



FERROCARRIL DE ALTA VELOCIDAD
MADRID SEVILLA

TRAMO GETAFE - CORDOBA

Electrificación Señalización y Comunicaciones

Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Secretaría General para las Infraestructuras del Transporte Terrestre
Dirección General de Infraestructuras del Transporte Ferroviario

III D

335

VII

bis



245
8

Catenaria

DISEÑO DEL TENDIDO AEREO

La catenaria consta de hilo de contacto y cable sustentador, con péndulos de sujeción en forma de Y en los soportes. La figura 4 muestra el sistema en sus dos posibilidades, a cielo abierto y en los túneles. La longitud de vanos es de 65 m, como máximo, en tramos a cielo abierto y de 50 m en los túneles. Las alturas de catenaria son, respectivamente 1,8 m y 1,1 m. La lon-

gitud de los cables de sujeción en forma de Y se optimiza a 18 y 14 m, respectivamente, de manera que proporcionen casi la misma elasticidad en los puntos medios de los vanos y en los soportes.

El hilo de contacto es de aleación de cobre con un 0,1% de plata, según la norma DIN 43141. Con el añadido de plata se aumenta la resistencia a altas temperaturas y se reduce la fluencia, permitiendo una

SOPORTE DE CATENARIA EN TUNEL



mayor resistencia a la tensión, consiguiéndose además una mayor protección del medio ambiente en relación con la alternativa de utilizar un cable de aleación de cadmio, técnicamente equivalente.

CARGA ELECTRICA

Tomando como temperatura del conductor 80°C y una velocidad del viento de 1 m/s , la corriente admisible para la catenaria, a temperatura ambiente de 40°C , será de 850 A con el cable de contacto nuevo, y de 750 A con la sección desgastada un 20% . Las secciones de los hilos de contacto y del cable sustentador proporcionan una distribución de corriente que permite plena carga en ambos cables.

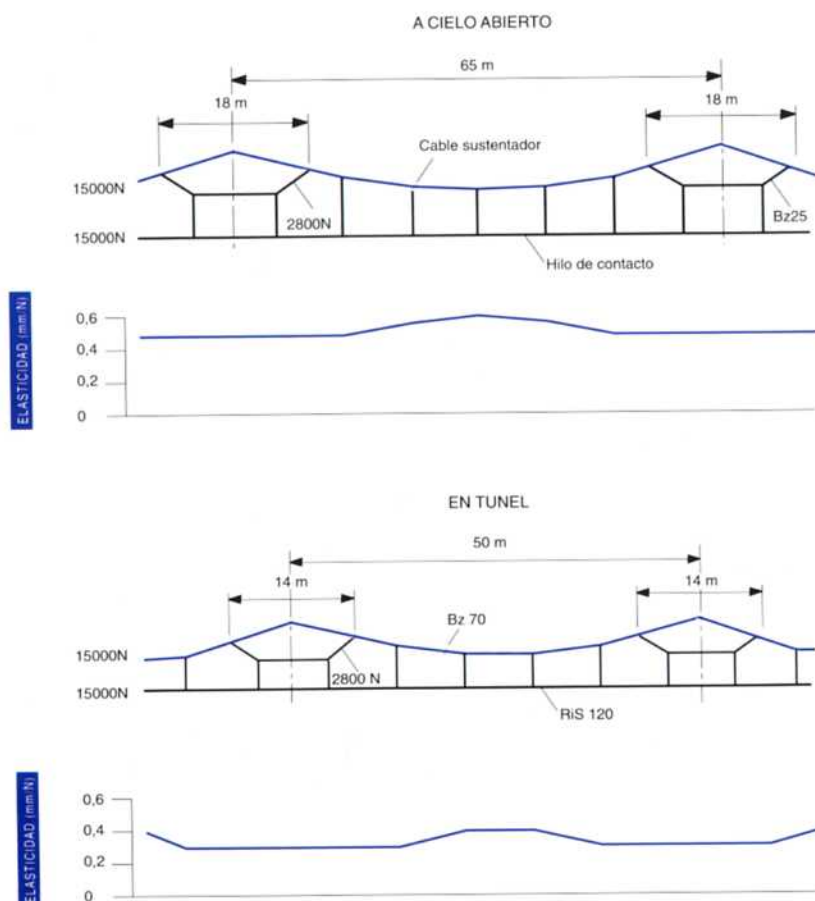
A 25 kv , la corriente admisible en la catenaria corresponde a la salida de 20 MVA del transformador de una subestación. Por tanto, un hilo de contacto con una sección de 120 mm^2 es suficiente desde el punto de vista eléctrico. Dado que lo que predomina es la reactancia, una sección mayor haría decrecer la impedancia.

