

Electrificación de la Nueva Línea de Alta Velocidad Madrid-Valencia/Albacete

Electrification of the New Madrid-Valencia-Albacete High-Speed Line

Revista de Obras Públicas
nº 3.522. Año 158
Junio 2011
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Cástor Pérez Retamal. Ingeniero Técnico Industrial
Jefe de Estudios y Normalización Adif. Madrid (España). rop@ciccp.es

Resumen: En el mes de noviembre 2011 fue puesta en servicio la nueva línea de Alta Velocidad Madrid-Valencia/Albacete. La construcción de esta nueva línea ha supuesto un importante avance en cuanto al desarrollo y mejora de las instalaciones de energía (principalmente Línea Aérea de Contacto, Subestaciones Eléctricas de Tracción y Telemando de Energía).

La línea de Alta Velocidad de Levante destaca por haber logrado su construcción en un plazo de ejecución de obra significativamente inferior al empleado en la construcción de las instalaciones de electrificación de actuaciones de similar magnitud, a la par que se ha logrado una Línea de Alta Velocidad más sostenible económica y medio ambientalmente, gracias al incremento de ahorro energético.

Palabras Clave: Electrificación; AVE Levante; Ahorro energético; Catenaria; IEC 61850

Abstract: The new Madrid-Albacete-Valencia high-speed line started operating in November 2011. The construction of this new line has entailed considerable advances in the development and improvement of power installations (mainly Overhead Lines, Traction substations and Power telecommands). The Levante high-speed line was built in considerably less time that that normally entailed in the construction of electrification installations of this magnitude and has proven to be a far more economically and environmentally sustainable high-speed railway line on account of its increased energy savings.

Keywords: Electrification; Levante high-speed rail; Energy savings; Catenary; IEC 61850

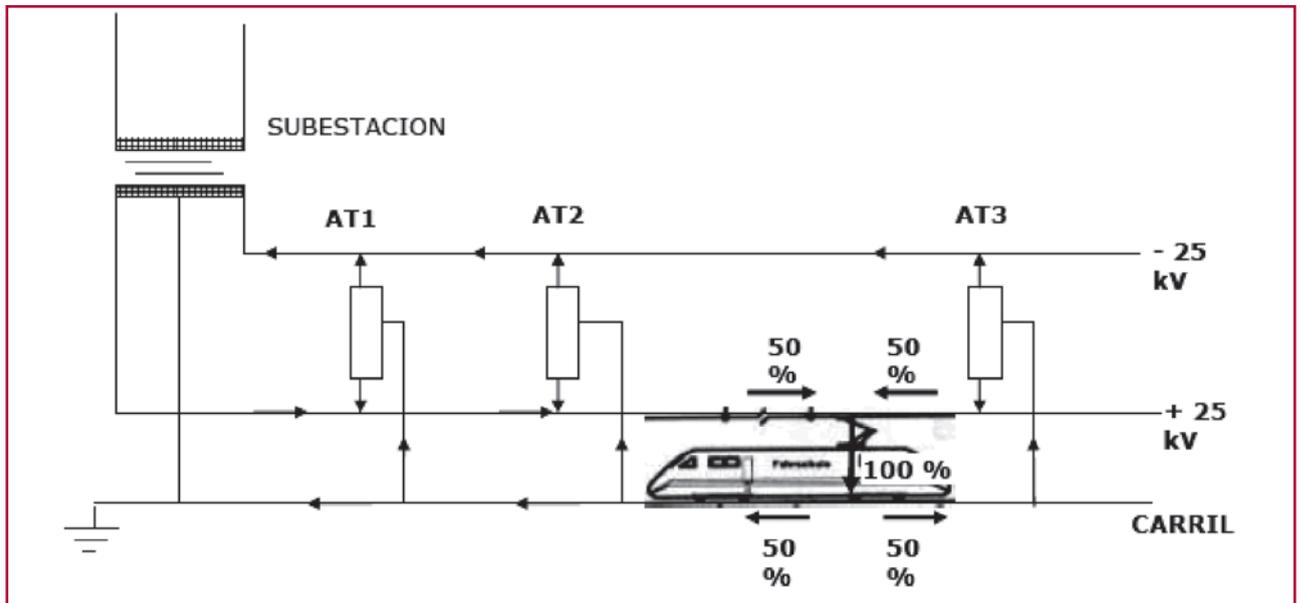
1. Descripción de las instalaciones y configuración del sistema

