenaria es compatible con la explotación con pantógrafos tanto de 1600 mm, como de 1950 mm de corriente alterna.

5.2. LÍNEAS DE ANCHO IBÉRICO O MIXTO CON ALIMENTACIÓN DE 25KV C.A.

TIPO LAC	CONDUCTORES	APLICACIÓN
CA-200 / 25kV	CuAg0.1- 1x120 mm ² 1575 kgf (1543 daN)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apta hasta 200 km/h ▪ Nuevas electrificaciones en el sistema 2x25kV sobre plataformas de Red Convencional con restricciones de gálibo y trazados irregulares ▪ Tráfico mixto de viajeros y mercancías
	CuETP- 95mm ² 1575 kgf (1543 daN)	

Tabla 1. Tipo de catenaria y aplicación. Tabla obtenida de la nota técnica de ADIF SDE/LAC/2020/NT-0301.

Los puntos básicos que determinan la elección del sistema de electrificación son los siguientes:

- Determinación, aproximada, de la potencia a instalar en la línea, que vendrá fundamentalmente determinada por la previsión de la demanda y por lo tanto del tráfico de la línea.
- Dependiendo de dicha previsión se procede a determinar el número, ubicación y potencias instaladas en cada una de las subestaciones eléctricas de tracción y en los centros de autotransformación (en el caso de 2x25 kV), los criterios de explotación a emplear (horarios, límites de velocidad introducidos por el sistema de señalización proyectado o instalado, etc.) y las características del material rodante.
- Elección de un sistema de electrificación que garantice unos rendimientos económicos óptimos, no sólo teniendo en cuenta las inversiones iniciales (obra civil, equipamiento eléctrico, expropiaciones, etc.), sino los costes de explotación y mantenimiento del sistema.
- Establecimiento del sistema que introduzca un menor impacto medioambiental en cuanto a la construcción de los edificios requeridos y de las líneas de Alta Tensión.
- Seguridad operacional, en términos de fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

El presente anejo pretende realizar un análisis tanto de los aspectos geográficos como funcionales y de explotación de partida, que condicionarán la solución de electrificación a establecer en el presente Estudio Informativo, mediante una correcta caracterización del entorno.

2. Antecedentes

La línea Bobadilla-Algeciras forma parte del Corredor Atlántico y Mediterráneo de la Red Básica Transeuropea y actualmente consta de un trazado de 176,2 km en vía única sin electrificar en ancho ibérico.

En el año 2017, se consideró la solución de renovación de la línea existente para todo el tramo Bobadilla-Algeciras. Los trabajos asociados consistían en la adaptación a ancho internacional mediante la implantación de tercer carril, la electrificación de todo el tramo a 25kV c.a., así como apartaderos y adaptaciones para posibilitar la circulación de trenes de mercancías de más de 750 metros y adaptaciones de gálibo en túneles para permitir la electrificación y el tercer carril.

De acuerdo con lo anterior descrito, desde 2008 se están realizando obras de reforma y modernización en la línea ferroviaria mencionada. En estas obras ha tenido lugar la ampliación del gálibo de los túneles, preparándolos para la futura electrificación de la línea, la realización de rectificaciones de trazado y la eliminación de pasos a nivel.



Imagen 1. Detalle de la línea actual ferroviaria en las proximidades del estudio.

Fuente: http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/20210405_02_ADIF_DR_Mapas_V0.pdf

En 2020 el Ministerio de Transición Ecológica determinó que el proyecto de electrificación del tramo Bobadilla-Ronda debía someterse a una evaluación de impacto ambiental ordinaria, en lugar de la simplificada prevista, por la posible afección a espacios protegidos de la Red Natura 2000, haciendo hincapié en la zona de protección de aves (ZEPA) de Lagunas de Campillos.



3. Ubicación del estudio.

El proyecto se localiza en los términos municipales de Antequera, Campillos, Teba, Almargen, Cañete La Real y Ronda, pertenecientes a Málaga, y Setenil de las Bodegas, perteneciente a Cádiz.

Se trata de una vía de ancho ibérico que comienza en la estación de Bobadilla, de la red convencional, y termina en la estación de Ronda, con una longitud total de 73,6 km.

Las estaciones intermedias, así como los municipios por los que transcurre, son los siguientes:

- Estación de Bobadilla P.K. 0+000.
- Estación de Campillos P.K. 13+545.
- Apeadero de Teba P.K. 21+000.
- Estación de Almargen P.K. 30+054.
- Apeadero de Atalaya P.K. 41+680.
- Estación de Setenil P.K. 53+755.
- Apeadero de Parchite P.K. 60+220.
- Estación de Ronda P.K 70+475.

4. Actuaciones de electrificación

4.1. Línea Aérea de Contacto CA-200 (25kV)

4.1.1. Características generales del sistema

Esta tipología de catenaria está diseñada eléctricamente para un sistema de electrificación de 1 ó 2 x 25kV de corriente alterna, y mecánicamente para una explotación en líneas existentes de Red Convencional, con trazado irregular y velocidades hasta los 200 km/h. La catenaria es compatible con la explotación con pantógrafos tanto de 1600 mm como de 1950 mm de corriente alterna.

4.1.1.1. Estructura de la catenaria

Se define, en el presente anejo las características técnicas generales del sistema de Línea Aérea de Contacto tipo CA-200 (25kV).

En términos generales, la línea aérea de contacto a instalar en el presente estudio es una catenaria diseñada para 200 km/h, pero que se adapta bien a trazados irregulares con velocidades inferiores, y donde existen variaciones de alturas debidas a pasos superiores o túneles.

4.1.1.2. Tensión de alimentación

Corriente alterna a una tensión nominal de 25 kV, siendo su tensión máxima no permanente 29 kV, y la tensión mínima no permanente 17.5 kV.

4.1.1.3. Condiciones ambientales de funcionamiento

Las actuaciones que se describen en el estudio se van a llevar a cabo casi exclusivamente en la provincia de Málaga. Teniendo esto en consideración, el sistema de L.A.C. deberá proyectarse con las condiciones ambientales siguientes para su correcto funcionamiento:

- Temperatura mínima ambiental: -20°C
- Temperatura máxima ambiental: 45°C

- Temperatura máxima en conductores:
 - Sustentador: 80°C
 - Hilos de contacto Cu – Ag: 100°C
- Velocidad máxima del viento. En el Anejo D del Documento Básico SE-AE se define el valor característico de la velocidad media del viento, con período de retorno de 50 años, a lo largo de un período de 10 minutos medida a 10 metros de altura. Para la zona del proyecto (Zona C) esta velocidad, que se tomará como velocidad de referencia, es de 26 m/s.
- Sobrecarga máx. del manguito de hielo. Según el punto 3.1.3 de la ITC LAT 07, el proyecto se ubica en zonas A y B, por lo que se tendrá en cuenta sobrecarga por hielo.

4.1.1.4. Geometría del sistema

4.1.1.4.1. Altura del sistema

La altura nominal de catenaria será de 1,40 m, en los equipos de vía general, pudiendo variar en los seccionamientos, agujas aéreas, túneles, viaductos etc.

4.1.1.4.2. Altura de los hilos de contacto

La altura nominal del hilo de contacto respecto al plano de rodadura será de 5,30 m.

En la estación de Ronda, la altura de los hilos de contacto será de 5,50 m.

La altura mínima por diseño será determinada para el gálibo GEB16 a partir de los perfiles de referencia y de los radios de acuerdo vertical. En el caso de la presencia de múltiples singularidades consecutivas se procurará mantener una altura constante minimizando las transiciones.

La altura mínima de cada proyecto deberá verificarse con las condiciones ambientales existentes en la zona (sobrecarga por manguito de hielo). En el presente proyecto, la altitud se encuentra en el rango de 500 – 1000 m.

4.1.1.4.3. Separación entre catenarias en seccionamientos

Se adoptan las distancias siguientes:

- Seccionamientos de compensación: 250 mm.
- Seccionamientos con lámina de aire: 300 mm.
- Seccionamientos de zona neutra: 400 mm.

4.1.1.4.4. Vano

El vano máximo adoptado será de 60 m en recta, siendo los vanos en curva variables de acuerdo con el radio de la curva. La distribución de vanos en función del radio de curva debe calcularse y adaptarse a cada proyecto, dependiendo de los siguientes factores:

- Radio y peralte de la vía.
- Gálibo del pantógrafo calculado según UNE 15273.
- Desplazamiento lateral de los conductores debido al viento calculado según las normas UNE-EN 50119 y UNE-EN 50367.
- Compatibilidad con pantógrafos de 1600 mm y 1950 mm.

La diferencia entre vanos contiguos no será mayor de 10 m en vía general. En el caso de las agujas, esta diferencia no superará los 5 m.

4.1.1.4.5. Número de vanos en seccionamientos.

El número de vanos en seccionamiento viene determinado por la elevación necesaria del hilo hasta el semieje, teniendo en cuenta un factor de pendolado de 0,8, de modo que las péndolas trabajen.

En seccionamientos de compensación, la elevación no debe ser inferior a 300 mm y en los de zona neutra a 450 mm, por lo que queda de la siguiente forma:

- Seccionamientos de compensación:

- Vanos ≥ 60 m: Sin eje.
- Vanos entre 35 y 60 m: eje.
- Vanos inferiores: dos ejes.
- Seccionamientos de lámina de aire y zona neutra:
 - Vanos entre 40 y 60 m: eje.
 - Vanos inferiores: dos ejes.

4.1.1.4.6. Flecha inicial del hilo de contacto

El pendolado estará definido para que el hilo de contacto presente, en posición estática, una flecha igual a 0,4 ‰ de la longitud del vano.

4.1.1.4.7. Pendiente del hilo de contacto

La pendiente máxima impuesta por la presencia de un paso superior o túnel, calculada como diferencia de alturas en los atirantados, será del ± 1 ‰, no excediendo del $\pm 0,5$ ‰ la variación de las pendientes entre dos vanos consecutivos.

Se proyectará procurando conseguir una altura constante del hilo de contacto, y realizando las menores transiciones posibles.

4.1.1.4.8. Cantón de compensación

La longitud máxima del cantón de compensación será de 1.320 m en rectas, limitándose en cualquier caso a 22 vanos por cantón ya sea recta o curva la alineación.

Los equipos de compensación serán de tipo poleas con compensación independiente para el sustentador y los hilos de contacto.

En caso de cantones de seccionamiento iguales o inferiores a 660 m, las compensaciones se colocarán en un solo extremo, preferiblemente en el sentido de la circulación.

Se proyectará un punto fijo en la mitad del cantón de compensación, que por defecto solo será para el sustentador. Se montarán latiguillos de punto fijo entre sustentador e hilo de contacto sólo en los siguientes casos:

- Cuando por motivos de replanteo sea necesario situar el punto fijo de un cantón mucho más próximo a una de las compensaciones que del otro: en este caso se montarán latiguillos a ambos lados.
- Cuando la pendiente de la rasante de vía sea superior a 5 milésimas: en este caso se montará solamente un latiguillo en el lado más bajo de la vía.

Los seccionamientos se realizarán en 3 vanos si estos son iguales o mayores a 60 m. Para vanos de menor longitud, los seccionamientos se efectuarán en 4 o 5 vanos, según el radio de curva.

4.1.1.4.9. Gálibo

La implantación de todos los elementos de la catenaria deberá tener en cuenta la Instrucción Ferroviaria de Gálivos, así como la UNE EN 15273. Debe tenerse en cuenta el tercer carril.

No obstante, lo indicado, se propone que la distancia entre las caras enfrentadas del poste y el carril más próximo a él será de 2,15 m con una tolerancia de $\pm 0,2$ m.

4.1.1.4.10. Conductores

Los conductores definidos por la tecnología son:

- Sustentador:
 - Designación: C 95.
 - Norma: UNE 207015 (Libro LAC) / DIN 48 201
 - Sección transversal: 95 mm²
 - Composición: 1x19 ($\phi = 2,52$ mm)
 - Diámetro aparente: 12,6 mm

- Material: Cobre electrolítico
- Carga de rotura mínima: 35,25 kN
- Tensión de trabajo: 15,450 kN (~1.575kg)
- Peso por metro: 0,864 kg/m
- Hilo de contacto:
 - Designación: CuAg 0,1 BC –120.
 - Norma: UNE-EN 50149.
 - Sección transversal: 120 mm²
 - Número de hilos: 1
 - Resistencia a la rotura mínima: 41 kN
 - Tensión de trabajo: 15,450 kN (~1.575kg)
 - Peso por metro: 1,069 kg/m
 - Resistencia máxima a 20°C: 0,153 Ω/km
- Peso por metro: 0,433 kg/m
- Corriente admisible: 350 A
- Fuerza tensora mínima a 20°C: 381 kg
- Resistencia máxima a 20°C: 0,3067 Ω/km
- Feeder negativo:
 - Designación: LA 280 (242AL1/39ST1A)
 - Norma: UNE 21018
 - Sección transversal: 280 mm²
 - Composición: Al 26x3,44 mm + Ac 7x2,68 mm
 - Diámetro aparente: 21,8 mm
 - Resistencia a rotura mínima: 84,50 kN
 - Peso por metro: 0,977 kg/m
 - Resistencia máxima a 20°C: 0,1195 Ω/km

La tensión del hilo de contacto incide directamente en la calidad de captación de corriente de los trenes y está vinculada con la velocidad de estos.

- Cable de retorno:
 - Designación: LA 110 (94-AL1/22ST1-A)
 - Norma: EN 50.182
 - Sección transversal: 116,2 mm²
 - Composición: 30x2 mm Al / 30x2 mm Ac
 - Resistencia a rotura mínima: 43,17 kN
- Péndolas:
 - Designación: Bronce Bz II 16 mm² flexible
 - Composición: 84x0,5
 - Sección transversal: 16 mm²
 - Diámetro aparente: 5,89 – 6,51 mm
 - Peso por metro: 0,140- 0,164 kg/m
 - Resistencia máxima a 20°C: 1,785 Ω/km

- No se utilizarán péndolas en Y (falso sustentador).

4.1.2. Parámetros geométricos

La catenaria se diseñará, replanteará y ejecutará se forma que se cumplan siguientes parámetros geométricos:

CA-200 / 25kV		
Velocidad máxima de diseño	200	Km/h
Tensión de alimentación	25	kV
Pantógrafos admisibles	1600/1950	mm
Hilo de Contacto		
Tipo hilo contacto	BC-120 Cu Ag 0,1	
Sección	120	mm ²
Número de hilos de contacto	1	
Tensión mecánica	1575	kgf
	1545	daN
Cable sustentador		
Tipo sustentador	Cu ETP	
Sección	95	mm ²
Tensión mecánica	1575	Kgf
	1543	daN
Falso sustentador / Péndola en Y		
[ninguna]	-	
Péndolas		
Tipo de péndola	Bronce Flexible	
Sección	16	mm ²
Número de péndolas (vano máximo)	7	
Distancia de la primera péndola al apoyo	6,0	m
Separación entre péndolas	8,0	m
Separación interior pareja	-	m
Conjunto de atirantado		
Longitud brazo atirantado (recta)	1000	mm
Aislador de atirantado	-	
Ménsula y suspensión		
Tipo de ménsula	Tubular aluminio	
Aislador de suspensión sustentador	-	
Aislador de ménsula y tirante	25kV	
Postes		
Tipo de poste	X-AV	
Gálibo del poste (recta)	dist. poste-carril	2,15 m
	dist. eje poste-eje vía IB	3,25 m
Parámetros Geométricos		
Vano máximo	60	m
Altura del sistema	1400	mm
Descentramiento	±20	cm
Flecha hilo contacto en centro del vano	0,4	‰
Altura del hilo de contacto	nominal	5300 mm
	máxima	6000 mm
	mínima	Variable según gálibo (UNE EN 50119:2010 apdo. 5.10.5)
Seccionamientos		
Separación	secc. compensación	250 mm
	sec. lamina aire fase-tierra	300 mm
	sec. lamina aire fase-fase	400 mm

Tabla 2. Parámetros geométricos de la catenaria CA-200/ 25kV.

4.1.3. Características de los Materiales, Equipos y Montajes

4.1.3.1. Macizos

El tipo de cimentación dependerá del tipo de poste a emplear, de las características y de la capacidad de carga del terreno donde se realice la cimentación. Se proyectarán preferiblemente cimentaciones de tipo cilíndrico, salvo en caso excepcionales, donde podrán ser tanto cilíndricos como prismáticos, en función de las condiciones de ejecución.

Para el dimensionamiento de las cimentaciones se empleará una metodología de cálculo contrastada. Podrá usarse tanto el Método Sutzberger como el Método ORE.

La ejecución de los macizos de cimentación cumplirá la norma NAE106 de ADIF La elección del tipo de armadura y sus dimensiones será la correspondiente al tipo de poste y solicitud mecánica de sistemas de corriente alterna.

En los casos en que el terreno presente un alto contenido en piedras (pedraplén) o sea rocoso, se procederá a la instalación de micropilotes como base para la fijación del poste. Esto se llevará a cabo mediante la ejecución de un macizo cilíndrico con armadura sin pernos cuya profundidad permita que tenga contacto con la zona de roca. Tras el fraguado se procederá al taladrado de este, lo que servirá de guía para los micropilotes. Los micropilotes se fijan realizando un taladrado de aproximadamente 10 cm de diámetro y mediante el empleo de una plantilla.

La fijación de los postes y anclajes en los viaductos se realizará utilizando las esperas preparadas en los viaductos a tal fin. En el caso de que éstas no estén realizadas, se practicarán taladros pasantes alojando en cada uno de ellos varillas roscadas debidamente protegidas mediante sellado de estas y colocando herrajes tanto en la parte superior como inferior de la viga del viaducto. Todos los elementos serán de acero galvanizado.

La fijación entre los postes y el forjado del viaducto o estructura se formará a modo de "sándwich" de modo que la fijación del poste o anclaje quede asegurada. Los huecos sobrantes de los taladros se rellenarán de una pasta sellante adhesiva tipo Sikadur 42 o similar. En caso de que los taladros se ejecuten una vez protegida la superficie del viaducto por tela asfáltica u otro sistema análogo, se procederá al sellado de este para evitar filtraciones.