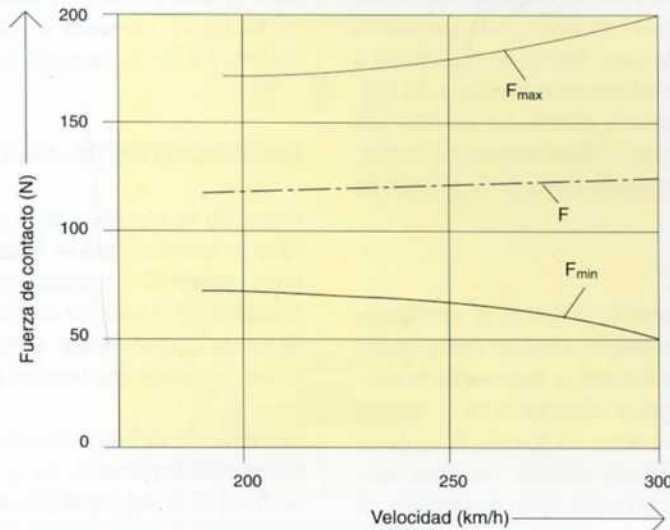
CARGA MECANICA

Teniendo en cuenta que se trata de una línea de Alta Velocidad, la resistencia a la tensión debe ser lo más alta posible. El hilo de contacto $\text{CuAg } 0,1\text{ Ri } 120$ puede aguantar un máximo de 160 N/mm^2 (DIN VDE 0115). Para permitir el desgaste se ha seleccionado un esfuerzo de 125 N/mm^2 , es decir, una fuerza de ten-

Disposición de la catenaria

FIGURA 4





sión de 15 kN. Se ha estipulado la misma fuerza de tensión para el cable sustentador. Ambos valores han sido comprobados con éxito en las pruebas realizadas en Alemania para verificar la adecuabilidad del tendido aéreo de contacto para altas velocidades.

Los cables de sujeción son de bronce con una sección de 35 mm², y están sometidos a una fuerza tensora de 2,8 kN. La optimización se ha realizado teniendo en cuenta la elasticidad. Comparando con los tendidos aéreos sin cable de sujeción hay una considerable mejora en las prestaciones dinámicas para el caso de altas velocidades.

COMPORTAMIENTO OPERATIVO

Los criterios, tanto estáticos como dinámicos, que se han tenido en cuenta para el diseño del tendido aéreo de contacto del NAFA, así como para la evaluación y valoración de los resultados operativos, han sido los siguientes:

Criterios estáticos

Con el fin de mantener la sustentación del hilo de contacto, y por tanto los efectos dinámicos, dentro de

límites admisibles, aun a pesar de las fuerzas superiores en el pantógrafo, la elasticidad de los hilos de contacto para altas velocidades debe ser menor que para las líneas convencionales y significativamente por debajo de 1 mm/N. En la línea Madrid-Sevilla se han adoptado los siguientes valores:

- Secciones al aire libre: 0,6 mm/N en el centro del vano y 0,5 mm/N en el punto de apoyo.
- Secciones en los túneles: 0,4 mm/N en el centro del vano y 0,35 mm/N en el punto de apoyo.

La elasticidad de la catenaria debe ser lo más uniforme posible. El parámetro de no uniformidad debe ser menor del 10% para conseguir un desplazamiento del pantógrafo satisfactorio en condiciones de alta velocidad.

En la línea Madrid-Sevilla este parámetro tendrá un valor del 9% en secciones a cielo abierto y del 6,5% en los túneles; ello se consigue con los cables de sujeción de los soportes. Sin tales cables de sujeción, la elasticidad en los soportes sería mucho más reducida, llegando a la no uniformidad hasta cerca de un 35%. En otras instalaciones de alta velocidad, los hilos de con-

tacto han sido colocados con una curvatura de algunos centímetros en la elasticidad en la mitad de la longitud y en los soportes, a fin de asegurar una altura de trabajo del pantógrafo constante. Esta medida no ha sido necesaria en la línea Madrid-Sevilla debido a que su elasticidad es prácticamente constante. La sustentación del hilo de contacto alcanza los 100 mm sólo cuando se opera a 300 km/h. Esto asegura un desplazamiento suave del pantógrafo y una perfecta toma de corriente.