La electrificación de esta línea, al igual que en la mayor parte de las líneas de Alta Velocidad actualmente en servicio (Madrid-Zaragoza-Barcelona o Madrid-Valladolid), se ha configurado con el sistema "2x25 kV". Este sistema consiste en el tendido además de la catenaria que se energiza desde las subestaciones eléctricas de tracción a una tensión de 25 kV respecto del carril, del tendido de un segundo conductor, suspendido generalmente sobre la misma estructura, que se conecta a una tensión contrapuesta a la primera de 25 kV, obteniendo así un sistema bifásico de 50 kV entre fases con punto neutro centrado. La disponibilidad de estas dos fases permite alimentar el circuito al doble de tensión de la que capta el mate-

rial rodante, distribuyendo la corriente necesaria entre ambas al conectar autotransformadores a lo largo del recorrido. Esta disposición del circuito tiene dos características fundamentales: disminuye las caídas de tensión en los puntos más alejados de la Subestación (permite alimentar la línea ferroviaria con menos Subestaciones eléctricas) y atenúa notablemente el campo eléctrico inducido entorno a la línea ferroviaria electrificada respecto a las instalaciones electrificadas con el sistema 1x25.

El sistema montado sobre una línea de doble vía, cumple además la función de puesta en paralelo de la catenaria de ambas en los centros de autotransformación reduciendo la impedancia de ésta, permitiendo una alta selectividad y flexibilidad en el circuito al equipar estos centros con interruptores y seccionadores telecontrolados.

Fig. Sistema bifásico 2x25 Kv. Retorno de corriente.



Equipando adicionalmente las instalaciones con equipos de respaldo, se consigue una gran robustez del sistema que permite mantener altos estándares de calidad en el suministro de energía, minimizar las perturbaciones y obtener la máxima fiabilidad del servicio.

La potencia demandada por las circulaciones a 350 km/h y el régimen de estos consumos requiere de una elevada potencia de cortocircuito en la red

que lo abastece, a tensiones que en la actualidad solo encontramos disponibles en la Red Nacional de Transporte, gestionada por REE en niveles de 220 y 400 kV.

La gestión del acceso y conexión a la Red de Transporte se realiza de forma coordinada entre ADIF y Red Eléctrica de España, con una importante anticipación, favoreciendo el desarrollo de ambas redes. Las Subestaciones Eléctricas de Tracción y los Centros de Autotransformación se conectan directamente a la catenaria, por lo que requieren de su construcción en plataformas anexas a la traza de la línea ferroviaria.

Cuando se requiere la construcción de nuevas subestaciones de la Red de Transporte si es viable se realiza en ubicaciones anexas a las Subestaciones de Tracción. En otras ocasiones en que existen puntos de acceso en las proximidades o resulta más aconsejable otra ubicación se propone la conexión al punto de acceso más próximo que reúna las condiciones necesarias. En estos casos se requiere la construcción de Líneas de Alta Tensión para su interconexión.

En el caso concreto de la Línea de Alta Velocidad Madrid - Valencia / Albacete, las ocho subestaciones eléctricas de tracción se conectan a la Red de Transporte en su nivel de 400 kV. Se ha ejecutado la construcción de otras dos subestaciones en la Red de Transporte anexas al trazado de la Línea de Alta Velocidad y en las que la interconexión

FICHA TÉCNICA

SUBESTACIONES Y TELEMANDO DE ENERGÍA:

Área energizada en 2x25 kV: 480 Km
 8 Subestaciones de Tracción
 47 Centros de Autotransformación

Plazo Total Ejecución: 27 meses

CATENARIA:

Kilómetros de Línea: 480 Km
 Kilómetros de Catenaria: 874 Km
 A cielo abierto: 780 Km
 En túnel: 94 Km

Nº Estaciones: 4
 Nº PAET: 9
 Nº PB: 7
 Nº Postes: 15.100

Plazo Ejecución Total de la Línea: 27 meses

con la correspondiente Subestación Eléctrica de Tracción se acomete de forma directa entre pórticos de ambas instalaciones. Para el resto de conexiones han sido construidas por ADIF un total de seis líneas de Alta Tensión, estas líneas suman una longitud total de 48,31 km de los cuales 47,85 km corresponden a 5 líneas aéreas y 460 m de una línea subterránea ejecutada con cable aislado de 400 kV.

La ejecución de forma conjunta de las instalaciones de línea aérea de contacto y sistemas asociados como calefacción de agujas, alimentación a edificios y casetas técnicas y parte de las instalaciones de Protección Civil (alumbrado de túneles) optimiza la coordinación y los rendimientos, reduciendo tiempos en la construcción.

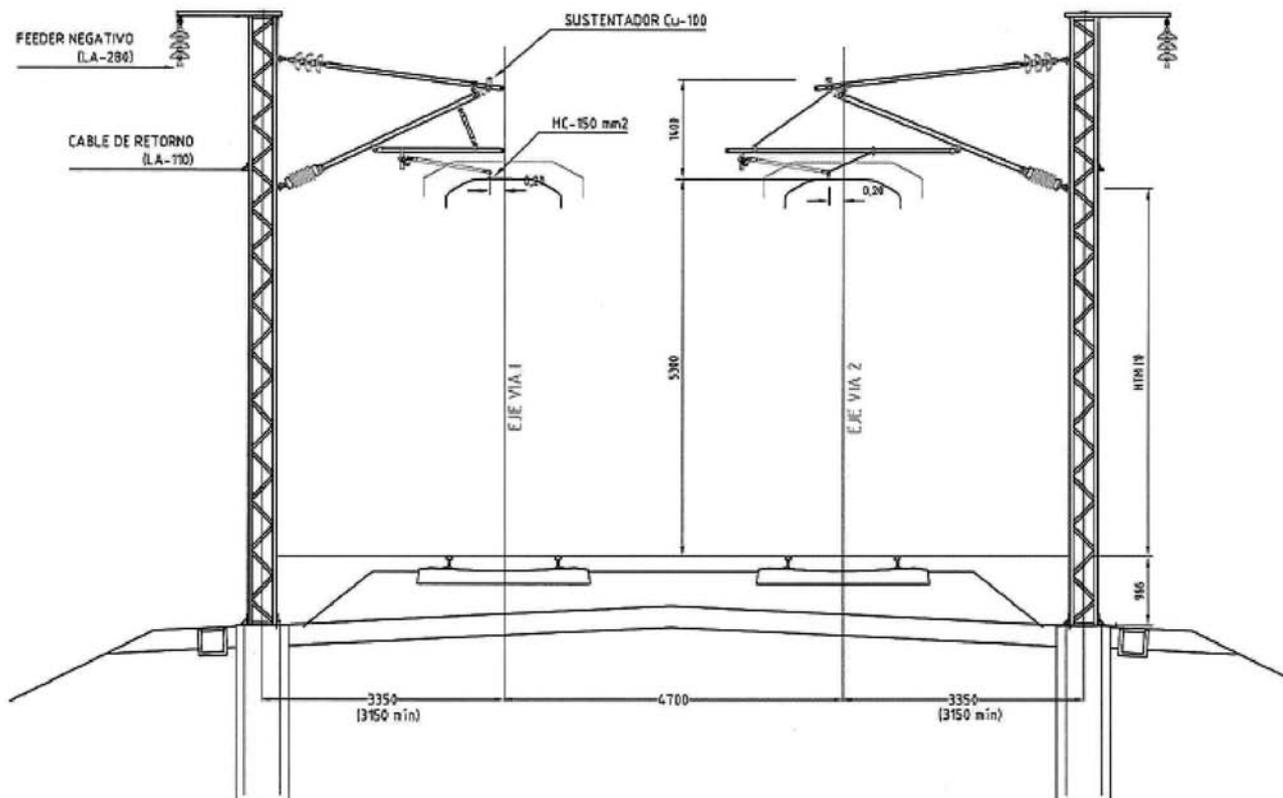
La catenaria equipada permite mantener una excelente calidad de captación de corriente a 350 km/h. Esto se consigue utilizando para el hilo de contacto una aleación de Cu-Mg que permite aplicar una mayor tensión mecánica del hilo y asegurar su posicionamiento a la par que mantiene unas buenas propiedades conductoras. El conjunto se completa con hilo sustentador de cobre y péndolas de