Cada cimentación irá provista de una puesta a tierra independiente mediante pica. Se incluirá un latiguillo de conexión para su unión eléctrica al poste cuando éste se fije. Para la conexión eléctrica se empleará un cable de cobre o acero cobreado de 50 mm² aislado en PVC 0,6/1kV, así como un tubo corrugado para evitar rozaduras. Se fijará a la pica y al poste mediante un terminal adecuado. En las zonas donde no se pueda instalar tomas de picas individuales se instalará un cable colector, unido a tierra en sus extremos, para asegurar la equipotencialidad del sistema.

4.1.3.2. Postes

Los postes serán dobles perfiles UPN unidos por cartelas diagonales mecanizados en su base para ser instalados mediante pernos (postes abiertos, de acero S275JR (UNE EN 10025) galvanizado). La dimensión de los perfiles UPN y la distancia entre los mismos determina la resistencia del poste.

Los postes sometidos a esfuerzos de torsión (como es el caso de semiejes y elevaciones en agujas) deberán disponer de cartelas de refuerzo diagonales. No se admitirán postes de tipo cerrado para esta función.

Los postes situados en zonas de vandalismo o paso de viajeros deberán disponer de equipos anti escalada, o serán de tipo HEB.

Los postes tienen diferentes alturas dependiendo de la función para la que han sido diseñados:

- Normales, de 8,55 m, tipo X-nAV empleados generalmente en vía general.
- Alargados, de 9,45 m, tipo XL-nAV empleados generalmente para anclajes de seccionamiento o si deben incorporar equipos de compensación.
- Extra alargados de 12,45 m, tipo XLL-nAV empleados en pórticos o casos especiales. En caso de pórticos autosoportados la altura podrá ser inferior.

Los postes para pórticos de salida de centros de autotransformación o subestaciones serán de 12,45 m de altura, para facilitar los cruces y las alimentaciones a las diferentes catenarias.

En puentes y viaductos, se emplearán los mismos tipos de poste que en vía general, cambiando únicamente el tipo de cimentación utilizada.

En casos especiales, a ubicar en gálibo escaso, puede recurrirse a postes que deberán ser calculados expresamente.

Los postes metálicos deberán cumplir las siguientes condiciones:

- El anclaje a la cimentación se realizará mediante tuercas roscadas en los cáncamos, pernos roscados que sobresalen de la cimentación, que se taparán con caperuzas o similares, o en su defecto se cubrirán con cemento pobre.
- Para el transporte, se utilizarán unos útiles especiales que eviten su roce entre sí y con otros elementos que puedan dañar la superficie de estos.
- Los postes situados en zonas de vandalismo o paso de viajeros contarán con protección anti escalada.
- Estarán galvanizados sin pintar, y cumplirán la E.T. 03.364.101.0 y la UNE EN ISO 1461 para el galvanizado.

4.1.3.3. Pórticos Rígidos

A fin de aumentar la fiabilidad de la instalación y de minimizar la incidencia de avería de una catenaria en otra colateral, se instalará preferiblemente un poste independiente para la o las catenarias de una vía.

Cuando por razones de gálibo no puedan instalarse postes independientes para la catenaria de una vía, se emplearán pórticos rígidos o semipórticos.

Los pórticos a instalar estarán compuestos por vigas rectangulares de celosía formadas por montantes de acero con perfil en 'L' y diagonales. Los dinteles podrán ser de tipo auto soportado o con tirantes.

El material de estos serán perfiles de acero UNE-EN 10025 (acero S275 JR como mínimo), galvanizados igual que los postes. Cumplirán la E.T. 03.364.101.0 y la UNE EN ISO 1461 para el galvanizado.

4.1.3.4. *Ménsulas*

Las ménsulas serán de aluminio del tipo tubular trianguladas estando formado el cuerpo de la ménsula por dos tubos (cuerpo y tirante), reforzados en todos los casos con tubos diagonales.

Se compondrán:

- Tubo cuerpo de ménsula de \varnothing 70 mm y espesor mínimo 6 mm.
- Tubo tirante de ménsula de \varnothing 55 mm y espesor mínimo 6 mm.
- Tubo diagonal de refuerzo de \varnothing 42 mm y espesor mínimo 4 mm, a instalar entre cuerpo de ménsula y tirante en todas las ménsulas.
- Tubo estabilizador de atirantado de \varnothing 42 mm y espesor mínimo 4 mm.
- Péndola o soporte de tubo estabilizador de atirantado:
 - Tubo aluminio de \varnothing 42 mm y espesor mínimo 4 mm, en ménsulas de atirantado dentro.
 - Cable de 50 mm² de acero inoxidable, flexible, en ménsulas de atirantado fuera.
- Aislador de cuerpo de ménsula.
- Aislador de tirante de ménsula.
- Suspensión.
- Rótula de giro de tirante.
- Rótula de giro de tubo cuerpo de ménsula.
- Brazo de atirantado.

Las ménsulas deberán cumplir las siguientes exigencias:

- Estarán dimensionadas para los esfuerzos de la catenaria de acuerdo con lo indicado en la norma UNE EN-50119 última revisión.
- Estarán sujetas al poste mediante contrataciones ajustables en altura.
- El tubo de tirante de ménsula será totalmente horizontal salvo en seccionamientos.
- El tubo de atirantado será también horizontal.
- El brazo de atirantado tendrá una longitud nominal de 1,0 m, pudiendo emplearse longitudes mayores en agujas aéreas y seccionamientos, y longitudes menores hasta 0,9 m en caso de galibo mecánico o eléctrico insuficientes.
- Llevarán conexiones eléctricas que garanticen la continuidad eléctrica en las articulaciones, para caso de cortocircuito y asegurar la equipotencialidad de todas las partes. Las conexiones llevarán arandelas bimetálicas Al-Cu para evitar pares electroquímicos.
- En el extremo, lado eje de vía, del tubo tirante se fijará la grapa de suspensión que soporta el cable sustentador y por tanto el peso de la catenaria. Entre la grapa y el cable sustentador se intercalará una placa bimetálica de cobre-aluminio que evita la corrosión debida a la diferente electronegatividad de ambos.
- Las grapas de suspensión de sustentador serán de tipo mordaza permitiendo cierto grado de giro para su instalación en semiejes y otros cambios de dirección.
- Garantizarán el movimiento de los conductores en todas las condiciones medioambientales de funcionamiento. Las rótulas deberán permitir el giro de las ménsulas en todo el margen de temperaturas de funcionamiento.
- Deberán ser regulables para permitir el ajuste final de la altura de la catenaria, en un rango de +/- 15 cm, así como de su descentramiento en un rango de +/- 12 cm, de forma independiente.
- Deberán calcularse para no interferir el gálibo cinemático de los vehículos, así como el gálibo de los pantógrafos susceptibles de circular por la línea, conforme a los requisitos de la Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, «Instrucción ferroviaria de gálibos».

- Estar compuestas por un número reducido de piezas y que éstas pudieran servir para cualquier tubo.
- Todos los tubos de las ménsulas deberán tener diámetros exteriores de 70 mm, 55 mm ó 42 mm, con espesores mínimos de 4 mm para los tubos de 42 y 6 mm para el resto, pudiendo aumentar su espesor en función de las cargas y esfuerzos.
- Sus componentes deberán estar protegidos contra la corrosión y contra las condiciones medioambientales extremas, para reducir su mantenimiento.
- Los tubos de ménsula y tirante se unirán a sus aisladores respectivos mediante uniones rígidas, y los aisladores se unirán a los conjuntos de giro.
- Los conjuntos de giro deberán disponer de arandelas apropiadas o rodamientos que minimicen el rozamiento de los mismos con la carga de servicio.
- Las ménsulas, bien sean sencillas o dobles, siempre se fijarán a un soporte de giro de forma que se permita el ajuste en altura sobre el poste.
- En el caso de pórticos rígidos y túneles, la instalación de las ménsulas se realizará sobre soportes que irán fijados al dintel del pórtico o a la bóveda del túnel.

Dentro de la ménsula, el conjunto de atirantado deberá cumplir las siguientes condiciones:

- La altura del tubo estabilizador de atirantado respecto del hilo de contacto deberá ser tal que permita una elevación del hilo de contacto al paso del pantógrafo de al menos las siguientes cuantías, de acuerdo con lo indicado en la norma UNE EN-50119:
 - Equipos de atirantado sin limitadores de elevación (2 veces el valor de la elevación calculada).
 - Equipos de atirantado con limitadores de elevación (1,5 veces el valor de la elevación calculada).
- La fijación del tubo estabilizador de atirantado al tubo cuerpo de ménsula deberá realizarse mediante rótulas o similar, en función del cálculo a realizar.

- Los brazos de atirantado se unirán al tubo estabilizador mediante soporte que posibilita regular la altura y permite el giro del brazo. El mismo soporte de atirantado deberá admitir dos brazos de atirantado con la separación adecuada.
- El brazo de atirantado llevará péndola anti-viento, obligatoriamente en las ménsulas de atirantado fuera, y opcionalmente en las ménsulas de atirantado dentro cuando las condiciones de viento locales lo aconsejen.
- La forma geométrica del brazo de atirantado deberá ser tal que permita el paso de los pantógrafos y no sean rozados en ninguna circunstancia, incorporando un limitador de la elevación del hilo de contacto, en el brazo o en su soporte, o bien elevando el tubo estabilizador de forma adecuada.
- La péndola del tubo de atirantado podrá ser bien de cable o bien rígida con piezas adecuadas, de acuerdo con los cálculos a realizar.
- La posición en altura del brazo de atirantado deberá ser tal, que dicho brazo trabaje como péndola y no grave sobre el hilo de contacto.
- En el diseño se los brazos de atirantado para agujas aéreas, seccionamientos, zonas neutras de separación de fases, etc., se deberán tener en cuenta además de las condiciones para los brazos normales, las especiales de estos equipamientos. En estos casos los brazos de atirantado no deberán interferir con los hilos de contacto de otras catenarias diferentes a las que sustenten y se deberá mantener la distancia necesaria entre catenarias en su caso.
- La unión del brazo de atirantado al soporte de atirantado deberá permitir tanto el movimiento horizontal como el vertical, mediante rótula cardan o similar.
- Se conectará el brazo al soporte a través de una conexión equipotencial.

El material de las ménsulas deberá ser:

Elemento	Material
Tubos de ménsula (cuerpo, tirante, estabilizador, diagonal y péndola).	Aleación de aluminio
Brazo de atirantado (tubo).	Aleación de aluminio
Tornillos, pasadores, pernos, abrazaderas, tuercas, arandelas.	Acero inoxidable
Piezas de unión de los componentes del conjunto de ménsula, rótulos, herrajes, etc.	De fundición de aleación de aluminio
Suspensión tipo apoyada.	Aleación de Al con placas bimetálicas Al-Cu, bronce o similar
Péndola soporte tubo estabilizador de atirantado.	En caso de ser de cable, este será de acero inoxidable. Si es rígido de tubo será de aleación de aluminio.

Tabla 3. Elementos y materiales de las ménsulas.

4.1.3.5. Aisladores

Según su función, podrán instalarse aisladores tanto de composite como cerámica. No obstante, los aisladores de composite será la opción preferente.

Función	Aisladores admitidos
Colas de anclaje – aislador final	Composite
Colas de anclaje – aislador intermedio	Composite
Feeder en suspensión	Composite
Feeder en apoyo	Composite o cerámico
Aislador de cuerpo de ménsula	Composite o cerámico
Aislador de tirante de ménsula	Composite o cerámico

Tabla 4. Aisladores.

Los aisladores de porcelana deberán llevar herrajes adecuados a su función. Estos herrajes serán de acero fundido y capaz de resistir los esfuerzos a transmitir al aislador. Los ensayos del aislador deberán hacerse con los herrajes montados.

En cada uno de los casos los aisladores deberán haber sido probados en todos los aspectos de acuerdo con cada norma aplicable.

Las características eléctricas y mecánicas de los aisladores serán las siguientes:

Eléctricas

Los aisladores del sistema de catenaria deberán estar diseñados para una tensión de servicio nominal de 25 kV. Esto implica que, según EN 50163, la tensión permanente máxima será de 27,5 kV (susceptible de estar presente indefinidamente) y la tensión no permanente máxima de será de 29 kV (susceptible de estar presente durante tiempo limitado). La duración de las tensiones entre la tensión permanente máxima y la no permanente máxima no deberá sobrepasar los 5 minutos.

Según el Anexo D de la EN 50124-1, para instalaciones fijas de equipos destinados a estar conectados a la catenaria o feeder, como pueden ser seccionadores, transformadores, etc., la tensión más elevada para el equipo, que correspondería con la tensión entre fases para los sistemas de corriente alterna trifásicos, será de 52 kV (tensión asignada de aislamiento).

Línea de fuga

- Nivel de contaminación:
 - Definido como PD4 según EN 50124-1.
 - PD4A s/EN 50.124-1 en túnel y zonas contaminadas.
 - Líneas de fuga mínima: 30 mm/kV para valores de la tensión asignada de aislamiento por encima de 1000 V (Tabla A.7 EN 50.124-1).
 - Líneas de fuga mínima: 40 mm/kV en túnel y zonas contaminadas.
- Por lo tanto, para 29 kV:
- Líneas de fuga mínima: 870 mm en general.
 - Líneas de fuga mínima: 1160 mm en túnel y zonas contaminadas.

Los aisladores proyectados para aplicaciones en general tendrán una línea de fuga mínimo de 1.200 mm. En circunstancias excepcionales, cuando por razones de gálibo u otras no sea posible emplear el aislador estándar, se admitirán aisladores de 900 mm de línea de fuga, siempre en zonas no contaminadas y fuera de túnel.

Según UNE EN 50124-1 para 27,5 kV:

- Tensión soportada a impulso tipo rayo en seco (valor de cresta): 200 kV.
- Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia (valor eficaz): 95 kV.

Mecánicas

Todos los aisladores estarán dimensionados para soportar los esfuerzos mecánicos de la instalación en las condiciones más desfavorables, incluidas las sobrecargas de viento, hielo y servicio.

Los aisladores de las colas de anclaje deberán soportar esfuerzos de tracción de acuerdo con los tenses mecánicos aplicados a los conductores y cables.

Los aisladores del tubo cuerpo de ménsula deberán soportar esfuerzos de compresión, flexión y torsión.

Los aisladores del tirante de ménsula deberán soportar esfuerzos de tracción y en ciertas circunstancias de compresión.

Todos los aisladores deberán cumplir la UNE- EN, y los aisladores compuestos cumplirán además la norma UNE – EN 62621.

4.1.3.6. *Aisladores de Sección*

Todos los aisladores de sección estarán dotados de aislador del tipo barra en sustentador, además de péndolas para su nivelación.

Se usarán aisladores de sección adecuados para un hilo de contacto Cu-Ag 0,1 120 mm² y sustentador de cobre de 95 mm², y con aislamiento para una tensión nominal de 27,5 kV c.a.

4.1.3.7. *Conductores*

Se montará sustentador de Cu de 95 mm² de sección de 19 hilos de 2,52 mm de diámetro según E.T. 03.364.158.0.

Se montarán un hilo de contacto de CuAg 0,1 BC-120 mm² de sección circular según E.T.03.364.291.9.

4.1.3.8. *Punto Fijo*

Las colas de anclaje del punto fijo contarán con aisladores de 25 kV de porcelana o composite y cable de acero galvanizado de 72 mm².

Se montarán latiguillos de punto fijo entre sustentador e hilo de contacto con cable de cobre de 95 mm² flexible, y sólo en los siguientes casos:

- Cuando por motivos de replanteo sea necesario situar el punto fijo de un cantón mucho más próximo a una de las compensaciones que del otro: se montarán latiguillos a ambos lados.
- Cuando la pendiente de la rasante de vía sea superior a 5 milésimas: en este caso se montará solamente un latiguillo en el lado más bajo de la vía.

4.1.3.9. *Seccionamientos*

Siempre que sea posible por trazado y replanteo (es decir, siempre que se cumplan los requisitos de desviación lateral máxima por viento para los pantógrafos de 1600 mm), en los seccionamientos de lámina de aire se dejará una separación entre catenarias de 500 mm; en el caso de que no fuera posible dicha lámina de aire, como mínimo deberá dejarse una separación de 450 mm.

Los seccionamientos de compensación tendrán una separación de 250 mm.

Cuando los vanos sean mayores de 50 m, los seccionamientos se realizarán en 3 vanos; cuando los vanos sean menores de 50 m, los seccionamientos se realizarán en 4 vanos (con eje de seccionamiento) con el fin de conseguir suficiente longitud de solape de las catenarias. Si por requisitos del replanteo fuera necesario instalar un seccionamiento en curva de radio reducido, se podrán realizar seccionamientos hasta un máximo de 5 vanos (con dos ejes), debiendo en caso necesario reducir el tense de los conductores para cumplir este requisito.

La altura de la catenaria en los seccionamientos varía para asegurar las distancias de aislamiento e impedir que una de las catenarias intercepte a la otra. Las alturas proyectadas en seccionamientos estarán en el rango 1,40 - 2,20 m.

Los seccionamientos de compensación se montarán con doble conexión de alimentación entre los sustentadores y entre los hilos de contacto. Estas conexiones se realizarán en ambos extremos del seccionamiento.

La separación en ménsulas dobles en los seccionamientos deberá proyectarse de acuerdo con el margen de temperatura de -20 °C a +80 °C en los conductores.

Los aislamientos intermedios se instalarán en el vano de elevación, lo más cerca posible del equipo de hilo elevado que permita el montaje.

Los seccionamientos aislados estarán ubicados de forma que no interfieran con el funcionamiento del sistema de señalización de modo que se evite su ubicación en los puntos posibles de parada.

4.1.3.10. Equipos de compensación

La catenaria propuesta estará compensada mecánicamente de forma automática de modo que se mantenga la tensión mecánica de los conductores ante un cambio de las condiciones medioambientales, principalmente la temperatura.

Esta compensación automática se conseguirá mediante equipos de poleas y contrapesos.