Criterios dinámicos

El tendido aéreo de contacto, junto con el pantógrafo, constituyen un sistema elástico vibrante con pequeño amortiguamiento. A medida que se incrementa la velocidad, el pantógrafo produce vibraciones en el sistema que producen reacciones sobre las fuerzas de contacto entre el pantógrafo y el hilo de contacto. Por tanto, además de las propiedades del cable aéreo de contacto, el pantógrafo utilizado tiene una influencia considerable en el comportamiento del contacto. La variación de la fuerza de contacto, caracterizada por los valores medio, máximo y mínimo, así como por las desviaciones estándares, representa un criterio dinámico importante a la hora de evaluar un tendido aéreo.

El uso de este criterio supone que las fuerzas de contacto entre las pletinas del pantógrafo y el hilo de contacto se miden de forma continua con corriente eléctrica. La figura 5 muestra la relación entre la velocidad del tren y la fuerza de contacto en la catenaria.

SECCIONAMIENTOS. SECCIONES NEUTRAS

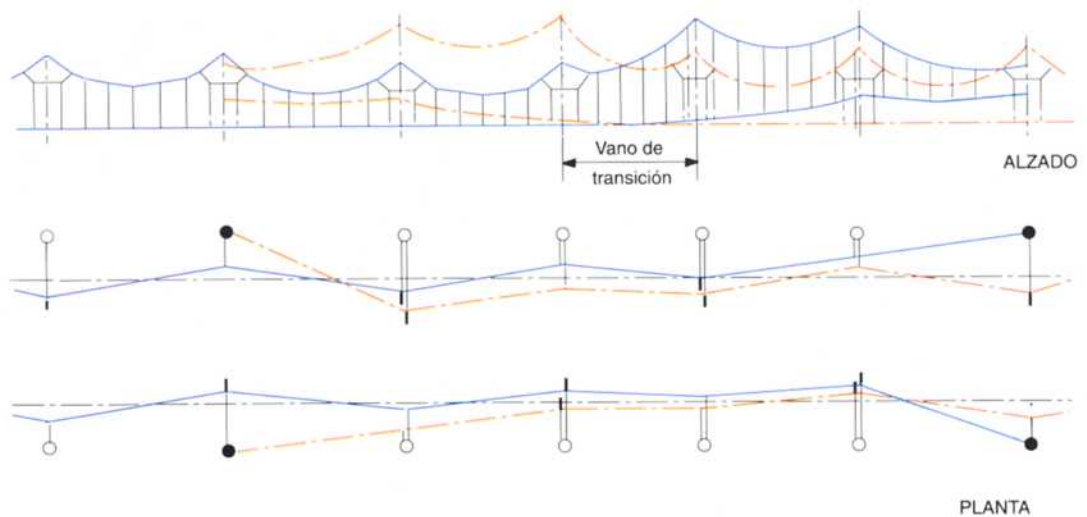
Con el fin de asegurar que la posición del hilo de contacto es independiente de la temperatura, es necesario tener separados y tensados automáticamente el hilo de contacto y el cable de sustentación. Los dispositivos de compensación dividen a las líneas de tendido aéreo en secciones con una longitud máxima de 1.200 m.