cobre equipotenciales que contribuyen a mejorar la capacidad de transporte de energía de la catenaria.

Esta catenaria de tipo poligonal se suspende mediante el empleo de ménsulas que establecen un descentramiento en zigzag a lo largo del trayecto, lo que alarga la vida útil de los pantógrafos utilizados por el material rodante.

El tendido de esta catenaria atiende a los estándares marcados por las normas europeas de interoperabilidad ferroviaria (1). Para poder cumplir estos requisitos se trabaja con tenses del hilo de contacto de 3.150 kg y 1.500 kg para el sustentador.



El control y operación de los sistemas de energía se cierra con el telemando de energía instalado en la línea. Este sistema recoge la información del control distribuido de las subestaciones y lo une a la información recogida en campo de los seccionadores instalados en la catenaria y los sistemas asociados (calefacción de agujas, Alumbrado de túneles, alimentaciones a Edificios Técnicos, etc.).

El Telemando de Energía pone esta información en tiempo real a disposición de un operador en el Puesto de Control. La interconexión se establece mediante protocolo estándar, con un servidor de base de datos que mantiene en tiempo real información de todos los sistemas de telemando (además del de Energía). A través de esta base de datos, aparte de la actualización de estados, eventos, etc., puede establecerse comunicación con otras aplicaciones de cualquier sistema del CRC (bien para intercambio de datos o bien para disparar alguna funcionalidad concreta).

Este sistema da servicio al interfaz entre la instalación y el operador de energía del puesto de control, permitiéndole gobernar los equipos e intervenir en la configuración del circuito eléctrico adaptándolo a las necesidades planteadas en cada momento.

La herramienta instalada se soporta sobre la red de comunicaciones con que se ha dotado a la Línea de Alta Velocidad y concentra el procesamiento de esta información en un Centro de Operación y Control aunque el sistema tiene una estructura de mando descentralizado, lo que le permite continuar operativo en distintas regiones ante pérdidas de comunicaciones o delegar el mando de parte de las instalaciones.

EL alcance de este control supone una inestimable e imprescindible herramienta para la operación de las instalaciones y el desarrollo de un correcto y seguro mantenimiento en la Línea ferroviaria.

La Arquitectura Hardware para el Centro de Control y Operaciones (CCO) mantiene desdoblados los Servidores de operativa y gestión de las comunicaciones y los Servidores de gestión de registro de históricos, permitiendo la separación de funciones en tiempo real (operación y supervisión) de las aplicaciones y funcionalidades en tiempo cuasi-real: reconstrucción, simulación, etc.

El Telemando de energía, con toda la información aportada por el control distribuido de las Subestaciones y el resto de sistemas de catenaria y consumido-

res, se integra en el sistema Da Vinci (2), proyecto pionero de Adif, que integra la totalidad de los sistemas de la línea ferroviaria: Sistemas de Control de Tráfico, Operación y control de las telecomunicaciones y Operación y Control de los sistemas de energía. Este sistema establece los distintos niveles de comunicación y prioridad entre ellos para dar servicio a la operación, control, mantenimiento y análisis del correcto funcionamiento de las instalaciones.