Los equipos de compensación de las catenarias deberán satisfacer las siguientes condiciones:

- Todas las catenarias se compensarán mecánica y preferiblemente mediante equipo de poleas y contrapesos. Excepcionalmente se admitirán equipos de compensación tipo muelle en túnel o estación, cuando las condiciones de montaje o seguridad de los viajeros así lo aconsejen.
- Compensación independiente para el sustentador y para los hilos de contacto mediante equipos separados. Cada equipo de contrapeso llevará su guía independiente y su montaje se proyectará de forma que no exista interferencia entre ambas.
- Relación de compensación será de 1:3 para el sustentador y de 1:5 para los hilos de contacto.

- Los equipos de compensación a cielo abierto deberán montarse en el mismo poste, colocando las poleas una sobre otra a distinta altura, pero en vertical y con distinta separación del poste.
- Los equipos de compensación deberán llevar protecciones eficaces para garantizar la seguridad de las personas. Opcionalmente, cuando exista riesgo de robos o actos vandálicos, se dotará a las compensaciones de un sistema de bloqueo de seguridad, de forma que ante un eventual corte del cable que soporta los contrapesos, la línea aérea de contacto no caiga al suelo. El sistema de compensación deberá tener un rendimiento superior al 95% demostrable mediante los ensayos correspondientes, y deberá cumplir los requisitos de la ET 03.364.103.6.
- El recorrido de los equipos de compensación deberá proyectarse teniendo en cuenta el margen de temperaturas, de -20°C a +80 °C en los conductores, y para la longitud de semicantón máximo de 660 m.
- En equipos de contrapesos montados cerca de andenes o zonas de paso serán preferiblemente de tipo muelle, o en caso de ser de contrapesos se instalarán jaulas de protección.

Los materiales empleados en los equipos de compensación deberán evitar su corrosión, debiendo ser los sistemas de fijación de acero S-275 JR (1.0044) según UNE-EN 10025 galvanizado o similar. Los tubos guía podrán ser de aluminio. El acabado del acero será galvanizado al igual que los postes y pórticos.

Todas las poleas de compensación deberán cumplir la ET 03.364.103.6.

4.1.3.11. Seccionadores

Los seccionadores serán los adecuados para un sistema de 25 kV c.a. Los seccionadores podrán ser unipolares o bipolares según su función en el esquema eléctrico, que en general se serán los siguientes:

Función	Tipo Seccionador
Pórtico de feeders en subestación o Centro autotransformación Final	Unipolar
Pórtico feeders en Centro Autotransformación Intermedio	Bipolar
Puenteo de seccionamientos de lámina de aire en estación	Bipolar
Puenteo de seccionamientos de lámina de aire en Zonas Neutras	Unipolar
Alimentación a vías secundarias	Unipolar
Alimentación a servicios auxiliares	Unipolar
Zonas de Separación de Sistemas	Unipolar

Tabla 5. Seccionadores.

4.1.3.12. Protecciones

4.1.3.12.1. Cable de tierra

Cable de aluminio-acero LA 110. En los cambios de dirección o amarres se dará continuidad, mediante un bucle.

La suspensión del cable de tierra se realizará mediante grapa G-36U.

En los anclajes del cable de tierra se conectará dicho cable al poste mediante grapa G- 39U.

Los empalmes del cable se realizarán mediante empalmes de compresión tanto al acero como al aluminio.

Debido a que cada poste lleva su propia pica de puesta a tierra, no se considera la instalación de tomas de tierra adicionales salvo donde se instalan pararrayos tipo autoválvula.

En aquellos tramos en los que exista una elevada resistividad del terreno o no sea posible la instalación de la pica de tierra de cada poste se deberá tender un cable colector de Cu 50 mm² desnudo enterrado en canalización que se conectará a cada poste mediante cable de Cu 50 mm² aislado 0,6/1 kV integrándose de esta manera en la red de tierras.

4.1.3.12.2. Toma de tierra

La red de tierra estará formada tanto por la pica individual de las cimentaciones de postes, como por los pozos de puesta a tierra.

Se instalará un pozo de puesta a tierra coincidente con la posición de los pararrayos y de los seccionadores.

Los pozos de puesta a tierra tendrán una resistencia de difusión menor de 10 Ohm, lo cual generalmente se consigue con un conjunto de 6 o más picas de p.a.t. Independientemente de las picas necesarias, una de ellas se considerará como principal que será la más cercana al poste. Esta se encontrará alojada en una arqueta prefabricada de dimensiones mínimas de 40 x 40 x 50 cm.

4.1.3.12.3. Pararrayos de óxidos metálicos

Los pararrayos que se instalarán serán del tipo formado por autoválvulas de óxidos metálicos.

Se instalará como mínimo un pararrayos en cada tramo susceptible de quedar aislado eléctricamente, es decir, trayectos entre zonas neutras de separación de fases, y vías secundarias aisladas.

Asimismo, se instalará un pararrayos siempre que se realice una transformación de cable desnudo a cable aislado (túneles, cruces de gálibo reducido, etc.).

4.1.3.12.4. Protección de Pasos Superiores

En nuevas electrificaciones se deberán instalar en los pasos superiores unas pantallas o cerramientos conforme a los requisitos de la norma UNE-EN 50122-1.

En el caso de que las características del paso superior no permitan la instalación de dichas pantallas, se podrán instalar en su defecto viseras adecuadas de fibra de vidrio de al menos 1 metro de anchura, sobre el cable sustentador y feeder si lo hubiera.

4.1.3.12.5. Sección tipo de electrificación

Se adjunta en la siguiente figura la sección tipo de electrificación:

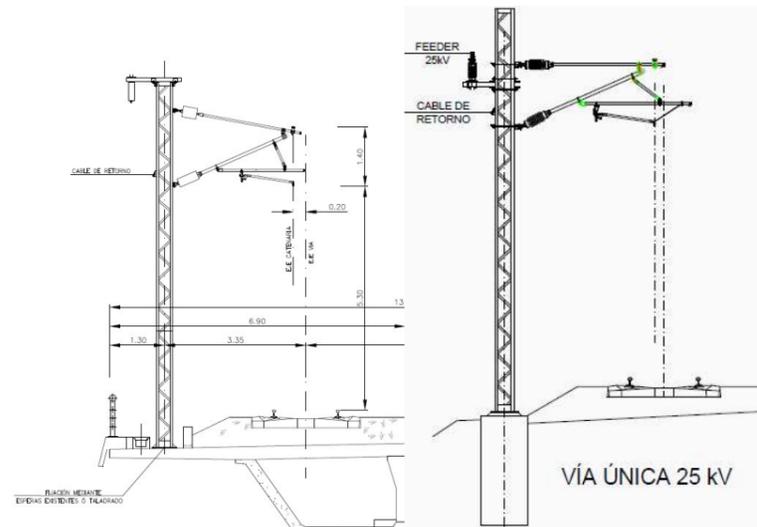


Imagen 2. Viaductos a la izquierda; Vía Única a la derecha.

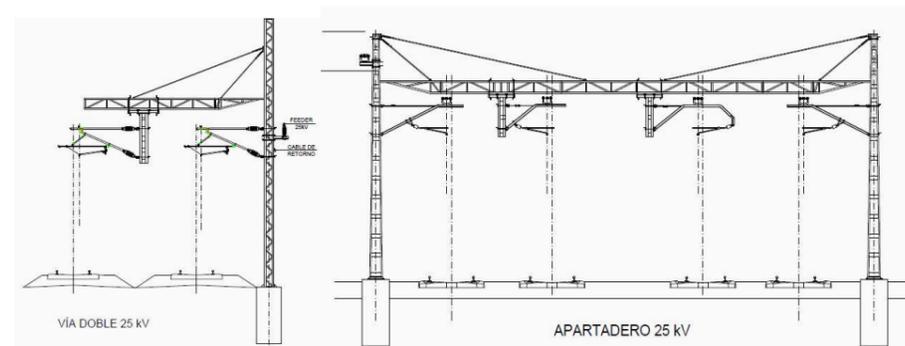


Imagen 3. Vía Doble a la izquierda; Apartadero a la derecha.

4.2. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es corriente alterna a 50 Hz, Sistema 1 x 25 kV ó 2 x 25 kV.

De acuerdo con los resultados arrojados por las simulaciones eléctricas realizadas para el suministro eléctrico a la tracción ferroviaria del tramo Bobadilla-Ronda de la línea Bobadilla-Algeciras, se requiere la ejecución de una única subestación de tracción ubicada en las inmediaciones de Ronda, en el PK 66/700.

La subestación de REE corresponde a la Central Hidroeléctrica Tajo de la Encantada. Teniendo en cuenta las líneas que parten de esta subestación, la línea más próxima al trazado de la vía

para la implantación de una subestación de tracción corresponde a la Línea Jordana- Tajo de la Encantada.

Por otra parte, a fin de posibilitar la alimentación de la línea Bobadilla – Algeciras, debe conectarse eléctricamente el tramo objeto del estudio con la LAV Córdoba – Málaga.

Como punto de conexión se define el ATI 402.5, ubicado en el p.k. 96/311 de la LAV Córdoba – Málaga, que será ampliado.

El resto del tramo ferroviario vendrá alimentado por la nueva subestación de Ronda y los tres nuevos autotransformadores propuestos para poder abastecer la línea (ATF 411.1, ATI 411.2 y ATI 411.3)

Para la conexión de este ATI 402.5 con la catenaria del trazado actual, deberá realizarse un tendido de los conductores del sistema desde este edificio hasta el final de la catenaria convencional, instalada en el inicio del tramo objeto de este estudio.

Este sistema de alimentación estará compuesto tres cables LA-280:

- Feeder positivo (+25 kV)
- Feeder negativo (-25 kV)
- Cable de retorno.

Se registran de forma paralela a la vía mediante postes situados en los mismos Pks que los postes de catenaria existentes. El tendido se realizará según lo representado en la sección tipo de la figura inferior.

Se destaca la necesidad de mantener el aislamiento establecido según la normativa de 3 metros entre los elementos electrificados de la catenaria existente a 3kV c.c. con el sistema nuevo a introducir de 2x25 kV c.a. Se presentan dos alternativas de posición del feeder positivo en el poste de registro de estos conductores.

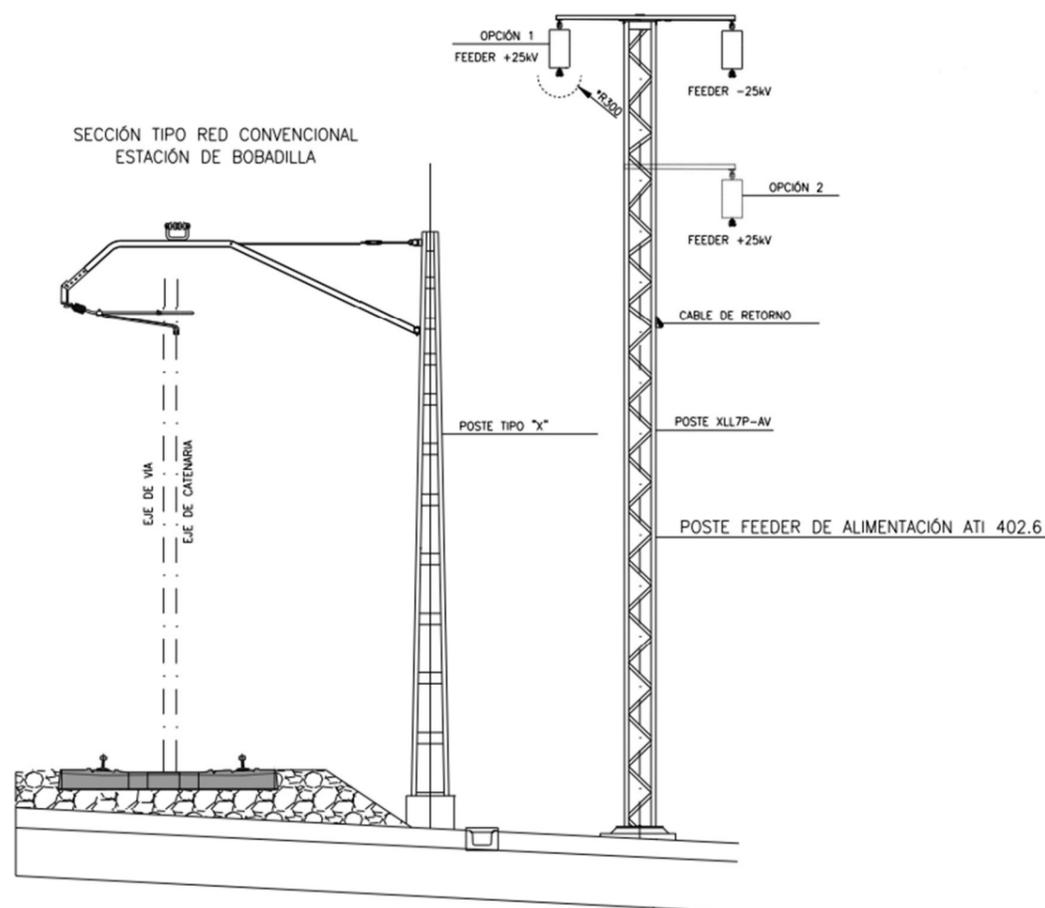


Imagen 4. Sección Tipo. Tendido feeder.

Las actuaciones que se contemplan para el tendido de los conductores hasta la interacción con la catenaria ya instalada son las siguientes:

- Instalación de cuatro pórticos de salida de alimentación desde el centro de autotransformación 402.5.
- Instalación de alineación de postes rodeando la estación de Antequera – Santa Ana hasta cruzar la vía convencional.
- Cruce sobre la catenaria actual Córdoba – Málaga.
- Instalación de postes paralelos a la vía junto a la línea Córdoba – Málaga hasta la estación de Bobadilla, rodeándola hasta la vía salida Algeciras, donde se instalará un pórtico de anclaje.

- Tendido de los tres cables tipo LA-280, los dos feeders (positivo y negativo) y el cable de retorno.
- Instalación de zona neutra para el cambio de sistema entre los 3 kV c.c. y 25 kV c.a. con la parte central conectada a tierra.

A continuación, se definen los pórticos de salida de la subestación y centros de auto transformación para el caso de que el sistema elegido fuese el de 2 x 25 kV.

4.2.1. Pórticos de salida de subestación y centros de auto transformación final

Independientemente de los apoyos de salida de las subestaciones o centros de autotransformación final, se proyecta la instalación de pórticos de salida de catenarias y feederes de –25 kV. Dichos pórticos consisten en dos postes con sus cimentaciones correspondientes y dinteles para albergar:

- Los seccionadores.
- Los accionadores eléctricos.
- Apoyos intermedios de timonería.

La altura del dintel superior debe ser tal que permita el cruce de las alimentaciones entre los pórticos manteniendo la distancia suficiente de aislamiento con las catenarias. Se proyecta que dicha distancia sea de al menos 3 m.

La distancia entre los seccionadores a instalar en el pórtico será de al menos 1 m a fin de prever espacio para equipamiento adicional.

El número de apoyos intermedios dependerá de la timonería elegida.

La salida de los feederes de la subestación o centro de auto transformación final se dispondrá de modo que se eviten los cruces innecesarios entre los conductores.

En el pórtico de subestación se instalarán los siguientes seccionadores:

- Seccionador de punta de feeder de catenaria y de feeder de –25 kV que serán unipolares.
- Seccionadores de puenteo de feeder de –25 kV que serán unipolares.

Los feederes de alimentación de catenaria se extienden desde uno u otro pórtico y suspendidos de la cabeza de los postes hasta el punto de alimentación, que generalmente es el primer semieje del seccionamiento de zona neutra.

El seccionador de puenteo de catenaria de zona neutra correspondiente se instalará en el poste siguiente al del primer semieje del seccionamiento de zona neutra (donde se ha realizado la alimentación de feeder).

4.2.2. Pórticos de salida de centro de autotransformación intermedio

Independientemente de los apoyos de salida de los centros de autotransformación intermedios, se proyecta la instalación de pórticos de salida de catenarias y feederes de -25 kV, uno a cada lado de la doble vía.

Dichos pórticos consisten en dos postes con sus cimentaciones correspondientes y dinteles para albergar:

- Los seccionadores.
- Los accionadores eléctricos.
- Apoyos intermedios de timonería.

La altura del dintel superior debe ser tal que permita el cruce de las alimentaciones entre los pórticos manteniendo la distancia suficiente de aislamiento con las catenarias. Se proyecta que dicha distancia sea de al menos 3 m.

La distancia entre los seccionadores a instalar en el pórtico será de al menos 1 m a fin de prever espacio para equipamiento adicional.

El número de apoyos intermedios dependerá de la timonería elegida.

La salida de los feederes del centro de autotransformación puede adaptarse a la salida del edificio, debido a la ausencia de cruces de cables.

4.2.3. Seccionadores en línea

A lo largo del tramo ferroviario se disponen de seccionadores que permiten configurar la instalación en caso de funcionamiento normal o degradado. Los seccionadores de alimentación

longitudinal de estaciones serán siempre bipolares a fin de interrumpir o conectar tanto la catenaria como el feeder de -25 kV.

Los seccionadores de punta de feeder de subestación o centro de autotransformación serán unipolares para el caso de las subestaciones y ATF.

Los seccionadores de alimentación a zona neutra serán unipolares.

Los seccionadores de alimentación a vías secundarias serán unipolares.

Los seccionadores de alimentación a centros de transformación en poste serán unipolares.

4.2.4. Feederes y su disposición

De acuerdo con el estudio eléctrico:

- No se empleará feeder de refuerzo en la instalación.
- El feeder negativo a instalar será del tipo 242-AL1/39-ST1A (anteriormente LA 280), para el caso de cable desnudo. No se prevé cable aislado.

4.2.5. Centros de autotransformación

En el caso de que el sistema elegido sea el sistema de 2 x 25 kV, será necesario la instalación de centros de autotransformación.

4.2.5.1. Centros de autotransformación finales

Su edificio de control será de planta rectangular con dimensiones aproximadas 15 x 9 m situado en una parcela con planta rectangular de dimensiones 37 x 25 m.