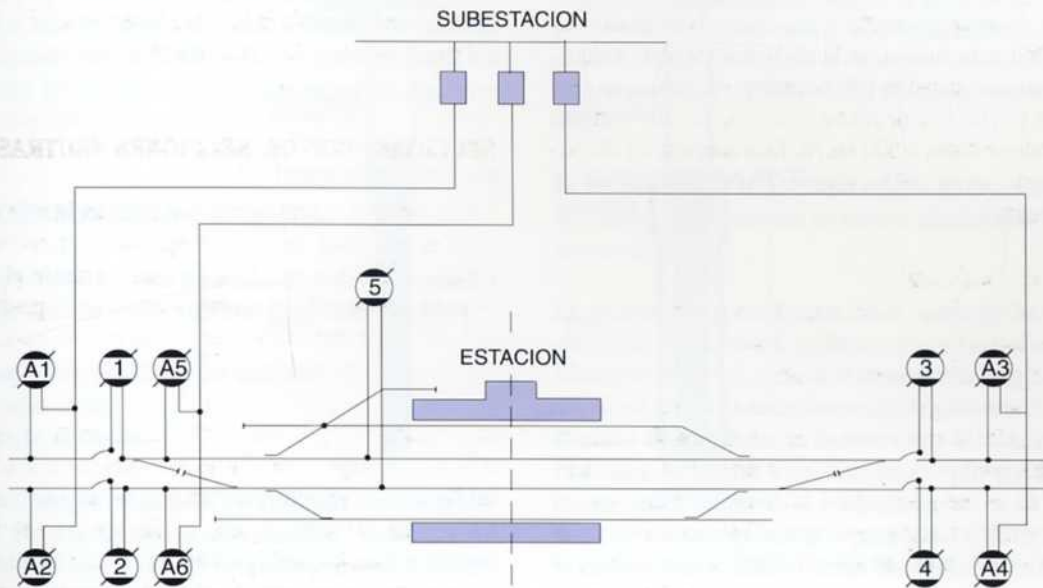
La transición de una catenaria a la siguiente es particularmente importante. En el caso del tendido aéreo del N.A.F.A. la superposición de dos secciones de catenaria ocupa 5 vanos (Figura 6), situándose en el vano central la transición del pantógrafo de un hilo de contacto al siguiente. Este diseño sobrepuesto permite que las fuerzas de contacto no sean muy diferentes de uno a otro vano.



Transición entre catenarias

FIGURA 6





Dado que las secciones de los alimentadores individuales están alimentados desde fases sucesivas, es necesario un seccionado mediante catenarias eléctricamente neutras. Cada sección neutra del NAFA está formada por un vano sobrepuesto en cada extremo. La sección neutra puede ser atravesada por el pantógrafo, en contacto con el hilo de contacto que proporciona la potencia de accionamiento del vehículo, reduciéndose a cero automáticamente para impedir que la potencia se transfiera a través de un arco. No es necesario, por tanto, interponer una sección conectada a tierra.

Durante la operación normal, las dos secciones adjuntas a la subestación están alimentadas desde la misma fase, por lo que no sería necesaria ninguna sección neutra. En caso de fallo de una subestación, la alimentación de las secciones correspondientes desde las subestaciones adjuntas es entonces posible dado que tienen diferentes fases, siendo entonces necesario establecer su aislamiento mediante secciones neutras. Puesto que las subestaciones siempre están situadas en las proximidades de las estaciones de ferrocarril, la sección dentro de la estación, que siempre está construida como seccionamiento, puede

ser utilizada como una sección neutra, y ser atravesada con una cierta velocidad. Si fuera necesaria alguna parada, la sección de la estación puede conectarse a una de las dos subestaciones. La figura 7 muestra la conexión del tendido aéreo a una subestación.

COMPONENTES

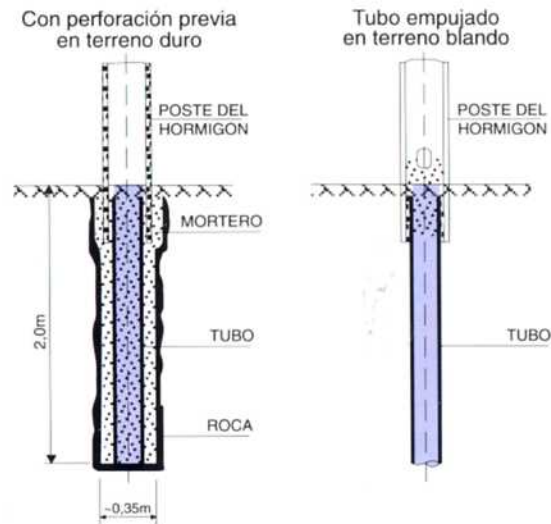
Las catenarias van montadas sobre soportes individuales giratorios asegurando una completa separación mecánica y eléctrica de las dos vías. Donde no hay suficiente espacio para postes individuales, por ejemplo cerca de las conexiones, los brazos salientes que se encuentran sobre las dos vías aseguran la separación de las dos catenarias.