2. Un gran reto

Estas características y tecnologías, aunque aún recientes en su aplicación en España, han alcanzado ya un grado de madurez tal que ha permitido su optimización y mejora en la nueva Línea de Alta Velocidad Madrid - Valencia /Albacete.

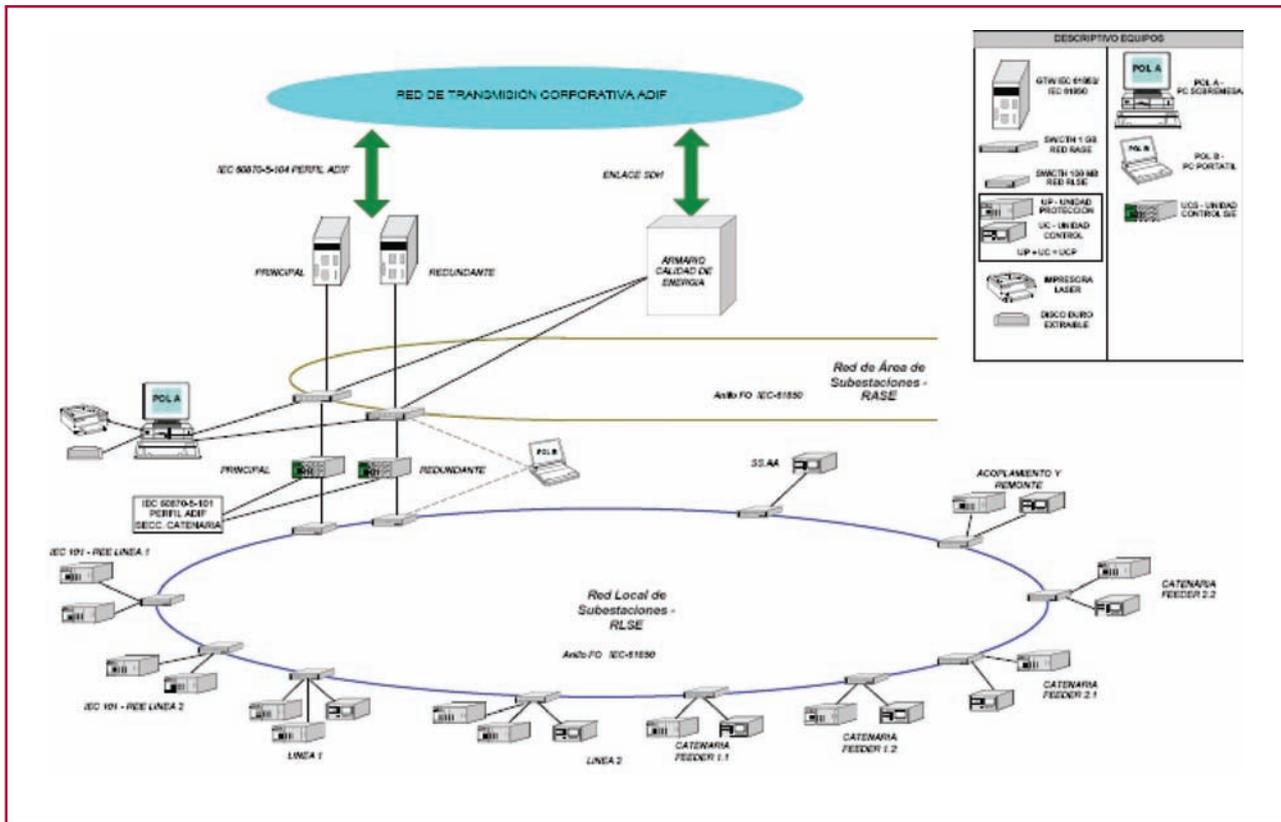
En cuanto a las subestaciones y líneas de interconexión, con objeto de adecuarse a la situación económica actual, se ha optimizado el equipamiento, de forma que se ha logrado un importante ahorro en cuanto a construcción y mantenimiento de las instalaciones se refiere.

Por otro lado, en cumplimiento de la nueva ley (3) del sector eléctrico, se han implementado nuevos equipamientos de medida para el análisis de las curvas de carga y, por tanto, optimización del consumo.