A continuación, se indica la distribución de los equipos principales en las distintas dependencias del edificio de control:

- Sala de Control.
- Celdas blindadas de SF6 para:
 - Protección de autotransformador.
 - Salida de catenaria-feeder.
 - Acoplamiento y medida.

- Seccionamiento y medida.
- Salida lateral desde la barra de feeder para acometida a celdas de servicios auxiliares.
- Celdas blindadas de SF6 de servicios auxiliares.
 - Acometida desde la barra de feeder.
 - Alimentación al transformador de servicios auxiliares.
- Cuadros de servicios auxiliares.
- Equipos rectificadores y baterías.
- Armarios de control y protección.
- Armario de barra cero.
- Sala de transformadores de servicios auxiliares.
- Transformador monofásico para servicios auxiliares.
- Oficina de comunicaciones.
- Armarios de control (UCPA).
- Depósito de aceite para los autotransformadores.
- Otros equipos que no forman parte de este proyecto.

En el exterior del edificio y cerrado por paneles prefabricados y valla metálica estarán situados los dos autotransformadores de potencia.

Los cables de conexión a catenaria y feeder salen subterráneos desde las cabinas de salida de 55 kV hasta los pórticos de salida de catenaria-feeder.

En cada uno de los pórticos se instalarán los siguientes equipos:

- Seccionador bipolar de apertura lateral.

- Autoválvulas.
- Aisladores.
- La bancada de los autotransformadores se conectará al depósito de recogida de aceite a través de una red de recogida de aceite.
- Además, el centro contará con las siguientes instalaciones:
 - Instalación de alumbrado, normal y de emergencia.
 - Instalación de fuerza.
 - Instalación de climatización y ventilación.
 - Instalación de detección de incendios.
 - Instalación de extinción manual de incendios.
 - Red de tierras exterior e interior.

4.2.5.2. Centros de Autotransformación Intermedios

El edificio de control será de planta rectangular con dimensiones aproximadas 15 x 9 m situado en una parcela con planta rectangular de dimensiones 32 x 25 m.

A continuación, se indican los equipos principales a instalar en las distintas dependencias del edificio de control:

- Sala de Control.
- Celdas blindadas de SF6.
 - Protección de autotransformador.
 - Salidas de catenaria-feeder.
- Salida lateral para acometida a celdas de servicios auxiliares.
- Celdas blindadas de SF6 de servicios auxiliares.

- Acometida desde las barras
- Alimentación al transformador de servicios auxiliares.
- Cuadros de servicios auxiliares.
- Equipos rectificadores y baterías.
- Armarios de control y protección.
- El armario de barra cero.
- Sala de transformadores de servicios auxiliares.
- Transformador monofásico para servicios auxiliares.
- Oficina de telecomunicaciones.
- Armarios de control (UCPA).
- Depósito de aceite para el autotransformador.

En el exterior del edificio y cerrado por paneles prefabricados y valla metálica estará situado el autotransformador de potencia.

Los cables de conexión a catenaria y feeder saldrán subterráneos desde las cabinas de salida hasta los pórticos de salida de catenaria-feeder.

En cada uno de los pórticos se instalarán los siguientes equipos:

- Seccionador bipolar de apertura lateral.
- Autoválvulas.
- Aisladores.

La bancada del autotransformador se conectará al depósito de recogida de aceite a través de una red de recogida de aceites.

Además, el centro contará con las siguientes instalaciones:

- Instalación de alumbrado, normal y de emergencia.
- Instalación de fuerza.
- Instalación de climatización y ventilación.
- Instalación de detección de incendios.
- Instalación de extinción manual de incendios.
- Red de tierras exterior e interior.

4.2.6. Línea de Alta Tensión

La infraestructura eléctrica de Alta Tensión de la zona afectada se puede observar en el plano general de infraestructuras eléctricas.

La subestación de REE corresponde a la Central Hidroeléctrica Tajo de la Encantada. De esta subestación parten las siguientes líneas:

- Líneas de 400 kV:
 - Hacia el suroeste → Línea Jordana- Tajo de la Encantada
 - Hacia el norte → Línea Tajo de la Encantada- Cabra
 - Hacia el suroeste → Línea Tajo de la Encantada- Caparacena
- Líneas de 220 kV:
 - Hacia el sur → Línea Tajo de la Encantada- Alhaurín
 - Hacia el sureste → Línea Tajo de la Encantada- Polígono
 - Hacia el noreste → Línea Tajo de la Encantada- Atarfe

Como se observa en el plano general de infraestructuras eléctricas, mencionado anteriormente, la línea más próxima al trazado de la vía para la implantación de una subestación de tracción corresponde a la Línea Jordana- Tajo de la Encantada.

5. Ventajas e inconvenientes técnicos de cada uno de los sistemas

Para la elección del sistema de electrificación de 25 kV tenemos dos posibilidades, el sistema de 1 x 25 kV y 2 x 25 kV. La principal diferencia entre ambos sistemas es la introducción de un feeder negativo en el 2 x 25 kV. La definición de cada uno de los sistemas viene recogida a continuación.

5.1. Sistema 1 x 25 kV

El sistema adoptado en España para la primera línea de Alta Velocidad, entre Madrid y Sevilla, fue el sistema de corriente alterna monofásica a 25 kV y frecuencia industrial de 50 Hz. Este sistema ha proporcionado unos resultados válidos, excepto en el caso de 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 comunidades telefónicas, por ejemplo, ha sido habitual. Este problema está generado por la puesta a tierra de las corrientes de retorno, que inducen campos electromagnéticos, que son los que producen las perturbaciones al paso del tren.

El sistema de electrificación 1 x 25 kV presenta el siguiente esquema de funcionamiento:

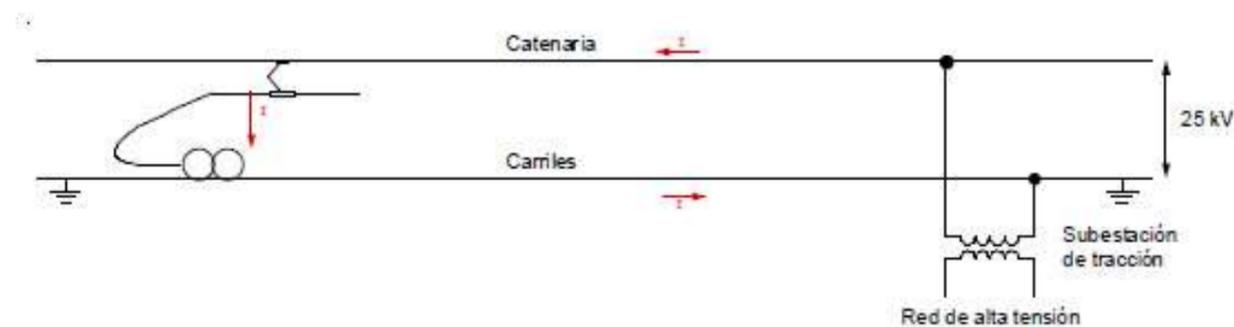


Imagen 5. Esquema de funcionamiento del sistema 1 x 25 kV.

Como variantes a este sistema surgen las siguientes posibilidades, que suponen pequeñas variaciones con respecto al sistema simple de 1 x 25 kV:

- Electrificación monofásica 1 x 25 kV con cable de retorno.

- Electrificación monofásica 1 x 25 kV con transformadores "booster".

El sistema de electrificación 1 x 25 kV a 50 Hz es un sistema eléctrico de tracción por el que se transmite potencia eléctrica al material rodante a partir de la energía entregada por la red de alta tensión, de la compañía suministradora, en corriente alterna trifásica. Para este caso, se requiere un nivel de tensión mínimo, en el lado de alta, de 132 kV.

El potencial de 25 kV se genera entre el carril, con potencial teóricamente nulo, y la catenaria.

Las subestaciones eléctricas alimentan los tramos mediante la catenaria que está sustentada en ménsulas, existiendo zonas neutras entre subestaciones colaterales, las cuales servirán como límite a los circuitos eléctricos de cada lado alimentados cada uno de ellos por una subestación diferente y fases distintas de la red de alimentación en alta tensión.

- Ventajas:

- Sencillez de equipos e instalaciones, lo que incide en un bajo costo de implantación y facilidad de esta.
- Mayor índice de disponibilidad, escalabilidad y mantenibilidad.
- Menor repercusión de limitaciones a efectos de expropiaciones, accesos, impacto medioambiental, interferencia con entornos urbanos, etc. relativa a la construcción de edificios, puesto que el número de estos es significativamente menor.

- Inconvenientes:

- Unas prestaciones de alta velocidad y tráfico importante en línea pueden determinar en algunos casos un aumento considerable de las cargas de tracción, y las caídas de tensión consiguientes en línea podrían obligar a la necesidad de implantación de un mayor número de subestaciones próximas entre sí y por ende una mayor necesidad de construcción de líneas de alta tensión que alimenten dichas subestaciones.
- La desventaja mayor de este sistema de electrificación se fundamenta en las características de su circuito de tracción, ya que la corriente circula por los carriles en toda la sección alimentada fluyendo asimismo por el terreno en función de su

conductividad. De esta forma, las tensiones inducidas y el nivel de interferencias en líneas de telecomunicación y señalización pueden alcanzar valores muy elevados.

- A pesar de considerarse acciones dirigidas a proteger a otros sistemas frente a estas perturbaciones, siempre se tendrá un riesgo mayor de afección en el sistema 1 x 25 kV que en el sistema 2 x 25 kV.

5.2. Sistema 2 x 25 kV

Otra alternativa sería el sistema de electrificación 2 x 25 kV con corriente alterna. Su principal característica es introducir un hilo para la corriente de retorno ("feeder negativo"). La diferencia de tensión existente entre el feeder de alimentación y el de retorno es de 50 kV, y 25 kV entre carriles y catenaria, de forma que el material tractor sigue siendo el mismo en ambos casos. Así el transporte de intensidad por la línea se realiza a 50 kV y la alimentación a 25 kV, de esta forma las subestaciones se pueden distanciar el doble. Este sistema de electrificación en 2 x 25 kV permite una mejor captación de energía con el mínimo desgaste en el tiempo, tanto de la catenaria como de los pantógrafos del material móvil.

El esquema de este sistema de alimentación sería el siguiente:

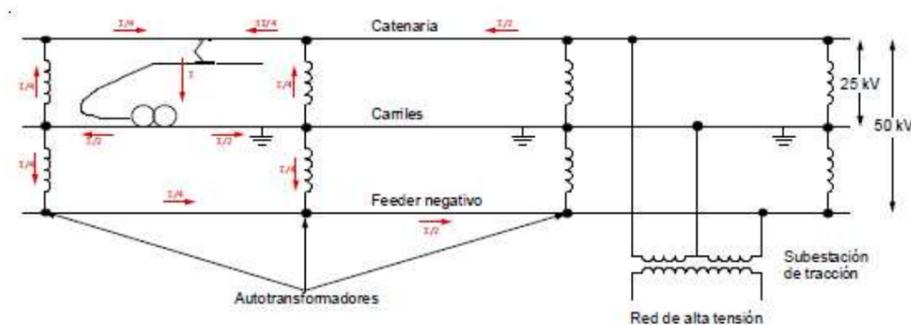


Imagen 6. Esquema de funcionamiento del sistema 2 x 25 kV.

En este caso, además de las subestaciones de tracción en línea, son necesarios autotransformadores a lo largo de ésta para transformar la tensión de 50 kV a 25 kV, permitiendo, además un gran equilibrio en la tensión de la línea, amén de protegerla contra corrientes vagabundas. De esta forma se reducen de forma drástica las corrientes parásitas, y la impedancia de la línea es hasta 3 veces menor, con lo que se puede aumentar la distancia de las subestaciones.

Se consigue así una disminución en el número de subestaciones a implementar, aunque éstas son de mayor potencia instalada. Además, se puede optimizar el emplazamiento de estas respecto a la traza de la línea de suministro disponible, lo que puede representar un ahorro en longitud de línea de alta tensión de acometida.

En resumen, el sistema 2 x 25 kV está basado en un transformador A.T./50 kV en el que el arrollamiento secundario dispone de tres tomas: dos extremas y una intermedia. Las tomas extremas, entre las cuales hay una tensión de 50 kV (2 x 25 kV), se conectan respectivamente a la catenaria y al feeder que constituye el circuito principal de retorno. La toma intermedia, situada en el punto central del arrollamiento secundario y por tanto a una tensión de 25 kV con respecto a las tomas extremas, se conecta al carril de rodadura trabajando como circuito secundario de retorno. El sistema se completa mediante la instalación de autotransformadores 50/25 kV cada 12-15 Km. aproximadamente, a cuyos extremos se conectan la catenaria y el feeder y la toma intermedia al carril de rodadura. Las subestaciones se sitúan a una distancia aproximada de 70 km.

Conviene señalar que el material rodante que circula por las líneas electrificadas con el sistema 2 x 25 kV funciona con una tensión de 25 kV entre catenaria y carril, por lo que ese mismo material rodante pueden circular por una línea electrificada con el sistema 1 x 25 kV, es decir que estos dos sistemas de electrificación son compatibles con el mismo material rodante.

• Ventajas:

- Impedancia equivalente en línea reducida, que se traduce en caídas de tensión muy por debajo de las obtenidas en el sistema 1 x 25 kV.
- Por el motivo anterior, la distancia entre subestaciones se puede aumentar prácticamente al doble que en el caso 1 x 25 kV, posibilitando una mejor adaptación a los puestos locales de suministro de energía en alta tensión, especialmente en aquellos casos de mínima presencia de los mismos a lo largo de la traza ferroviaria.
- El impacto medioambiental de las líneas es inferior puesto que el número de acometidas es menor en este sistema. Sin embargo, existen un mayor número de edificios y caminos de acceso.

- La corriente de tracción se reparte a uno y a otro lado de cada autotransformador situado en la línea, por lo cual, la tensión inducida en líneas de telecomunicación y señalización se compensan y los efectos disminuyen.
- Inconvenientes:
 - Mayor complejidad del sistema y del proceso de ejecución asociado al mismo.
 - Normalmente, mayor coste de implantación.
 - Mayores costes de mantenimiento.
 - Mayores limitaciones en cuanto a zonas susceptibles de construir los edificios y los accesos a los mismos característicos de este sistema (subestaciones y centros de autotransformación) al contar este sistema, normalmente, con un mayor número de elementos.

5.3. Conclusiones

Como ventajas técnicas fundamentales, el sistema 2 x 25 kV presenta una gran reducción en las perturbaciones inducidas por la corriente de retorno en las corrientes débiles que circulan por el carril de rodadura. Asimismo, permite acudir a una mayor distancia entre subestaciones, al realizarse el transporte de energía a lo largo de la línea a un mayor nivel de tensión, manteniendo la tensión de servicio del material móvil.

El tipo de catenaria a instalar, según el Pliego de Preinscripciones Técnicas Particulares, será del tipo CA200 (simple poligonal atirantada, formada por un sustentador apoyado y un hilo de contacto, sin péndola en Y con flecha inicial de los hilos de contacto), diseñada eléctricamente para un sistema de electrificación de 2 x 25 kV de corriente alterna, y mecánicamente para una explotación en líneas existentes de Red Convencional, con trazado irregular y velocidades hasta los 200 km/h.

El sistema de electrificación estará alimentado desde la LAV Córdoba-Málaga y desde una nueva subestación en Ronda que, a su vez, será alimentada desde una línea de abastecimiento perteneciente a REE. La nueva subestación contará con dos centros de autotransformación intermedios y uno final. Estas instalaciones estarán ubicadas de forma aproximada según las siguientes indicaciones:

Instalación	P.K.	Tramo/Estación
ATI 402.6	-4+470	Antequera – Santa Ana
ATF 411.1	16+820	Campillos – Almargen
ATI 411.2	31+950	Almargen – Setenil
ATI 411.3	53+150	Almargen – Setenil
SE RONDA	66+700	Setenil - Ronda

Tabla 6. Ubicación de subestaciones y centros de autotransformación.

6. Replanteo de catenaria

Para el replanteo de catenaria deberá definirse inicialmente el tipo de catenaria que se usará. En este caso nos encontramos con la catenaria del tipo CA-220 adaptada al sistema de 2 x 25 kV de corriente alterna.

Inicialmente deberán analizarse los puntos singulares que podemos encontrar a lo largo del recorrido. Se entiende como puntos singulares en el replanteo de catenaria a aquellos puntos que necesitan un tratado distinto al resto del tramo. Este tratado especial vendrá definido generalmente por las condiciones del terreno y gálibos ajustados, o por condiciones de montaje de la catenaria, como pueden ser los puntos de aguja o estaciones. El replanteo por lo tanto de la catenaria en todo este trayecto deberá de seguir el análisis ordenado de los siguientes puntos.

6.1. Alimentación de la catenaria.

El punto de partida del diseño del sistema de catenaria de un tramo dependerá de los puntos de alimentación eléctrica de la misma. Se deberá definir inicialmente el estudio de potencia del tramo a electrificar y sus diferentes subestaciones, ATIs y ATFs necesarios para asegurar la correcta electrificación del sistema.

Una vez predefinidos los edificios necesarios para la electrificación y su esquema eléctrico, se definirá la localización de los mismos y posteriormente la interacción entre los feeders de los edificios y la catenaria.

Tras establecerse los puntos de alimentación de la catenaria y su interacción con la subestación, deberán de realizarse la definición de las zonas neutras. Las zonas neutras son las secciones de catenaria que separan las distintas fases de alimentación y distintos sistemas de energía. Requiere especial atención la interacción entre el sistema de 3kV c.c. del inicio del tramo en la estación de Bobadilla, con su cambio a 25 kV c.a. que presenta este estudio.

Las zonas neutras de separación de este estudio, deberán diseñarse con dos seccionamientos de lámina de aire con una zona neutra en medio, considerando un posible futuro con velocidades mayores a 160 km/h. A partir de la definición de estas zonas neutras, se irán definiendo el resto de los seccionamientos del tramo.