Todas las piezas, fijaciones, tubos y similares, son de aluminio. Los pernos y tuercas son de acero inoxidable A2. Los aisladores tienen el cuerpo de porcelana con cinco campanas y una longitud de fluencia de 760 mm, para adecuarse a los requerimientos de la operación a 25 kV.



Hinca de los postes del tendido aéreo

FIGURA 8



El cable sustentador y el de contacto están tensados separadamente y de manera automática mediante columnas con peso. La relación de la rueda de tensado es de 3:1. En caso de fallo de un cable la rueda de tensado queda sujeta mediante un pestillo, evitando que caigan los pesos. En los túneles se utilizan pesos de aceros especiales que permiten una construcción mas ajustada.

Los postes son de hormigón, hincándose en el terreno en la forma que indica la figura 8.

RETORNO DE LA CORRIENTE DE TRACCION. CONEXION A TIERRA E INTERFERENCIA

En las líneas de ferrocarril alimentadas con corriente alterna es necesario asegurar:

- Un retorno seguro con reducción de la corriente que pasa a tierra.
- La limitación de los voltajes de contacto a valores admisibles durante la operación y en caso de cortocircuito.
- La limitación de interferencias inductivas en la señal en paralelo y en circuitos telefónicos, así como en

líneas con tendido aéreo alimentadas con corriente continua.

- El disparo de protección en caso de rotura de un cable de contacto.

Con este fin, se han colocado alimentadores de retorno en AI240 en los postes y se han conectado a los railes con toma de tierra.

Los cables de telecomunicaciones y de señales discurren en paralelo a lo largo de la línea del ferrocarril. En ellos se inducen voltajes longitudinales, tanto en operación normal como en situación de corto-circuito, que no deban exceder de 250 V en el primer caso, ni del 60% del voltaje de prueba del cable en el segundo caso. Para ello, las longitudes utilizadas han sido de 6,5 km para los cables de señalización y de 30 km para los de telecomunicaciones.

Con el fin de mantener los voltajes de contacto dentro de los límites permitidos, los railes de los ferrocarriles de corriente alterna están conectados a postes con toma a tierra (vía conectada a tierra). Con vistas al mantenimiento de la vía y a la detección de roturas de los railes, solamente se utilizan estos enlaces a grandes intervalos, aproximadamente cada 600 m.

La corriente de tracción máxima que vuelve a los railes en cualquier punto permanente es de 1,25 kA. Este valor proporciona un potencial máximo en el rail de 84 V, que está por debajo del doble del voltaje de contacto permisible, que es de 65 V, lo cual demuestra que los voltajes de contacto en los railes en estado operativo son tolerables.

RECEPCION DE LA CATENARIA

La catenaria ha sido sometida en toda su longitud a un proceso de ajuste y control dividido en tres fases:

- Inspección visual y ajuste estático
- Prueba estática
- Prueba dinámica

La primera de estas fases fue realizada con minuciosidad por dos equipos de alta cualificación técnica que prescribieron los ajustes necesarios en base a las desviaciones respecto a más de 20 criterios técnicos de ajuste.

Una vez ejecutados estos ajustes, labor en la que colaboraron más de un centenar de especialistas, se procedió a la auscultación estática de la catenaria emple-

ando para ello vagones equipados con registradores DOZLER que permitieron constatar, y en su caso corregir, la idoneidad en cuanto al posicionamiento geométrico de la catenaria y su comportamiento ante el paso de un pantógrafo a diferentes presiones, en baja velocidad: 8 y 100 Nw a 8 y 30 km/h, respectivamente.

Es de señalar que la precisión exigida es del orden de dos centímetros (máximo) en valores absolutos de 5,30 metros de altura.

La comprobación final antes de la recepción ha sido efectuada mediante una primera pasada con un vagón laboratorio especial, utilizando después una rama AVE modificada, manejada por especialistas altamente cualificados de la Deutsche Bundesbahn (Ferrocarriles Federales Alemanes), efectuándose el viaje en condiciones reales, midiendo el comportamiento de la catenaria en su interacción con el pantógrafo y detectando si existen puntos duros y otras elasticidades fuera de tolerancias.

Las pruebas efectuadas han sido totalmente satisfactorias, expresando todos los técnicos implicados la altísima calidad obtenida en esta instalación en comparación con las existentes en otros países.

TRANSICION DE CATENARIAS