Esta adecuación, en un futuro, podría permitir al departamento de servicios energéticos la entrada en el mercado eléctrico, lo que le permitiría comprar la energía según su valor en bolsa, cumpliendo así con el plan estratégico de Adif para el ahorro de consumo energético.

3. Línea pionera

El proyecto de la Línea Madrid-Levante se ha desarrollado como estandarización de protocolo de comunicaciones, gracias a la implementación del protocolo 61850 sobre control distribuido empleado en las Subestaciones y Centros de Autotransformación, que permite una comunicación transparente entre los diferentes elementos de las instalaciones, las cuales, adicionalmente, cuentan con un nuevo sistema de detección de faltas e incidencias eléctricas. Este desarrollo servirá de modelo para la defini-



ción del control en las nuevas Líneas de Alta Velocidad.

La norma IEC 61850 (4) es un estándar internacional de comunicación para sistemas de control, protección y medida en subestaciones eléctricas que se está extendiendo a otros elementos del sistema eléctrico. El objetivo de la norma IEC 61850 es comunicar IEDs de diferentes fabricantes buscando interoperabilidad entre funciones y elementos de equipos de distintos fabricantes, intercambiabilidad de equipos, y la armonización de las propiedades generales de todo el sistema; eliminando así protocolos total o parcialmente privados que esclavizaban al usuario final con el proveedor. Para lograrlo, la norma no solo define las comunicaciones, sino que también define un lenguaje de configuración del sistema, condiciones ambientales y especificaciones de calidad de los equipos, y procedimientos para homologación de los mismos.

La norma ha seleccionado la tecnología Ethernet como la más adecuada para el establecimiento de la red de comunicaciones que soportará sus funciones de automatización. Esta selección no es algo exclusivo del sector eléctrico. Desde su concepción,

allá por los años 70, Ethernet ha ido afianzándose como la tecnología de referencia para el establecimiento de redes de área local. Después llega su salto al mundo industrial y hoy son pocas las fábricas cuyas funciones de automatización no se basan en una red de área local Ethernet. Esta tendencia sigue consolidándose en nuestros días.

El basarse en Ethernet, una red más potente y robusta que la utilizada en sistemas anteriores, hace que se aumente la fiabilidad y funcionalidad de éstos. Esto conlleva ciertos beneficios en la aplicación de la norma de los que ADIF puede beneficiarse: menor cableado debido a la utilización de unas comunicaciones fiables, flexibilidad en sus aplicaciones y modificaciones más simples, y una mayor información de diagnóstico facilitando y optimizando el mantenimiento.

Esta norma no es "sólo" un protocolo de comunicaciones entre equipos, sino que también define elementos muy importantes para los objetivos que persigue como un lenguaje de configuración denominado SCL (Substation Configuration Language) basado en XML. También define los requerimientos de fiabilidad, mantenimiento, disponibilidad y seguridad.



dad que deben cumplir los equipos que se adapten a esta norma. Además, la propia norma también define las pruebas de homologación de equipos para que sean conformes a la misma y el cómo debe realizarse las citadas pruebas.

Para cumplir con sus objetivos, la norma contiene un modelo de datos orientado a objetos. Este modelo de datos agrupa la información de acuerdo a las funciones habituales de las Subestaciones. El concepto de la orientación a objeto incluido por la norma, cambia radicalmente el método de diseño y configuración de los sistemas de control de subestaciones, aprovechando los beneficios de su utilización. Este modelo de datos se presenta estructurado en nodos lógicos y sus atributos, y en la utilización de las comunicaciones y servicios para el intercambio de la información.

En cuanto a la comunicación entre equipos, la IEC 61850 se basa en dos tipos de buses de comunicaciones: bus de proceso al que se conectan los diferentes equipos de control, protección y medida; y el bus de campo mediante el que se conectan directamente al sistema la aparataje de la subesta-

ción como transformadores de tensión e intensidad, interruptores, transformadores de tracción, etc.