Para la definición de la zona neutra a su vez es importante considerar el gradiente de la vía, dado que en el paso por la zona neutra el tren funciona por inercia. Por esto, el gradiente deberá ser lo menor posible para evitar una posible parada del tren debido a este gradiente.

Deberá evitarse también la instalación de zonas neutras cerca de señales de tráfico ferroviario, curvas cerradas o al inicio de su circulación cuando el tren viaja a baja velocidad.

6.2. Puntos de aguja.

Los puntos de aguja serán los puntos de referencia principales en el diseño del sistema de catenaria. La colocación de los postes viene determinada por el tipo de cambio o desvío utilizado. Es conveniente que el director de obra de electrificación determine para cada uno de los desvíos existentes, la disposición de cada uno de los puntos de aguja que se utilizarán como referencia para el resto de replanteo de la estación.

Los tipos de aguja vendrán definidos por las siguientes especificaciones técnicas, salvo que el pliego de condiciones del correspondiente proyecto que desarrolle la solución de este estudio determine lo contrario.

- Escapes: son los situados en los extremos de la estación y que unen la vía general par con la vía general impar. Debe de colocarse agujas aéreas del tipo tangencial P-90. La velocidad de circulación será la normal de la vía generalmente.
- Agujas que acceden de vía general a vía principal: este tipo de agujas deberán realizarse también como agujas tangenciales P-90. La velocidad de circulación por un aparte será la normal de circulación, y por otro lado será tan elevada como lo permita el propio desvío.
- Agujas de vías secundarias: la velocidad de circulación de estas vías es generalmente muy baja, en torno a los 30 km/h, por lo que será suficiente con una aguja cruzada P-50.

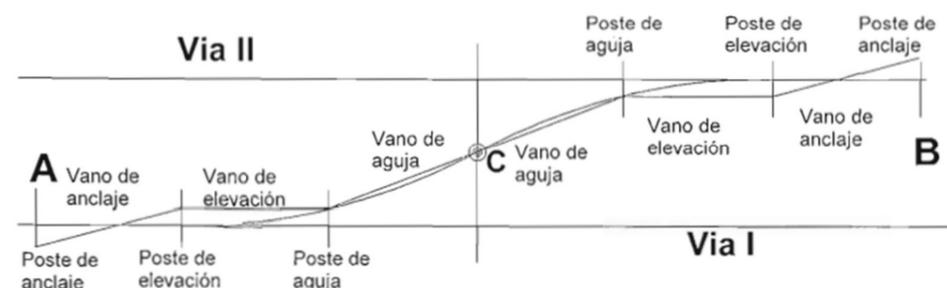


Imagen 7. Esquema de montaje de una catenaria en escape.

Esta definición será válida para todas las agujas existentes en la estación, quedando la colocación del resto de postes definida por la curvatura del trazado.

En las agujas, los puntos fijos, anclajes y compensaciones deben situarse de forma que las dilataciones de la catenaria de vía directa y de la vía de aguja del conjunto se compensen hacia el mismo lado.

La catenaria que conforma la aguja aérea tendrá una longitud menor de 500 m, por lo que sólo será necesario introducir la compensación por uno de los dos lados.

El anclaje en punto fijo de la catenaria que conforma el escape se realizará en el lado de la vía que quede más lejano de la compensación de vía general, mientras que el equipo de compensación se montará en el lado más cercano. De esta manera se busca que los mayores desplazamientos de catenaria de escape se produzcan en el mismo lado y con el mismo sentido que los de la vía general.

6.3. Señalización.

La colocación del poste de catenaria debe permitir siempre la correcta visualización de las señales de tráfico, de manera que no pueda ocurrir ninguna interferencia en la visión del maquinista de estas señales.

Para asegurar que no ocurre esta interferencia se trazarán sobre el plano las distintas líneas de visión de cada una de las señales hasta el carril correspondiente a la dirección de circulación. Se comprobará que no habrá ninguna interferencia de esta línea de visión por parte de alguno de los postes de catenaria.

6.4. Gálidos

La altura máxima y mínima de la catenaria limita el paso del tren por los pasos superiores. Para zonas cuya altura de paso superior es reducida, se debe realizar un estudio de gálido para conocer la altura de nuestros hilos durante el paso de este. Esta altura máxima y mínima, determinará la colocación de los postes necesaria en estos puntos para proporcionar el paso del tren a través de este paso a nivel. En ocasiones será necesario la utilización de la altura de sistema de catenaria de 0,853 m en lugar de 1,4 m, e inclusive para salvar el obstáculo, realizar diseños especiales.

Usualmente es necesaria la reducción de la longitud de vano para reducir la flecha de los hilos.

6.5. Andenes.

A la hora de realizar el diseño en catenaria en andenes, debe intentarse siempre priorizarse el aspecto funcional y estético del mismo. Los andenes son zonas hechas especialmente para pasajeros, por lo que el sistema de catenaria que se encuentran en esta zona deberá simplificarse lo máximo posible. Por esto, hay una serie de elementos que se tratarán de tener en cuenta durante el replanteo de catenaria en estos espacios:

- Evitar los equipos de compensación en zonas donde se prevea gran afluencia de viajeros. En algunos casos, debido a la longitud de andén y las del cantón de los hilos es inevitable, por lo que se deberá estudiar un sistema alternativo que permita la compensación automática de la línea y reduzca lo máximo posible la manipulación de los viajeros. Una posible manipulación del sistema de pesas de la catenaria podría influir gravemente en su funcionamiento.
- Situar los postes en el centro del andén, generando de esta manera espacio a ambos lados del poste. Deberán llevar un recubrimiento de chapa de al menos 2 m de altura o incluir otra serie de elementos antiescalada.
- Evitar la colocación de tirantes en andenes. En caso de que por consideraciones de diseño se tenga que colocar un anclaje en el andén, valorar el giro del poste, cambiando su orientación de manera que el eje fuerte soporte las cargas en la dirección de vía, evitando así la necesidad del tirante.

- Valorar la introducción de pórticos rígidos, de manera que se puedan sacar los postes fuera del andén.

6.6. Seccionamientos.

Para realizar el diseño de los diferentes seccionamientos de la ruta, debemos considerar la longitud máxima de los cantones de hilo. Para esta tecnología el cantón máximo será de 1320 m. Se centrará el análisis en evitar el seccionamiento en estaciones o puntos singulares.

6.7. Tendido entre estaciones.

Una vez definidos los puntos de aguja externos en la estación, se procederá a la distribución de los postes a lo largo de todo el trayecto entre estaciones. Los postes se colocarán a una distancia de 60 m, siempre y cuando las condiciones de la vía lo permitan. En caso contrario, deberán ajustarse estas longitudes de vano a lo que especifica el radio de curvatura de la vía y la fuerza del viento aplicada sobre los hilos. La longitud de la variación entre dos vanos consecutivos no será mayor de 5 m, aceptándose en casos justificados hasta una variación de 10 m.

El descentramiento del hilo durante todo el tramo deberá ser +/- 20 cm. En tramos curvos donde es necesario o puede ser beneficioso, se podrá aumentar este rango de descentramientos hasta +/- 30 cm.

6.8. Feeder en estaciones.

La solución preferible para el tendido de feeder a lo largo de estaciones será su registro sobre la cabeza de poste o ménsula en la parte superior del mismo. Para la definición de la altura del poste y del feeder, se deberá considerar la distancia de seguridad mínima entre cualquier otra parte del sistema de catenaria y el feeder.

Si tenemos en cuenta que deberemos mantener una distancia de seguridad de 2 m al menos sobre la catenaria para las tareas de mantenimiento más 0,3 m de margen de seguridad, necesitamos al menos mantener una distancia de 2,3 m respecto a cualquier otro elemento. Es de vital importancia este análisis en los puntos en los que el cable del feeder pasa por encima de los hilos de catenaria.

Se deberá analizar también en el cumplimiento de la distancia de seguridad mencionada anteriormente la flecha del cable del feeder, ya que la caída de los hilos es dependiente de la tensión y puede por lo tanto variar esas distancias.

6.9. Seccionadores en el trayecto.

La colocación de los seccionadores a lo largo de la ruta se realiza con la intención de aislar eléctricamente zonas de trayecto y estación, de manera que se faciliten los trabajos de mantenimiento en caso de que sean necesarios. De esta forma, se deben definir las zonas neutras de protección de personal de la forma óptima para diferenciar las zonas de estación y trayecto.

6.10. Alturas de catenaria.

Las alturas de hilo de contacto y catenaria durante el trayecto vienen definidas por el paso a través de puntos singulares. Por lo tanto, a lo largo del trayecto, podemos encontrar zonas donde se puede necesitar variar la altura, y como se mencionaba en el apartado de gálibos, longitud de vanos.

Podemos encontrar puntos a lo largo del recorrido donde se necesite bajar mucho el hilo para pasar por debajo de un puente, mientras que unos vanos más tarde, deberá subirse mucho por un paso a nivel. Debido al gradiente máximo permitido por la tecnología, mechas veces esto no es posible. Por lo tanto, deberán proponerse modificaciones sobre los P.K. de los pasos superiores o a nivel, o soluciones específicas sobre el diseño.

Otra de las opciones podrá ser la disminución de la velocidad del tren en esa zona, ya que el gradiente máximo de subida del hilo viene determinado por la velocidad de este. En la siguiente tabla podemos observar cómo varía el gradiente máximo permitido según la velocidad.

Pendiente	Velocidad Máxima
Pendiente de 0,5 ⁰ / ₀₀	200 km/h
Pendiente de 1 ⁰ / ₀₀	160 km/h
Pendiente de 2 ⁰ / ₀₀	120 km/h
Pendiente de 3 ⁰ / ₀₀	80 km/h
Pendiente de 4 ⁰ / ₀₀	30 km/h
Pendiente de 5 ⁰ / ₀₀ y superiores	10 km/h

Tabla 7. Variación del gradiente máximo permitido según la velocidad.

Distancia entre equipos en tensión y elementos a tierra				
Tensión Nominal	Desfase	Tensión pico entre fases	Distancia Estática (ECs)	Distancia Dinámica (ECd)
c.a. 25 kV	120°	43,3 kV	400 mm	230 mm
c.a. 25 kV	180°	50 kV	540 mm	300 mm

Tabla 9. Aislamiento entre equipos en tensión y diferente fase eléctrica.

6.11. Distancias de seguridad

Deberán considerarse en aquellas zonas de tránsito de peatones o de trabajo de mantenimiento frecuente las distancias de seguridad establecidas por la norma EN122-1. En esta norma se establecen los gálibos mínimos a mantener entre distintos elementos del sistema de catenaria con las diferentes zonas de tránsito tanto de peatones como de vehículos.

En el diseño propio del sistema de catenaria deberán respetarse una serie de distancias de seguridad eléctricas entre los elementos rígidos o móviles. Para el voltaje de 25 kV utilizado en esta red, deberán mantenerse los datos de las siguientes tablas.

Distancia entre equipos en tensión y elementos a tierra		
Tensión Nominal	Distancia Estática (ECs)	Distancia Dinámica (ECd)
c.c. 3 kV	150 mm	50 mm
c.a. 25 kV	270 mm	150 mm

Tabla 8. Aislamiento entre partes vivas y elementos a tierra.

7. Estudio de Perturbaciones

Para la elaboración del análisis del campo magnético, se ha realizado un estudio específico que se aporta como Apéndice N° 3 del EsIA, desarrollando una aplicación que realiza la simulación y cálculo del campo magnético en los puntos deseados de la instalación y su entorno.

La simulación del campo magnético ha sido realizada con las intensidades correspondientes a la máxima potencia de la catenaria. Por tanto, los valores de campo magnético calculados y representados serán los máximos que se producirán en caso de que la catenaria trabaje al límite de su potencia prevista y con una distribución de intensidades que no será el reparto habitual de corrientes. Teniendo esto en cuenta, es de esperar que los valores frecuentes sean inferiores. Adicionalmente, al tratarse del plano en el que la distancia de los conductores al plano de rodadura es menor, se producirá que, en el resto de los puntos del vano, el campo magnético será inferior.

Las dimensiones del plano de cálculo son de 10 m a cada lado del eje longitudinal de las vías y 12 m de altura. El origen, cota cero del plano de cálculo, se corresponde con la intersección entre el plano de rodadura y el eje de las vías.

Se ha obtenido el campo magnético y se ha representado en el plano vertical indicado anteriormente. En la siguiente imagen, también se muestran los resultados a 1 metro del plano de rodadura (requerimiento reglamentario) y los valores a 2 y a 3 metros de altura del plano de rodadura.

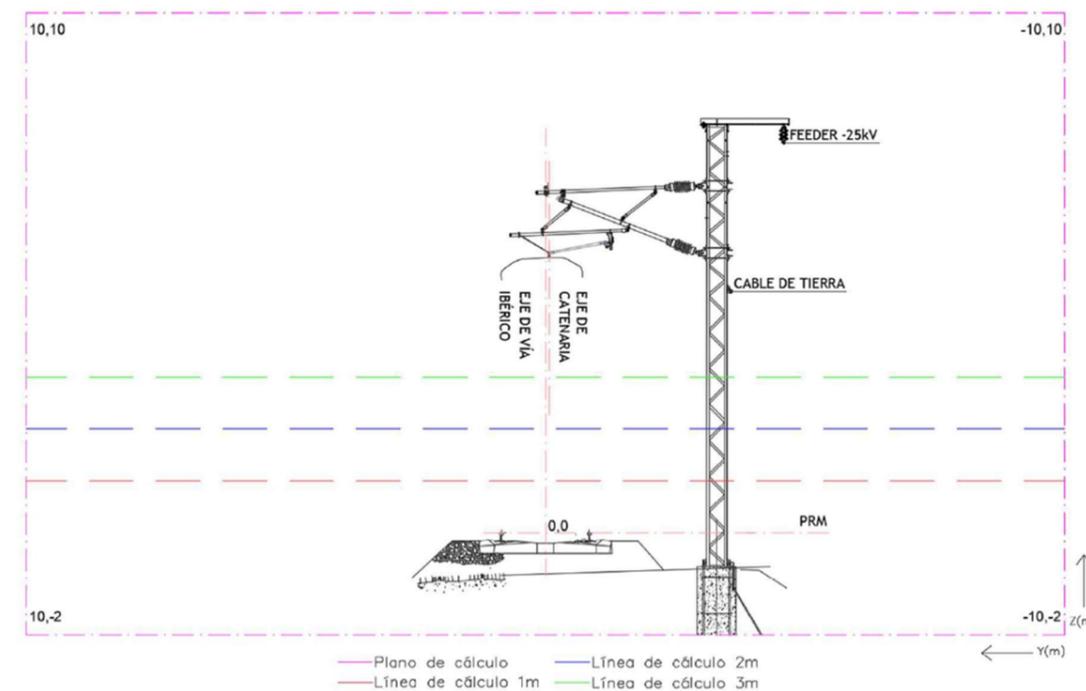


Imagen 8. Plano vertical y líneas de cálculo.

El valor más elevado de campo obtenido en el plano de cálculo y a una altura de 1 metro sobre el plano de rodadura es de $57,8 \mu\text{T}$, mientras que a 2 y a 3 metros dicho valor es de $54,83 \mu\text{T}$ y $66,68 \mu\text{T}$ respectivamente.

A continuación, se muestran los resultados en el plano y en las líneas indicados en la figura anterior.

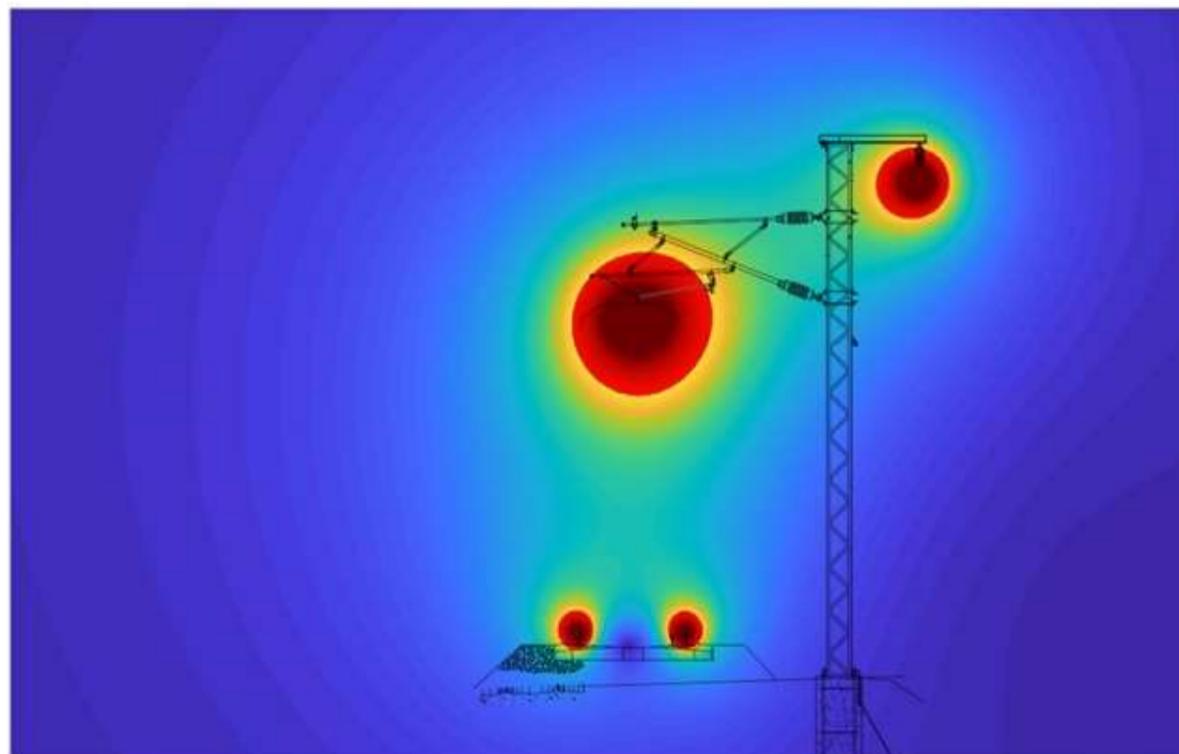


Imagen 9. Campo magnético en el plano de cálculo.