Para el intercambio de información en los buses de la subestación, se definen principalmente dos tipos de comunicaciones: bidireccional y unidireccional. La norma define una estructura cliente-servidor para el envío de la información bidireccional entre equipos mediante informes con o sin buffer (unbuffered or buffered reports) que es el método de recogida de información en tiempo real. Para la comunicación unidireccional define mensajes multicast denominados GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) para funcionalidades que requieran un envío de información rápido y fiable, como por ejemplo la coordinación de funciones de protección entre diferentes equipos.

4. Línea Aérea de Contacto

El principal avance aplicado en la línea aérea de contacto en esta línea consiste en el diseño de los descentramientos en curva y equipos de atirán-

tado, que permiten un mejor comportamiento de la interacción catenaria-pantógrafo en curva. De hecho, Adif es pionera en el uso de este elemento, que se ha instalado también en la sección internacional hispano-francesa de la línea Madrid-Barcelona-frontera francesa.

Por un lado, se trata de un sistema de catenaria simple, poligonal, atirantada en todos los perfiles, vertical, con péndola en forma de 'Y', sin flecha en el hilo de contacto y formada por un sustentador, un hilo de contacto y péndolas equipotenciales, compensada mecánicamente y apta para circular a 350 kilómetros por hora, que satisface los requisitos de normativa para este tipo de líneas. La línea de contacto está compensada mecánicamente de forma independiente para el sustentador y el hilo de contacto.

Para el descentramiento en curva se establecen las siguientes premisas:

- Que los esfuerzos radiales debido a los descentramientos y al radio de la curva estén dentro de un rango de trabajo y permitan que el ángulo del brazo de atirantado esté entre 5 y 20°.
- Que se efectúe zig-zag, de acuerdo a las fichas UIC, con lo que hacemos que en 2 vanos consecutivos el pantógrafo barra al menos 40 cm.
- Que el desplazamiento del hilo de contacto por el viento sea menor de lo indicado en la EN-50367 (5).

- La separación de hilos de contacto en los seccionamientos de cantón es de 30 cm y de 50 cm en los de lámina de aire.

Otra de las mejoras reseñables son los nuevos sistemas de aislamiento de incidencias, que permiten aislar separadamente el "feeder" y la catenaria, mejorando así los tiempos de reparación y aislamiento de incidencias. Gracias a la nueva técnica de catenaria, este sistema permite acortar los tiempos de respuesta frente a los imprevistos, optimizando el coste de mantenimiento y permitiendo localizar el punto kilométrico donde se desarrolla cada incidencia.

5. Un gran reto constructivo

La aplicación del Know How adquirido a lo largo de los últimos años y la experiencia en la ejecución de las obras de otras Líneas de Alta Velocidad ha permitido mejorar la gestión global del proyecto, siendo más eficaces durante todo el proceso y consiguiendo instalaciones más eficientes.

La mejora en la gestión implementada en esta línea ha logrado reducir aproximadamente a la mitad los tiempos de ejecución respecto a actuaciones similares, consiguiendo la construcción de 440 kilómetros de catenaria de doble vía en menos de dos años. ♦

Referencias:

-(1) EUROPEAN RAILWAY AGENCY. *Página Web*. www.era.europa.eu (consultado: 27-05-2011)
 -(2) ADIF. *Fichas informativas: Centros de Regulación y Control de alta velocidad*.

http://www.adif.es/es_ES/ocio_y_cultura/fichas_informativas/ficha_informativa_00038.shtml (consultado: 27-05-2011)
 -(3) COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. *Página Web*. <http://www.cne.es/> (consultado: 27-05-2011).
 -(4) MATEO DOMINGO, Carlos; TALAVERA MAR-

TIN, Juan Antonio. "El impacto de la norma CEI 61850". *Anales de mecánica y electricidad*, 2004, vol. 81, nº 2, p. 43-49.
 -(5) HERNANDEZ VELILLA, Agustín. "Las catenarias de alta velocidad". *Anales de mecánica y electricidad*, 2007, vol. 84, nº 1, p. 24-28.