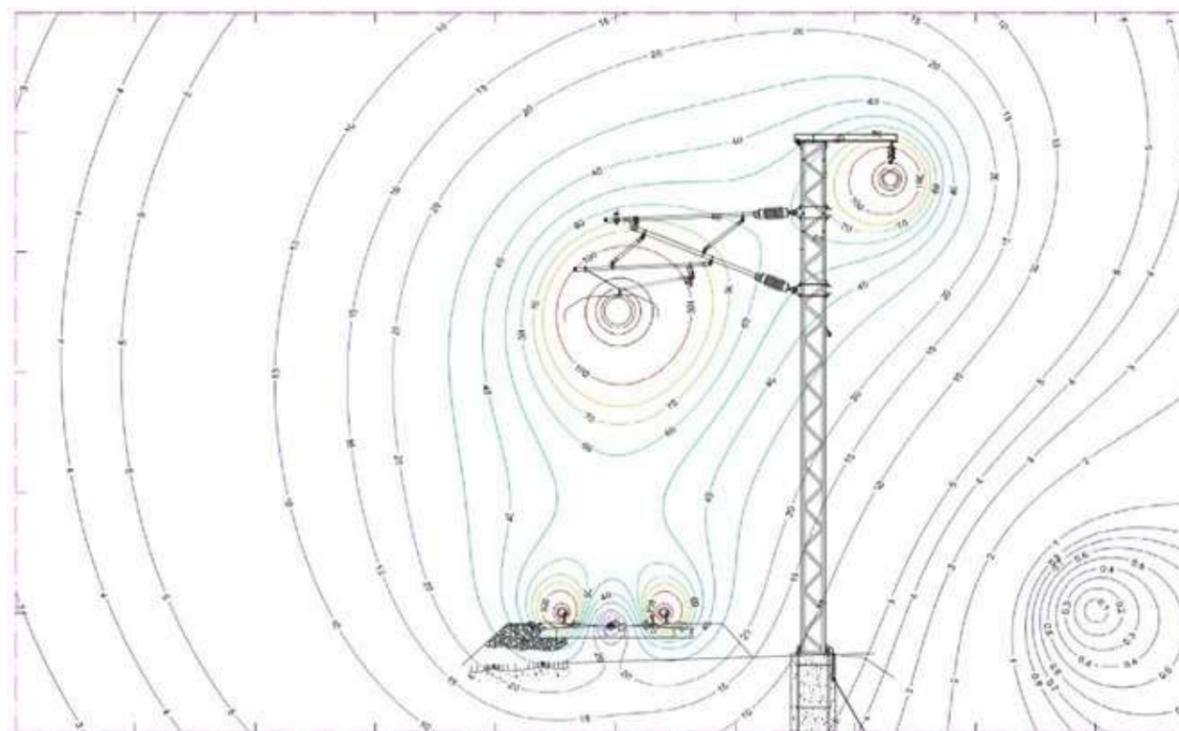


Imagen 10. Isolíneas del campo magnético en el plano de cálculo.

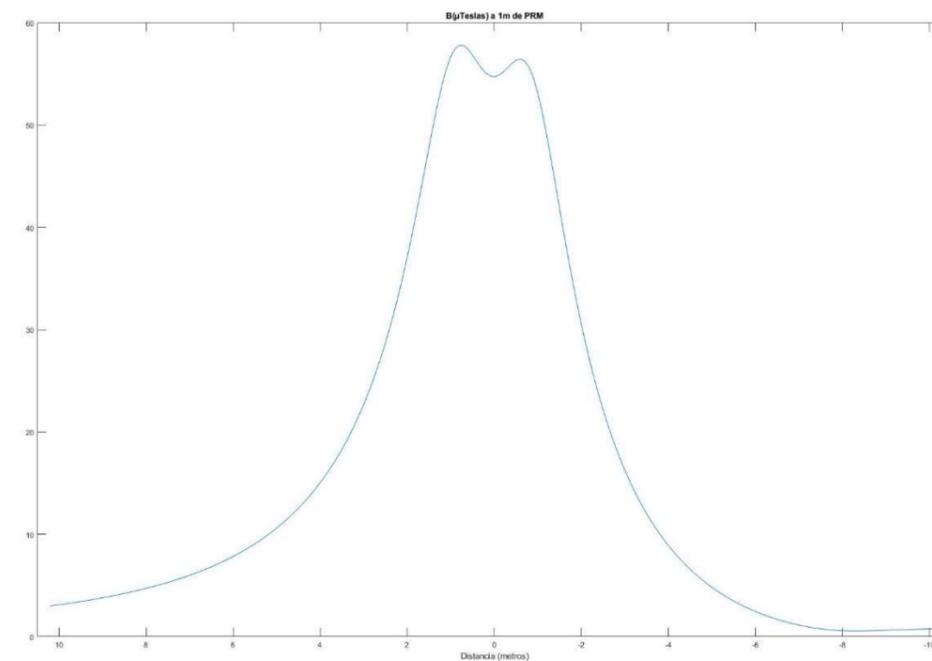


Imagen 11. Campo magnético en la línea de cálculo a 1 metro de altura sobre el plano de rodadura (PRM).

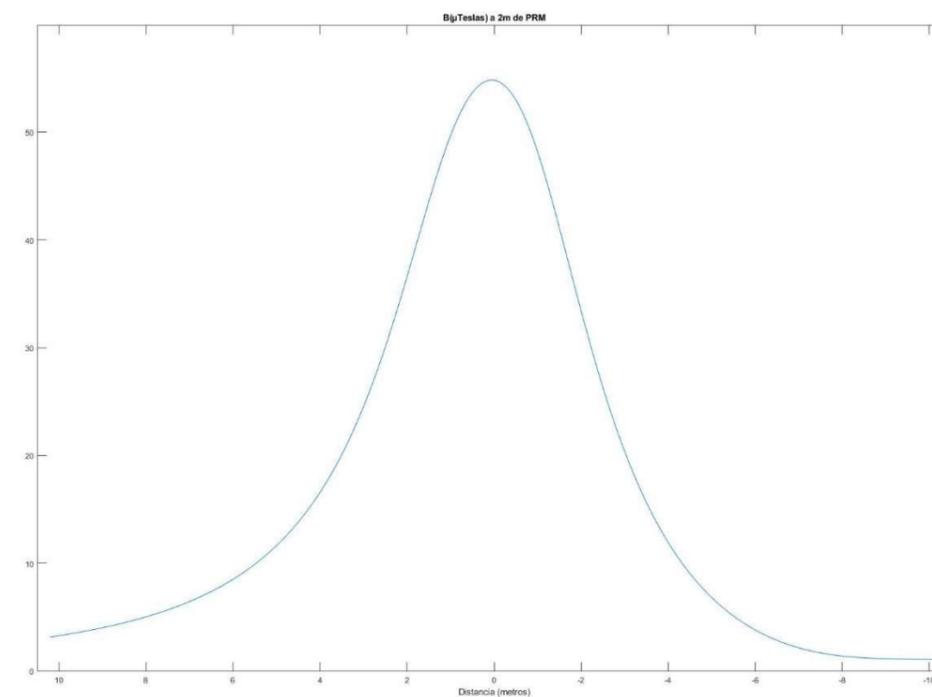


Imagen 12. Campo magnético en la línea de cálculo a 2 metros de altura sobre el plano de rodadura (PRM).

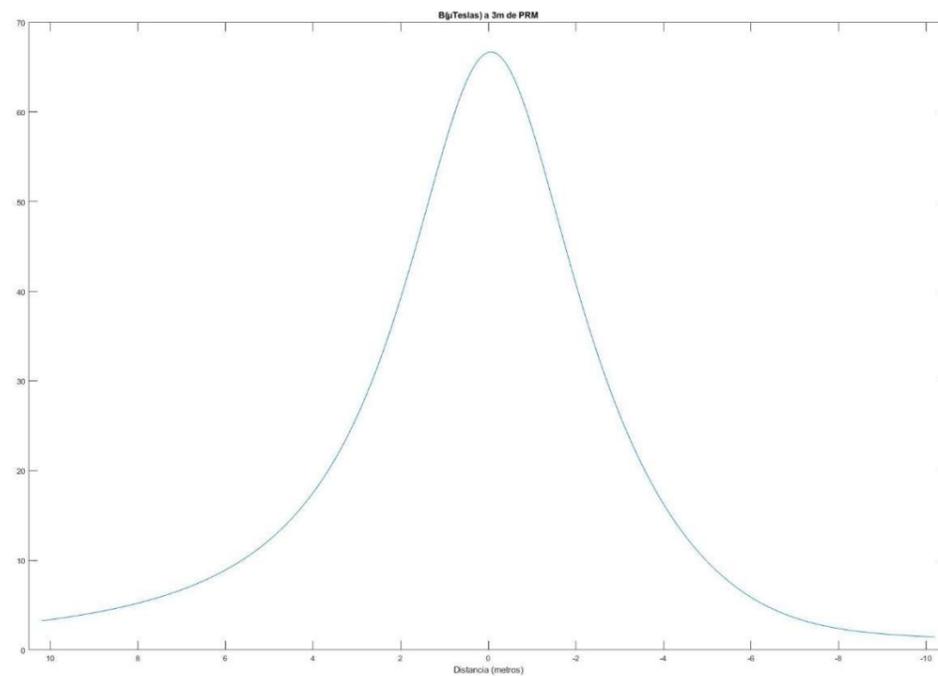


Imagen 13. Campo magnético en la línea de cálculo a 3 metros de altura sobre el plano de rodadura (PRM).

En conclusión, en la simulación y cálculo realizado del campo magnético generado debido a la actividad de la nueva línea ferroviaria de 2 x 25kV Bobadilla-Ronda, en las condiciones más desfavorables de funcionamiento, (hipótesis de carga máxima realizable), se obtiene que los valores máximos de radiación emitidos: de 57,8 μT a 1 m, 54,83 μT a 2 m y de 66,68 μT a 3 m del plano de rodadura, están por debajo de los valores límite recomendados, esto es, 100 μT para el campo magnético a la frecuencia de la red, 50 Hz.

Asimismo, si se consulta la norma UNE-EN 50121-2, puede observarse que los valores de campo magnético máximos típicos calculados a 10 metros desde el eje de la vía más cercana y 1 metro por encima del plano de rodadura de la vía es de 16 μT . Teniendo en consideración que los valores máximos obtenidos en el caso de estudio de este informe para las mismas distancias son de 3,11 μT , puede comprobarse que queda por debajo del valor máximo que calcula la norma.

Por tanto, cabe decir que el efecto derivado de la generación de campos electromagnéticos presenta un impacto global no significativo debido a la escasa entidad del impacto, la escasa población potencialmente afectada y el cumplimiento de la Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.

APÉNDICE 1. ESTUDIO DE GÁLIBOS DE PASOS SUPERIORES

1. Objeto

El presente documento se redacta dentro del marco de los trabajos relativos al Estudio Informativo de la “Electrificación de la línea Bobadilla-Algeciras, tramo Bobadilla-Ronda” de la línea de ADIF 04-420- Bifurcación Maravillas-Algeciras, y el objeto del mismo es el análisis y definición de los aspectos funcionales y de explotación de la actuación.

El tramo tiene una longitud total de 73,6 km y cinco estaciones (Bobadilla, Campillos, Almargen/Cañete la Real, Setenil y Ronda) y tres apeaderos (Teba, Atalaya y Parchite).

El presente documento pretende realizar un análisis de la validez de los gálivos de las estructuras presentes en el tramo de vía existente. En el caso de no ser válidos se realiza una propuesta de las diferentes opciones a plantear que se desarrollarán más adelante.

2. Normativa

La normativa en materia de gálivos ferroviarios considera:

- Orden FOM/1630/2015, de 14 de julio, por la que se aprueba la Instrucción Ferroviaria de Gálivos.
- Orden TMA/135/2023, de 15 de febrero, por la que se aprueban la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de infraestructura (IFI) y la instrucción ferroviaria para el proyecto y construcción del subsistema de energía (IFE) y se modifica la orden FOM/1630/2015, de 14 de julio.
- Reglamento (UE) nº 1299/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Corrección de errores del Reglamento (UE) nº 1299/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, relativo a las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema «infraestructura» en el sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Reglamento (UE) nº 1301/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014 sobre la especificación técnica de interoperabilidad del subsistema de energía del sistema ferroviario de la Unión.
- Corrección de errores del Reglamento (UE) nº 1301/2014 de la Comisión, de 18 de noviembre de 2014, sobre las especificaciones técnicas de interoperabilidad del subsistema de energía del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Resolución de la Secretaría de Estado de Planificación e Infraestructuras de 13 de julio de 2011, sobre criterios de diseño de Líneas Ferroviarias para el fomento de la interoperabilidad y del tráfico de mercancías.

- Reglamento (UE) nº 2019/776 de la Comisión, de 16 de mayo de 2019 que modifica los Reglamentos (UE) nº321/2013, (UE) nº1299/2014, nº1301/2014, (UE) nº1302/2014 y (UE) nº1303/2014 y (UE) nº1303/2014 y (UE) 2016/919 de la Comisión y la Decisión de Ejecución del Parlamento Europeo y del Consejo y la implementación de los objetivos específicos establecidos en la Decisión Delegada (UE) 2017/1474 de la Comisión.
- NAP 2-0-0.4 Norma ADIF Plataforma, Pasos Superiores. 3ª edición, de julio de 2021.
- UNE-EN 15273-3: Parte 3: Gálibo de implantación de obstáculos.

3. Metodología

Según se establece en la NAP-2-0-0.4 de Pasos Superiores, en el caso de actuaciones que se lleven a cabo en líneas existentes, tanto en lo relativo al gálibo horizontal como en el vertical en los que por limitaciones físicas no sea posible cumplir con las distancias que se establecen, será necesario realizar un estudio particularizado.

Dicha normativa establece que, por lo que respecta al gálibo vertical entre cota superior de carril y parte inferior de la estructura no deberá ser inferior a 6,50 m para velocidades de circulación inferiores a 160 km/h. Sin embargo, en casos excepcionales, donde sea necesario reducir dicho gálibo, se deberá cumplir el gálibo de implantación de obstáculos para cada vía, así como el gálibo mecánico y eléctrico del pantógrafo en líneas electrificadas, de acuerdo con la Instrucción Ferroviaria de Gálibos (Orden FOM/1630/2015), en adelante IFG.

En lo que respecta a gálibo horizontal mínimo entre el eje de la vía más cercana y los paramentos de las pilas u otros soportes de los tableros serán, según el ancho de vía:

Ancho de vía	D
1,435 m	>5,0 m
1,688 m	>5,3 m
1,000 m	>4,4 m

Tabla 10. Gálibo horizontal según el ancho de vía.

Por tanto, aun considerando la posibilidad de una implantación futura de tercer carril que habilite la circulación en ancho estándar internacional, se tomará como referencia para el cumplimiento de gálibo horizontal el establecido para ancho de vía 1.668 mm.

Excepcionalmente podrán admitirse distancias inferiores siempre que se cumpla el gálibo de implantación de obstáculos según la Instrucción Ferroviaria de Gálibos (Orden FOM/1632/2015). En este caso se requerirá el cálculo a impacto de la subestructura del puente motivado por vehículos ferroviarios descarrilados en los términos descritos en el apartado 2.4.2.2 de la IAPF,

salvo que un análisis de riesgos concluya que la nueva situación reduzca el riesgo respecto de la preexistente.

Tanto en el gálibo horizontal como en el vertical se comprobará que en el diseño del paso superior se cumple con las distancias mínimas de protección indicadas en la norma UNE-EN 50122-1. En el caso de que no sea posible cumplir con estas distancias mínimas, se deberán instalar los dispositivos de protección que indica dicha norma.

1.1. Definición de gálibos de implantación de obstáculos del Estudio

Según la norma EN 15273-3:20131, el gálibo de implantación de obstáculos es el espacio en torno a la vía, que no debe ser invadido por obstáculos, ni por vehículos que circulen por las vías adyacentes, al objeto de preservar la seguridad en la explotación.

Se consideran tres tipos de gálibo de implantación obstáculos:

- **Gálibo límite:** Se define para un punto o tramo de línea. Delimita el espacio que no debe invadir ningún obstáculo en circunstancia alguna, a fin de permitir la circulación normal de los vehículos, más una reserva para considerar las variaciones tolerables de la posición de la vía que se producen entre dos operaciones normales de mantenimiento. Este gálibo se utiliza, por ejemplo, para comprobar si es posible el paso de transportes excepcionales por un determinado punto.
- **Gálibo nominal:** Se define para un punto o tramo de línea. Es similar al gálibo límite, pero incorporando unos márgenes complementarios para la circulación de transportes excepcionales, incrementos de velocidad, etc.
- **Gálibo uniforme:** Se define para una línea. Es un gálibo nominal obtenido para una envolvente de parámetros (radios, peraltes, etc.) suficientemente desfavorables, que no se superan en la mayor parte de la línea. De esta forma se puede utilizar un único gálibo para toda ella, comprobando que no se superan los parámetros de partida. Se define a partir de los contornos de referencia de los gálibos cinemáticos.

Para el estudio de gálibos de los pasos superiores será necesario definir el correspondiente contorno de referencia a aplicar. El gálibo de implantación de obstáculos a respetar en las partes altas en cada tipo de línea viene fijado por lo indicado en apartado 1.3.2 y el cuadro 1.2. de la IFG. En dicho apartado se indica que:

“En general, el gálibo de implantación de obstáculos a respetar en vías nuevas o acondicionadas será el gálibo uniforme de implantación de obstáculos.

En situaciones excepcionales, como consecuencia de condicionantes técnicos o económicos, la Autoridad Ferroviaria podrá autorizar en determinados tramos o secciones de línea un gálibo límite o nominal de implantación de obstáculos obtenido a partir de los parámetros de trazado de ese tramo o sección”.

En nuestro caso, al tratarse de una línea acondicionada y con previsión de ancho mixto, el gálibo a respetar será el resultante de la combinación del GEC16 para ancho ibérico y GC para ancho internacional (GEC16+GC), según cuadro 1.2.

Tipo de línea	Galibo uniforme de implantación de obstáculos			Gálibo en situaciones excepcionales		
	1435 mm	1668 mm	Ancho mixto (tres carriles) ⁽⁸⁾	1435 mm	1668 mm	Ancho mixto (tres carriles)
Líneas nuevas	GC	GEC16	GEC16+GC	⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾		
Líneas acondicionadas	GC GB ⁽¹⁾	GEC16 GEB16 ⁽²⁾	GEC16+GC GEC16+GB ⁽³⁾ GEB16+GC ⁽³⁾ GEB16+GB ⁽³⁾	⁽⁶⁾	⁽⁷⁾	⁽⁸⁾

Cuadro 1.2. Gálibos de implantación de obstáculos en partes altas a considerar en cada tipo de línea (ancho de vía 1435 mm y 1668 mm)

⁽¹⁾ Cuando mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del gálibo GC.
⁽²⁾ Cuando mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del gálibo GEC16.
⁽³⁾ Cuando mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del gálibo GEC16+GC.

Tabla 11. Combinación de gálibos a utilizar en función del tipo de vía

La IFG permite la implantación de los contornos GEB16 y/o GB siempre y cuando mediante un estudio de viabilidad técnica y económica se demuestre la no conveniencia del conjunto GEC16+GC.

Las dimensiones de los gálibos considerados son las siguientes:

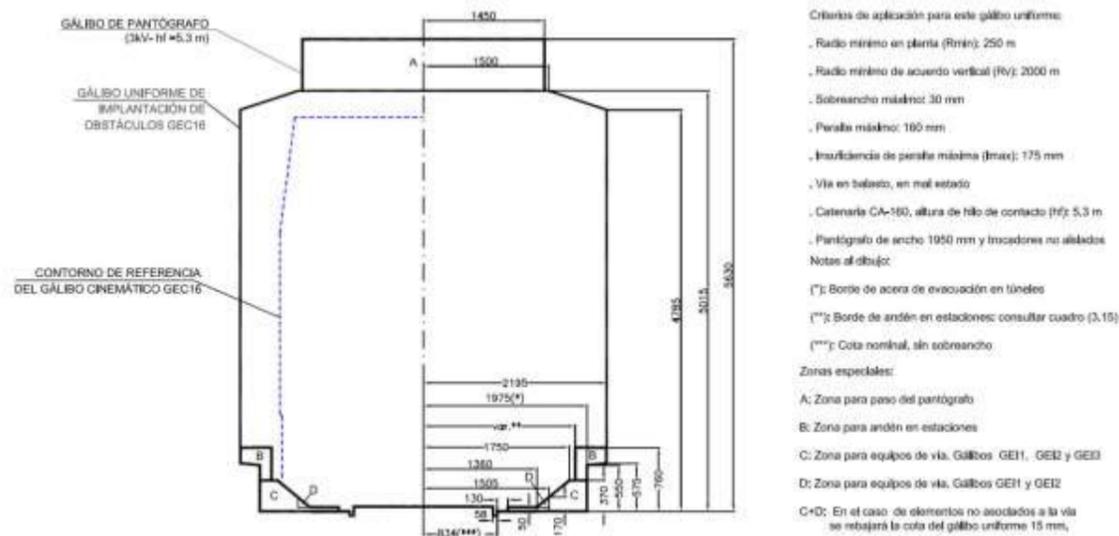


Imagen 14. Galibo Uniforme GEC16, según Instrucción Ferroviaria de Gálibos.

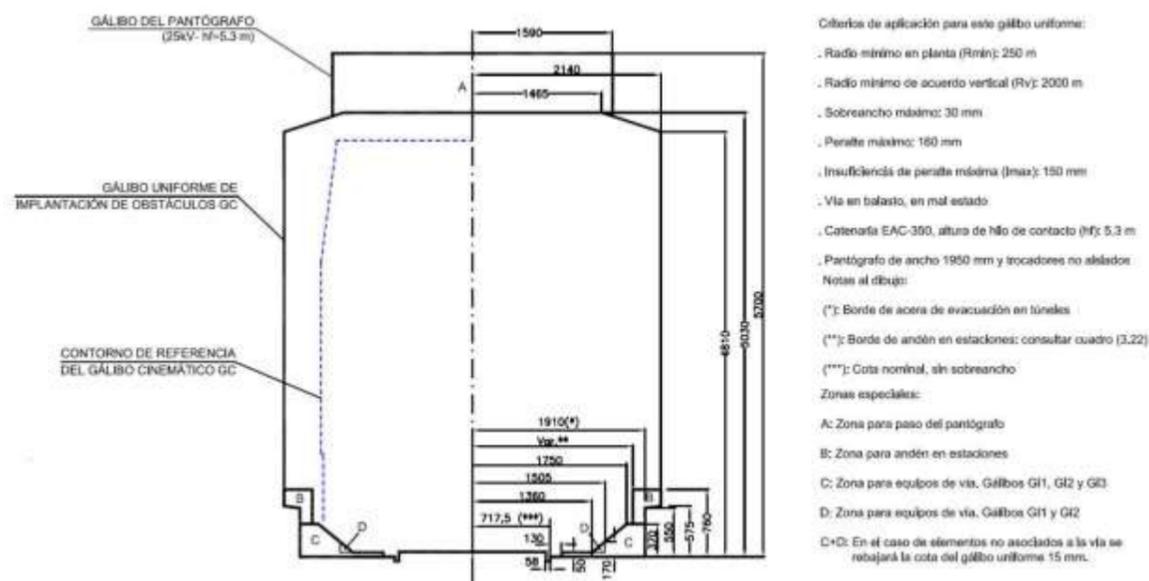


Imagen 15. Galibo Uniforme GC, según Instrucción Ferroviaria de Gálibos.

Conviene apuntar que para el presente estudio de gálibos se ha realizado una modificación de ambos gálibos uniformes indicados en la IFG, en concreto, en lo referente a la altura del gálibo de pantógrafo.

Este cambio viene motivado por la consideración de un escenario de electrificación de la línea con alimentación de catenaria diferente a la establecida por defecto en la IFG para gálibos de ancho ibérico (3kV cc). Según el "Proyecto constructivo de electrificación de la línea de Bobadilla-Algeciras. Tramo Bobadilla-Ronda" de noviembre de 2018 para el ámbito de proyecto del presente Estudio se define un primer tramo entre la estación de Bobadilla y el P.K. 1+453 con tipología de catenaria CA-160 tipo B (3 kV) y un segundo tramo desde P.K 1+453 hasta Ronda con sistema de catenaria CA-200 (25kV). Para el presente análisis de gálibos, al no constar ningún paso superior en el tramo entre la estación de Bobadilla y el P.K. 1+453, se ha restringido el análisis asumiendo una tipología CA-200 (25kV).

En Apéndice 1 se adjunta el cálculo de la obtención de la altura del gálibo de pantógrafo debido a estos condicionantes.

Conviene apuntar también que los supuestos de radio mínimo y sobre todo peralte máximos considerados para la obtención del Gálibo Uniforme son más desfavorables que los que se registran actualmente en tramo de línea objeto de estudio.

En situaciones excepcionales, como consecuencia de condicionantes técnicos o económicos, la Autoridad Ferroviaria podrá autorizar en determinados tramos o secciones de la línea un gálibo límite o nominal de implantación de obstáculos obtenido a partir de los parámetros específicos de trazado de ese tramo o sección.

A la altura que se obtenga habrá que añadir posteriormente la necesaria para el sistema de electrificación asociado a esta línea, por lo que también es necesario comprobar la altura necesaria para este sistema.

En el tramo objeto de estudio todos los pasos superiores existentes son de paramento inferior recto, por lo que, siempre y cuando haya gálibo horizontal suficiente desde eje de vía hasta el objeto fijo más cercano, no es necesario realizar la implantación del gálibo GEC16+GC, sino simplemente comprobar alturas tanto de gálibo de implantación de obstáculos como de electrificación.

En todas aquellas estructuras en las que no se cumplan los valores en situación normal anteriormente establecidos, será necesario realizar la misma metodología en función de la tipología de estructuras con valores en situación excepcional (gálibo límite o nominal y/o altura

de electrificación mínima). En el Apéndice 2 se adjunta el cálculo de la altura mínima de hilo de contacto.

1.2. Análisis de los pasos superiores

A continuación, se analizan los diferentes pasos superiores, su grado de cumplimiento respecto a gálbos y las posibles actuaciones.

En el Apéndice 3 se adjunta tabla resumen de los pasos superiores.

1.2.1. Cumplimiento de gálibo vertical

Se realiza un análisis doble del grado de cumplimiento de gálibo vertical de los 18 pasos superiores y estructuras presentes en el tramo de estudio. Por un lado, se comprueba el grado de cumplimiento respecto al requisito de 6.5 metros establecido en la Normativa de Pasos Superiores de ADIF (NAP 2-0- 0.4) para el caso de líneas con velocidad inferior a 160 km/h.

En los casos en que se detecte incumplimiento se analiza el cumplimiento del gálibo vertical de pantógrafo para los gálbos uniformes GEC16 y GC. Conviene recordar que estos gálbos uniformes se han particularizado en cuanto gálibo de pantógrafo debido que las figuras mostradas en la IFG se obtenían para tipos de catenaria e incluso para tensión de alimentación (en el caso de GEC16) diferente a la previsible en el tramo de línea objeto de estudio (CA-200 / 25 kV ca). En el Apéndice 1 se adjunta el cálculo de la obtención de la altura del gálibo de pantógrafo debido a estos condicionantes.

Los datos de altura libre actual se han obtenido tanto del proyecto “Proyecto Básico renovación de vía, actuaciones puntuales en infraestructura y adaptación de gálibo de pasos superiores del tramo Bobadilla-Ronda, pk 0+580 a pk 69+900 de la línea Bobadilla-Algeciras”, de 2020, como del proyecto “Proyecto Constructivo de Electrificación de la Línea Bobadilla – Algeciras. Tramo Bobadilla – Ronda”, de 2018, tomando el valor más restrictivo de ambos proyectos.

Los datos mostrados son los existentes a fecha de redacción de este estudio. Sin embargo, cabe destacar la existencia de dos proyectos constructivos que abarcan la renovación de la vía objeto de este estudio, entre los PPKK 20+000 y 69+900. Por lo que los pasos superiores ubicados entre estos PPKK se han analizado en los proyectos mencionados, proyectando una solución a los problemas de gálbos existentes.

PASO SUPERIOR	PK	ALTURA LIBRE ACTUAL (m)	ALTURA LIBRE MÍNIMA NAP 2-0-0.4 (m)	CUMPLE NAP 2-0-0.4	ALTURA HILO CONTACTO (m)	GÁLIBO ELÉCTRICO PANTÓGRAFO (m)	CUMPLE GÁLIBO ELÉCTRICO PANTÓGRAFO	GÁLIBO MECÁNICO PANTÓGRAFO (m)	CUMPLE GÁLIBO MECÁNICO PANTÓGRAFO
PS-01	1+847	6.80	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
PS-02	5+030	6.90	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
PS-03	10+343	5.16	6.500	NO	5.300	5.686	NO	5.522	NO
PS-04	12+800	5.19	6.500	NO	5.300	5.686	NO	5.522	NO
PS-05	15+780	5.20	6.500	NO	5.300	5.686	NO	5.522	NO
*PS-06	21+200	7.26	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-07	21+610	5.16	6.500	NO	5.300	5.686	NO	5.522	NO
*PS-08	24+713	7.21	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-09	29+480	7.36	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-10	30+550	7.76	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-11	31+200	7.06	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-12	31+554	4.89	6.500	NO	5.300	5.686	NO	5.522	NO
*PS-13	41+948	6.72	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-14	51+100	7.10	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-15	62+020	6.86	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
*PS-16	63+240	7.23	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI
PS-17	70+863	5.32	6.500	NO	5.300	5.686	NO	5.522	NO
PS-18	71+715	10.66	6.500	SI	5.300	5.686	SI	5.522	SI

*Los pasos superiores ubicados entre el PK 20+000 y el PK 69+900 han sido resueltos en los Proyectos Constructivos correspondientes.

Tabla 12. Tabla resumen de cumplimiento gálibo vertical de los pasos superiores según NAP 2-0-0.4 y según gálibo pantógrafo (hc = 5,300 m)

Se constata que los 6 pasos superiores que no cumplen las exigencias marcadas por la norma de ADIF para pasos superiores tampoco cumplen los requisitos de gálibo uniforme GEC16/GC establecidos para electrificación a 25 kVca con catenaria CA-200 y altura de hilo de contacto (hc) de 5,3 m.

DENOMINACIÓN	PK	ALTURA LIBRE ACTUAL (m)	ALTURA LIBRE MÍNIMA NAP 2-0-0.4 (m)	CUMPLE NAP 2-0-0.4	ALTURA HILO CONTACTO (m)	GÁLIBO ELÉCTRICO PANTÓGRAFO (m)	CUMPLE GÁLIBO ELÉCTRICO PANTÓGRAFO	GÁLIBO MECÁNICO PANTÓGRAFO (m)	CUMPLE GÁLIBO MECÁNICO PANTÓGRAFO
PS-01	1+847	6.80	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
PS-02	5+030	6.90	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
PS-03	10+343	5.16	6.500	NO	5.102	5.488	NO	5.324	NO
PS-04	12+800	5.19	6.500	NO	5.102	5.488	NO	5.324	NO
PS-05	15+780	5.20	6.500	NO	5.102	5.488	NO	5.324	NO
*PS-06	21+200	7.26	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-07	21+610	5.16	6.500	NO	5.102	5.488	NO	5.324	NO
*PS-08	24+713	7.21	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-09	29+480	7.36	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-10	30+550	7.76	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-11	31+200	7.06	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-12	31+554	4.89	6.500	NO	5.102	5.488	NO	5.324	NO
*PS-13	41+948	6.72	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-14	51+100	7.10	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-15	62+020	6.86	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
*PS-16	63+240	7.23	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI
PS-17	70+863	5.32	6.500	NO	5.102	5.488	NO	5.324	NO
PS-18	71+715	10.66	6.500	SI	5.102	5.488	SI	5.324	SI

*Los pasos superiores ubicados entre el PK 20+000 y el PK 69+900 han sido resueltos en los Proyectos Constructivos correspondientes.

Tabla 13. Tabla resumen de cumplimiento gálibo vertical de los pasos superiores según gálibo pantógrafo para altura mínima de hilo de contacto (hc= 5,102 m)

Ante estas situaciones se determinará el gálibo mínimo necesario a implantar considerando un sistema de catenaria reducida (46.2 cm). En este caso, la altura mínima del sistema de electrificación registraría un valor de 5,834 m produciendo unas necesidades de rebaje de rasante.

DENOMINACIÓN	PK	ALTURA LIBRE ACTUAL (m)	ALTURA HILO CONTACTO (m)	ALTURA MÍNIMA SISTEMA CATENARIA (m)	ALTURA SISTEMA DE CATENARIA (m)	ALTURA MÍNIMA SISTEMA ELECTRIFICACIÓN (m)	REBAJE NECESARIO (m)
PS-03	10+343	5.16	5.102	5.622	0.462	5.834	0.674
PS-04	12+800	5.19	5.102	5.622	0.462	5.834	0.644
PS-05	15+780	5.20	5.102	5.622	0.462	5.834	0.634

Tabla 14. Rebajes necesarios en pasos superiores con incumplimiento de gálibo (dentro del ámbito de actuación del presente Estudio)

A continuación, se realiza un breve análisis de la viabilidad de los rebajes indicados y sus condicionantes. En el análisis se consideran pendientes máximas para la rectificación de rasante de 20 milésimas.

PS-03

No se detecta ningún condicionante que evite una posible rectificación de rasante en este punto. La estación de Campillos se encuentra alejada y no se vería afectada su rasante por dicha rectificación.

PS-04

Se trata de paso superior ubicado justo al inicio de las vías de la estación de Campillos. La presencia de la ODT transversal (de 6 marcos de sección 4x2.5 metros cada uno) situada a escasos 10 metros del paso superior, limita el posible rebaje en este punto, produciendo la necesidad de generar una ligera rampa del tramo anterior que, sin embargo, afectaría a la solución de rasante planteada en el proyecto de adaptación de la estación de Campillos a longitudes de 750 metros. Se adjuntan figuras de planta y perfil longitudinal de la zona, según la previsión del Proyecto de Construcción para la ampliación de la longitud útil a 750 metros de los apartaderos de Campillos y Setenil. Tramo Bobadilla-Ronda.

Como se indica en el apartado de gálibo horizontal se registra también incumplimiento de gálibos establecidos por la NAP 2-0-0.4. Se considera, lo más adecuado prever la reconstrucción del paso superior.

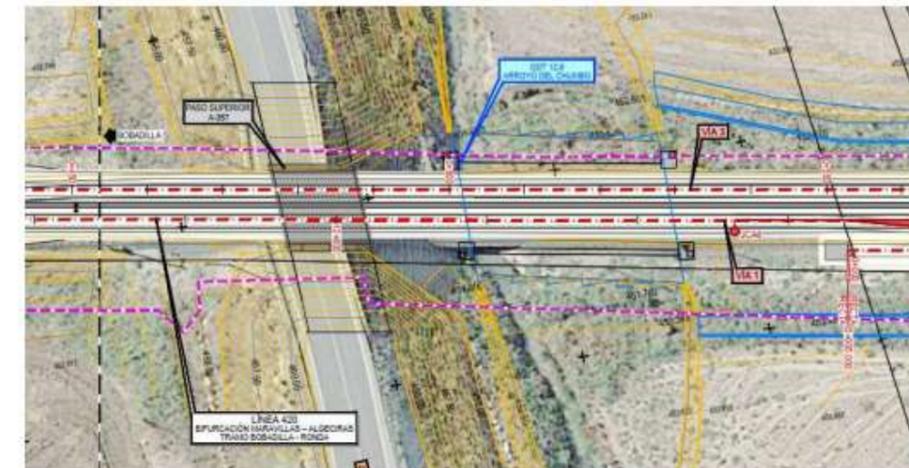


Imagen 16. Planta de previsión de ampliación vías en estación Campillos.

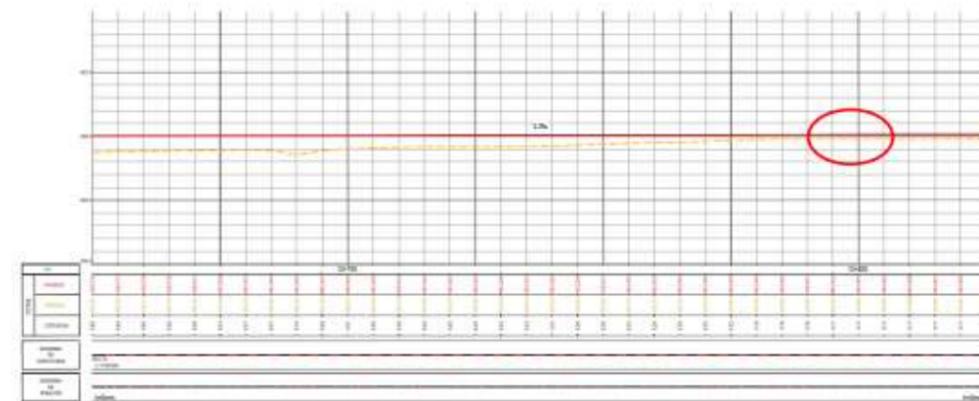


Gráfico 1. Perfil longitudinal de previsión de ampliación vías en estación Campillos.

PS-05

No se detecta ningún condicionante que evite una posible rectificación de rasante en este punto.

PS-07

Las actuaciones en este paso superior se ven recogidas el Proyecto Constructivo para la Renovación de Vía, Actuaciones Puntuales en Infraestructura y Adaptación de Gálibo de Pasos Superiores del Tramo Bobadilla – Ronda, PK 20+000 a PK 26+500 de la Línea Bobadilla – Algeciras.

Este proyecto se encuentra en fase de redacción, por lo que no se cuenta con la información más actualizada en cuanto a la solución planteada. No obstante, se considera que, en la situación inicial del presente Estudio, la actuación correspondiente se habrá ejecutado.

1.2.2. Cumplimiento de gálibo horizontal

PS-12

Las actuaciones en este paso superior se ven recogidas el Proyecto Constructivo para la Renovación de Vía, Actuaciones Puntuales en Infraestructura y Adaptación de Gálibo de Pasos Superiores del Tramo Bobadilla – Ronda, PK 26+500 a PK 69+900 de la Línea Bobadilla – Algeciras.

En el proyecto mencionado se propone rebajar la superficie de la vía para que el paso superior quede a la altura mínima que cumpla el gálibo, el rebaje necesario para obtener gálibo en situación excepcional es de 0.81 metros, por lo que la altura libre pasaría a ser de 5,7 metros.

Se considera que, en la situación inicial del presente Estudio Informativo, la actuación indicada ya se habrá ejecutado.

PS-17

Aunque es posible el rebaje de vía, las actuaciones en este paso superior quedan fuera del alcance de este estudio.

Debido a la actuación en vía se deberá analizar el cumplimiento del gálibo horizontal de los pasos superiores existente según lo establecido en la NAP 2-0-0.4.

Los datos mostrados son los existentes a fecha de redacción de este estudio. Sin embargo, cabe destacar la existencia de dos proyectos constructivos que abarcan la renovación de la vía objeto de este estudio, entre los PPKK 20+000 y 69+900. Por lo que los pasos superiores ubicados entre estos PPKK se han analizado en los proyectos mencionados, proyectando una solución a los problemas de gálibos existentes.

PASO SUPERIOR	PK	ALTURA LIBRE ACTUAL (m)	GÁLIBO HORIZONTAL ACTUAL (m)	GÁLIBO MÍNIMO HORIZONTAL NAP 2-0-0.4 (m)	CUMPLE NAP 2-0-0.4	GÁLIBO UNIFORME IMPLANTACIÓN OBSTÁCULOS GC+GEC16 (m)	CUMPLE GÁLIBO UNIFORME
PS-01	1+847	6.80	6.04	5.300	SI	2.257	SI
			8.97	5.300	SI	2.257	SI
PS-02	5+030	6.90	15.96	5.300	SI	2.257	SI
			6.03	5.300	SI	2.257	SI
PS-03	10+343	5.16	6.48	5.300	SI	2.257	SI
			3.21	5.300	NO	2.257	SI
PS-04	12+800	5.19	2.74	5.300	NO	2.257	SI
			3.13	5.300	NO	2.257	SI
PS-05	15+780	5.20	7.38	5.300	SI	2.257	SI
			2.71	5.300	NO	2.257	SI
*PS-06	21+200	7.26	4.92	5.300	NO	2.257	SI
			6.39	5.300	SI	2.257	SI
*PS-07	21+610	5.16	3.47	5.300	NO	2.257	SI
			6.50	5.300	SI	2.257	SI
*PS-08	24+713	7.21	5.84	5.300	SI	2.257	SI
			15.50	5.300	SI	2.257	SI
*PS-09	29+480	7.36	9.03	5.300	SI	2.257	SI
			6.67	5.300	SI	2.257	SI
*PS-10	30+550	7.76	9.18	5.300	SI	2.257	SI
			8.24	5.300	SI	2.257	SI
*PS-11	31+200	7.06	6.42	5.300	SI	2.257	SI
			6.87	5.300	SI	2.257	SI
*PS-12	31+554	4.89	7.09	5.300	SI	2.257	SI
			2.87	5.300	NO	2.257	SI
*PS-13	41+948	6.72	7.40	5.300	SI	2.257	SI
			3.93	5.300	NO	2.257	SI
*PS-14	51+100	7.10	4.99	5.300	NO	2.257	SI
			4.91	5.300	NO	2.257	SI
*PS-15	62+020	6.86	11.42	5.300	SI	2.257	SI
			6.41	5.300	SI	2.257	SI
*PS-16	63+240	7.23	6.06	5.300	SI	2.257	SI
			5.89	5.300	SI	2.257	SI
PS-17	70+863	5.32	4.63	5.300	NO	2.257	SI
			4.56	5.300	NO	2.257	SI
PS-18	71+715	10.66	6.31	5.300	SI	2.257	SI
			5.78	5.300	SI	2.257	SI

*Los pasos superiores ubicados entre el PK 20+000 y el PK 69+900 han sido resueltos en los Proyectos Constructivos correspondientes.

Tabla 15. Tabla resumen de cumplimiento gálibo horizontal de los pasos superiores según NAP 2-0-0.4

Según la NAP 2-0-0.4, excepcionalmente podrán admitirse distancias inferiores siempre que se cumpla el gálibo de implantación de obstáculos según la Instrucción Ferroviaria de Gálibos (Orden FOM/1632/2015). En este caso se requerirá el cálculo a impacto de la subestructura del puente motivado por vehículos ferroviarios descarrilados en los términos descritos en el

apartado 2.4.2.2 de la IAPF, salvo que un análisis de riesgos concluya que la nueva situación reduzca el riesgo respecto de la preexistente.

En este caso, todos los pasos superiores cumplirían con el gálibo uniforme de implantación de obstáculos necesario para el escenario de futura explotación en ancho ibérico e internacional. En estas situaciones, el gálibo horizontal máximo sería el resultante de considerar el gálibo GC descentrado respecto del gálibo GEC16 (2,257 m).

PS-03 y PS -05

Para el caso de los pasos superiores ubicados dentro del ámbito de actuación del presente estudio, se considera como la mejor opción proponer una protección de pilas. En el caso que dichos refuerzos tuvieran espesores de 40 cm se seguiría cumpliendo con el valor de gálibo uniforme de implantación de obstáculos GC+GEC16.

PASO SUPERIOR	PK	ALTURA LIBRE ACTUAL (m)	GÁLIBO HORIZONTAL ACTUAL (m)	GÁLIBO MÍNIMO HORIZONTAL NAP 2-0-0.4 (m)	CUMPLE NAP 2-0-0.4	Espesor refuerzo (m)	Galibo final (m)	GÁLIBO UNIFORME IMPLANTACIÓN OBSTÁCULOS GC+GEC16 (m)	CUMPLE GÁLIBO UNIFORME
PS-03	10+343	5.16	6.48	5.30	SI	0.400	6.079	2.257	SI
			3.21	5.30	NO	0.400	2.809	2.257	SI
PS-05	15+780	5.20	7.38	5.300	SI	0.400	6.979	2.257	SI
			2.71	5.300	NO	0.400	2.309	2.257	SI

Tabla 16. Tabla resumen de cumplimiento gálibo uniforme implantación obstáculos en los pasos superiores incluyendo protección de pilas (dentro del ámbito de actuación del presente Estudio)

PS-04

Tal y como se mencionaba en el apartado anterior, en el análisis de gálibo vertical, se considera lo más adecuado prever la reconstrucción del paso superior, por lo que con esta medida se quedará solventado de la misma forma el incumplimiento de gálibo horizontal.

PS-06 y PS-07

Las actuaciones en este paso superior se ven recogidas el Proyecto Constructivo para la Renovación de Vía, Actuaciones Puntuales en Infraestructura y Adaptación de Gálibo de Pasos Superiores del Tramo Bobadilla – Ronda, PK 20+000 a PK 26+500 de la Línea Bobadilla – Algeciras.

Este proyecto se encuentra en fase de redacción, por lo que no se cuenta con la información más actualizada en cuanto a la solución planteada. No obstante, se considera que, en la situación inicial del presente Estudio, las actuaciones correspondientes se habrán ejecutado.

PS-12, PS-13 y PS-14

Las actuaciones en estos pasos superiores se ven recogidas el Proyecto Constructivo para la Renovación de Vía, Actuaciones Puntuales en Infraestructura y Adaptación de Gálibo de Pasos Superiores del Tramo Bobadilla – Ronda, PK 26+500 a PK 69+900 de la Línea Bobadilla – Algeciras.

En el proyecto mencionado se propone verificar que existe una distancia mayor a 10,60 metros entre las pilas de estos pasos superiores y estudiar la posibilidad de cambiar el trazado de tal manera que el eje quede a una distancia mínima de 5,30 metros a cada pila. En caso de que esta solución no sea ejecutable se contempla realizar un análisis de riesgo para determinar la necesidad de medidas mitigatorias. Se considera que, en la situación inicial del presente Estudio Informativo, las actuaciones necesarias que se deriven ya se habrán ejecutado.

PS-17

Aunque es posible la correspondiente protección de pilas, las actuaciones en este paso superior quedan fuera del alcance de este estudio.

4. Conclusiones

Se ha realizado un análisis de gálibos en los 18 pasos superiores ubicados en el tramo Bobadilla-Ronda. Es necesario mencionar que los pasos superiores ubicados entre el PK 20+000 y el PK 69+900 han sido analizados por los siguientes proyectos:

- Proyecto Constructivo para la Renovación de Vía, Actuaciones Puntuales en Infraestructura y Adaptación de Gálibo de Pasos Superiores del Tramo Bobadilla – Ronda, PK 20+000 a PK 26+500 de la Línea Bobadilla – Algeciras.

- Proyecto Constructivo para la Renovación de Vía, Actuaciones Puntuales en Infraestructura y Adaptación de Gálibo de Pasos Superiores del Tramo Bobadilla – Ronda, PK 26+500 a PK 69+900 de la Línea Bobadilla – Algeciras

En estos proyectos se recogen las soluciones necesarias a los posibles problemas de gálibos que se planteen en estos pasos superiores.

Por otro lado, cabe mencionar que los pasos ubicados del PK 69+900 en adelante, quedan fuera del ámbito objeto de este estudio, siendo estos los pasos superiores PS-17 y PS -18.

Tras este análisis de gálibos realizado se constata que, de los pasos superiores ubicados en el ámbito de este estudio, hay 3 de ellos que incumplen las necesidades de gálibo vertical indicadas en la Instrucción Ferroviaria de Gálibos y en la NAP-02-0-0.4. Se trata de los pasos superiores: PS-03; PS-04 y PS-05.

De estos tres pasos, el PS-04 presenta fuertes condicionantes que recomiendan su demolición y reconstrucción, mientras que el PS-03 y PS-05 permiten la rectificación de rasante para garantizar el cumplimiento de gálibo vertical.

En cuanto a cumplimiento de gálibos horizontales indicados por la NAP, se registra incumplimiento en los pasos superiores ya mencionados (PS-03; PS-04 y PS-05). No obstante, conviene apuntar que sí cumplirían gálibos de implantación de obstáculos según la Instrucción Ferroviaria de Gálibos considerando la ejecución de estructura de protección de pilas.

APÉNDICE 2. SUBESTACIÓN DE RONDA

1. Introducción.

El 4 de octubre de 2019 la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio para la Transición Energética solicitó iniciar la evaluación ambiental simplificada del proyecto de REE “Nueva SE Ronda 400 kV y entrada/salida en Ronda 400 kV en línea Jordana-Tajo de la encantada 400 kV, para alimentación al eje ferroviario TAV-11 Antequera (Bobadilla)-Algeciras, en la provincia de Málaga”.

Dicho proyecto incluye la subestación de ADIF y se encuentra actualmente en tramitación. En noviembre de 2020 se publicó en el BOE la “Resolución de 10 de noviembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula informe de impacto ambiental del proyecto «Nueva SE Ronda 400 kV y entrada/salida en Ronda 400 kV de la línea Jordana-Tajo de la Encantada 400 kV, para alimentación al eje ferroviario TAV-11 Antequera (Bobadilla)-Algeciras, en la provincia de Málaga». Esta Resolución estableció que este estudio de nueva subestación debía someterse a evaluación de impacto ambiental ordinaria.

Por lo tanto, debido a la introducción de la Subestación de Ronda dentro del mencionado proyecto, el estudio de la misma queda fuera del ámbito de este estudio. Sin embargo, se definen a continuación los elementos considerados en esta subestación y sus características utilizados para la definición del resto de los elementos que si forman parte del ámbito de este estudio.

2. Subestación de tracción

De acuerdo con los resultados arrojados por las simulaciones eléctricas realizadas para el suministro eléctrico a la tracción ferroviaria del Tramo Bobadilla-Ronda de la línea Bobadilla-Algeciras se requiere la ejecución de una única subestación de tracción ubicada en Ronda.

Esta subestación queda fuera del alcance de este estudio, sin embargo, a continuación, se definirán una serie de parámetros considerados para poder realizar el dimensionamiento eléctrico de la línea y establecer el número de ATIS necesarios en este tramo.

En el dimensionamiento eléctrico se ha considerado, principalmente, la siguiente información de partida:

- Tramo ferroviario (rampas, pendientes, peraltes, limitaciones de velocidad, rectas, curvas de transición, etc).
- Material rodante (curva de tracción y frenado, capacidad de regeneración, ecuación de resistencia al avance, masa del tren, peso, tara, rendimiento, potencia eléctrica, etc).
- Malla de circulación, frecuencia, tipos de trenes, paradas, velocidad máxima, etc.
- Características eléctricas de las instalaciones: Potencia de las subestaciones de tracción, tipos de conductores utilizados, temperatura de funcionamiento, impedancias, etc.

La subestación de tracción será de planta rectangular de dimensiones aproximadas 65 x 90 m con el lado menor paralelo y adosado a la plataforma ferroviaria.

De modo general, la subestación estará constituida por el parque de alta tensión, dos transformadores de tracción, un edificio de control, pórticos de catenaria y un armario de barra “0”.

El parque de alta tensión estará constituido por el siguiente equipamiento:

- Seccionadores bipolares giratorios con un seccionador de puesta a tierra.
- Transformadores de tensión inductivos.
- Interruptores bipolares automáticos.

- Transformadores de intensidad.
- Autoválvulas de protección.
- Transformadores de tracción.

Para la salida de los cables de catenaria se prevén pórticos para la instalación de seccionadores bipolares, para la alimentación hacia un lado y otro de la subestación.

Además, existirá un armario accesible desde el exterior para contener los equipos de medida de la compañía suministradora.

La subestación contará con los siguientes sistemas o instalaciones:

- Red de drenaje de agua pluvial.
- Canalizaciones de cables.
- Alumbrado.
- Depósito de recogida de aceite.
- Depósito de agua.
- Red de saneamiento y fosa séptica.
- Red de recogida de aceite.
- Red de tierras.

El edificio de control se construirá a partir de paneles de hormigón prefabricado. y tendrá unas dimensiones aproximadas 26 x 9 m y estará dividido en salas, las cuales contendrán los siguientes equipos indicados:

- Sala de Control.
- Celdas blindadas de SF6 para:
 - Protección de transformador

- Salida de catenaria
- Acoplamiento y medida
- Seccionamiento y medida.

- Salidas laterales desde la barra de feeder para acometida a cabinas de servicios auxiliares.
- Cabinas blindadas de SF6 de servicios auxiliares.
 - Acometida desde las barras de feeder.
 - Alimentación a los transformadores de servicios auxiliares.
- Cuadros de servicios auxiliares.
- Equipos rectificadores y baterías.
- Armarios de control y protección.
- Sala de transformadores de servicios auxiliares.
- Transformadores monofásicos para servicios auxiliares.
- Oficina de telecomunicaciones.
- Armario del puesto de operación local (POL).
- Armarios de control (UCA).
- Repartidor de red comunicaciones.
- Otros equipos que no forman parte de este proyecto.
- Almacén.
- Aseos.
- Depósito de agua sanitaria.

- Calentador.

Los cables de conexión a catenaria salen subterráneos desde las cabinas de salida de hasta los pórticos de salida de catenaria.

En cada uno de los pórticos se instalarán los siguientes equipos:

- Seccionador bipolar de apertura lateral.
- Autoválvulas.
- Aisladores.
- Además, el edificio cuenta con las siguientes instalaciones:
- Instalación de alumbrado, normal y de emergencia.
- Instalación de fuerza.
- Instalación de climatización y ventilación.
- Instalación de detección de incendios.
- Instalación de extinción manual de incendios.
- Red de tierras interior al edificio.